



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ÚRSULA MARIA ALVES FELIZARDO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO CAMPUS I DA UFPB E MEDIDAS
DE ADEQUAÇÃO PARA CONFORMIDADE COM A PORTARIA N° 888/2021**

JOÃO PESSOA - PB

2024

ÚRSULA MARIA ALVES FELIZARDO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO CAMPUS I DA UFPB E MEDIDAS
DE ADEQUAÇÃO PARA CONFORMIDADE COM A PORTARIA N° 888/2021**

Trabalho Final de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Química
da Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento aos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Vivian Stumpf
Madeira

JOÃO PESSOA - PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F316a Felizardo, Ursula Maria Alves.

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO CAMPUS I DA UFPB E
MEDIDAS DE ADEQUAÇÃO PARA CONFORMIDADE COM A PORTARIA
Nº 888/2021 / Ursula Maria Alves Felizardo. - João
Pessoa, 2024.

86 f. : il.

Orientação: Vivian Stumpf Madeira.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Água potável. 2. Qualidade da água. 3. Portaria
nº 888/2021. 4. Controle da potabilidade da água. I.
Madeira, Vivian Stumpf. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 66.01(043.2)

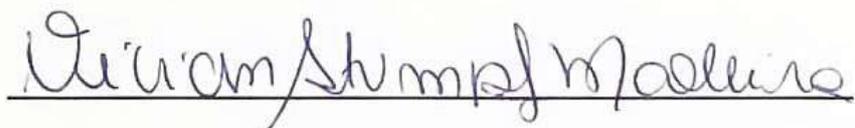
ÚRSULA MARIA ALVES FELIZARDO

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO CAMPUS I DA UFPB E MEDIDAS DE
ADEQUAÇÃO PARA CONFORMIDADE COM A PORTARIA Nº 888/2021**

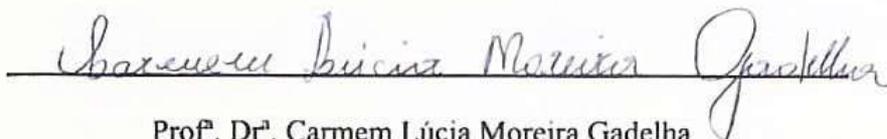
Trabalho Final de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 21 de novembro de 2024.

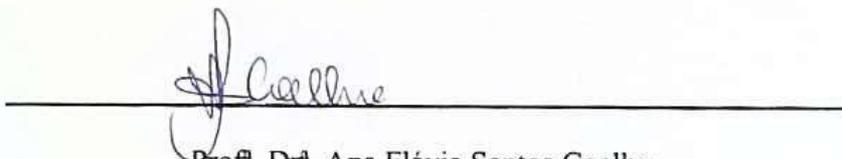
BANCA EXAMINADORA



Profª. Drª. Vivian Stumpf Madeira
Orientador(a)



Profª. Drª. Carmem Lúcia Moreira Gadelha
Examinador(a)



Profª. Drª. Ana Flávia Santos Coelho
Examinador(a)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela minha vida e por toda a Sua bondade ao me conceder tamanhas graças, mesmo sem merecê-las. Consagro este trabalho a Nossa Senhora, que, como uma mãe perfeitíssima, sempre cuidou de mim e intercedeu junto a Seu filho Jesus. Expresso também minha gratidão pela intercessão de todos os anjos e santos do céu, especialmente a São José de Cupertino, padroeiro dos estudantes, que acalmou meu coração nos momentos em que pensei não conseguir concluir este trabalho.

À minha mãe Maria Sueli, por tanto zelo e por um amor tão imenso que não cabe no peito. Me moldaste e me fizeste ser quem sou hoje. *Eu não seria eu se não fosse você, mainha.*

Ao meu pai Felizardo da Silva, pelo amor, cuidado e por todo o esforço para me criar e me educar. Por todos os conselhos e por me ensinar, através do seu trabalho duro, o verdadeiro valor da vida. Obrigada, meu Deus, pelos pais que me deste.

À minha querida avó Edvane (*in memoriam*), por todo o amor e todas as orações. Sei que, do céu, a senhora continua rezando por mim. Saudades eternas, voinha.

Ao meu irmão Rodolfo, por ser meu exemplo em tantas coisas, por me apoiar e acreditar que eu sou capaz. À minha querida cunhada, Ana Maria, por ser como uma irmã para mim. Aos meus sobrinhos, Joaquim, Catarina, Joana e Tomás, minha vida não seria tão feliz se não fossem vocês, meu amores. E a toda a minha família, em nome da minha madrinha Kalina Maria, agradeço de coração a todos.

À minha amiga Vitória, por sempre estar presente, pelas conversas e boas risadas. Agradeço a todos os amigos que fiz durante a graduação, em especial aos colegas do LACQUA, por tornarem esse trabalho mais leve e agradável.

Um agradecimento especial à minha orientadora, professora Vivian Madeira, por me apoiar desde o início e acreditar que eu seria capaz de desenvolver este trabalho incrível ao longo desses quase dois anos. Com a senhora, cresci e amadureci, tanto pessoal quanto profissionalmente. Agradeço às professoras Carmem e Ana Flávia, membros da banca avaliadora, pela disponibilidade e atenção neste trabalho.

À UFPB, em nome da SINFRA, pela parceria e pelo trabalho conjunto durante o desenvolvimento deste trabalho.

E a todos que contribuíram para a sua realização, meu muito obrigada.

“É justo que muito custe o que muito vale.”

(Santa Teresa d'Ávila)

RESUMO

A água é um recurso natural indispensável à vida humana, e o acesso à água potável é um direito humano fundamental. No Brasil, os padrões de qualidade da água são regulamentados pela Portaria nº 888/2021, do Ministério da Saúde, cujo descumprimento pode contribuir para a disseminação de diversas doenças de veiculação hídrica. Neste sentido, é imprescindível o monitoramento constante da qualidade da água ao longo de todo o sistema de abastecimento, desde as fontes de captação até sua distribuição e consumo. Este trabalho objetivou avaliar a qualidade da água fornecida no Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e descrever, de forma setorizada, o seu sistema de abastecimento, reservação e distribuição. Para isso, foram considerados os reservatórios de maior relevância para o sistema e as principais áreas atendidas por eles. Além disso, realizou-se a caracterização da água subterrânea captada no Campus e a avaliação da qualidade da água fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Diversas medidas de adequação foram propostas para o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do Campus, atendendo às exigências da Portaria nº 888/2021. Entre as medidas implementadas, destaca-se a elaboração e implantação de um Plano de Amostragem, executado por meio de um programa de monitoramento da qualidade da água. Esse monitoramento envolveu a análise diária de pH e cloro residual, a análise semanal de turbidez, cor, coliformes totais e *Escherichia coli*, e a avaliação semestral de outros parâmetros. Adicionalmente, foi proposta a introdução de pastilhas de cloro para garantir o residual de desinfetante exigido pela Portaria nº 888/2021, com controle periódico e acompanhamento do serviço de cloração. Outras medidas, como a atualização completa da rede de distribuição de água, com o mapeamento de todos os reservatórios que compõem o SAA e a implementação de um controle das inspeções, limpezas e desinfecção dos poços e reservatórios, ainda não foram realizadas. Os resultados destacaram a alta qualidade da água subterrânea captada no Campus I, em conformidade com os padrões para águas subterrâneas Classe I definidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008. A implementação das medidas propostas evidenciou a importância da cloração para a segurança da água fornecida, uma vez que sua ausência resultou em contaminação microbiológica de origem fecal em 38% das amostras analisadas na água de um dos reservatórios do SAA do Campus. Este estudo reforça a importância de fornecer água de qualidade à comunidade universitária e à população que utiliza este recurso direta ou indiretamente, contribuindo para a saúde e o bem-estar coletivo.

Palavras-chave: Água potável; Qualidade da água; Portaria nº 888/2021; Controle da potabilidade da água.

ABSTRACT

Water is a natural resource indispensable to human life, and access to drinking water is a fundamental human right. In Brazil, water quality standards are regulated by Ordinance No. 888/2021 of the Ministry of Health, and failure to comply with which may contribute to the spread of various waterborne diseases. In this sense, constant monitoring of water quality throughout the entire supply system is essential, from the sources of abstraction to its distribution and consumption. This work aimed to evaluate the quality of water supplied to Campus I of the Federal University of Paraíba (UFPB) and describe, in a sectorized manner, its supply, storage and distribution system. To this end, the most relevant reservoirs for the system and the main areas served by them were considered. In addition, the groundwater collected on Campus was characterized and the quality of the water supplied by the Paraíba Water and Sewage Company (CAGEPA) was assessed. Several adaptation measures were proposed for the Campus Water Supply System (SAA), meeting the requirements of Ordinance No. 888/2021. Among the measures implemented, the development and implementation of a Sampling Plan through a water quality monitoring program stands out. This monitoring involved the daily analysis of pH and residual chlorine, the weekly analysis of turbidity, color, total coliforms, and *Escherichia coli*, and the semiannual evaluation of other parameters. Additionally, the introduction of chlorine tablets was proposed to guarantee the disinfectant residual required by Ordinance No. 888/2021, with periodic control and monitoring of the chlorination service. Other measures, such as the complete updating of the water distribution network, with the mapping of all the reservoirs that make up the SAA and the implementation of control over inspections, cleaning and disinfection of wells and reservoirs, have not yet been carried out. The results highlighted the high quality of the groundwater collected at Campus I, in accordance with the standards for Class I groundwater defined by CONAMA Resolution No. 396/2008. The implementation of the proposed measures highlighted the importance of chlorination for the safety of the water supplied, since its absence resulted in microbiological contamination of fecal origin in 38% of the samples analyzed in the water from one of the SAA reservoirs on Campus. This study reinforces the importance of providing quality water to the university community and the population that uses this resource directly or indirectly, contributing to collective health and well-being.

Keywords: Drinking water; Water quality; Ordinance No. 888/2021; Control of water potability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização de aquíferos e poços tubulares.....	19
Figura 2 - Localização dos reservatórios em função do terreno.....	20
Figura 3 - Coleta de água (a) Material utilizado para coleta e refrigeração das amostras; (b) Coleta sendo realizada e (c) Transporte destinado para acompanhamento das coletas.....	30
Figura 4 - Equipamentos utilizados nas análises. (a) pHmetro; (b) Condutivímetro; (c) Bureta automática; (d) Lâmpada ultravioleta; (e) Espectrofotômetro; (f) Estufa de cultura bacteriológica.....	32
Figura 5 - SAA do RC. (a) Esquema simplificado do sistema; (b) Cloradores de pastilhas - instalados no decorrer deste trabalho; (c) Reservatório Elevado; (d) Poço 1 ; (e) Poço 2 ; (f) Poço 3.....	35
Figura 6 - SAA do CCS. (a) Esquema simplificado do sistema; (b) Cloradores de pastilhas - instalados no decorrer deste trabalho; (c) Reservatório Elevado; (d) Poço.....	36
Figura 7 - SAA do CCSA. (a) Esquema simplificado do sistema; (b) Clorador de pastilhas - instalados no decorrer deste trabalho; (c) Reservatório Elevado; (d) Poço.....	37
Figura 8 - Mapa do Campus I da UFPB com delimitação das áreas abastecidas pelos reservatórios.....	40
Figura 9 - Pontos de coleta. (a) Poço 1; (b) Poço 5; (c) Água tratada da CAGEPA.....	41
Figura 10 - Isolamento dos reservatórios e as ocorrências observadas. (a) RUMF; (b) CCJ...	48
Figura 11 - Cloradores instalados no Campus I da UFPB. (a) RC; (b) CCS e (c) CCSA.....	51
Figura 12 - Alimentação dos cloradores. (a) Planilha de controle; (b) Registros fotográficos.	52
Figura 13 - Quantitativo mensal de abastecimento dos cloradores.....	52
Figura 14 - Ponto de coletas da água tratada. (a) Dentro da casa de bombas do RC; (b) Na entrada da casa de bombas do Reservatório do CCS; (c) Próximo a entrada do Reservatório do CCSA.....	55
Figura 15 - Gráfico do teor de cloro residual - RC.....	57
Figura 16 - Gráficos de monitoramento - RC. (a) pH; (b) Turbidez; (c) Cor Aparente.....	58
Figura 17 - Gráficos de monitoramento - RC. (a) Coliformes Totais; (b) <i>E. coli</i>	59
Figura 18 - Partículas em suspensão na amostra coletada.....	60
Figura 19 - Gráfico do teor de cloro residual - CCS.....	61

Figura 20 - Gráficos de monitoramento - CCS. (a) pH; (b) Turbidez; (c) Cor Aparente.....	62
Figura 21 - Gráficos de monitoramento - CCS. (a) Coliformes Totais; (b) <i>E. coli</i>	63
Figura 22 - Gráfico do teor de cloro residual - CCSA.....	64
Figura 23 - Gráficos de monitoramento - CCSA. (a) pH; (b) Turbidez; (c) Cor Aparente.....	65
Figura 24 - Gráficos de monitoramento - CCSA. (a) Coliformes Totais; (b) <i>E. coli</i>	66
Figura 25 - Histórico dos defeitos do clorador - CCSA.....	67
Figura 26 - Reservatório elevado do CCSA sem a tampa de vedação.....	68
Figura 27 - Publicações feitas no Instagram do LACQUA.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais processos no tratamento convencional da água.....	20
Tabela 2 - Principais doenças de veiculação hídrica.....	22
Tabela 3 - Parâmetros com valores máximos permitidos na Portaria nº 888/2021.....	28
Tabela 4 - Relação dos poços do Campus I da UFPB.....	37
Tabela 5 - Relação dos principais reservatórios do Campus I da UFPB.....	38
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros básicos para a água bruta e da CAGEPA.....	41
Tabela 7 - Resultados dos metais para a água subterrânea e da CAGEPA.....	42
Tabela 8 - Resultados dos parâmetros inorgânicos e indicadores de qualidade para a água subterrânea e da CAGEPA.....	43
Tabela 9 - Lista das medidas propostas para o SAA do Campus I da UFPB.....	45
Tabela 10 - Lista das manutenções realizadas no SAA do Campus I da UFPB.....	49
Tabela 11 - Plano de Amostragem proposto para o SAA do Campus I da UFPB.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALESP	Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo
ANA	Agência Nacional de Águas
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CVS	Centro de Vigilância Sanitária
LACQUA	Laboratório de Cromatografia e Quimiometria Aplicada
MS	Ministério da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Solução Alternativa Coletiva
SAI	Solução Alternativa Individual
SINFRA	Superintendência de Infraestrutura
SUS	Sistema Único de Saúde
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1. Potabilidade da água segundo a Portaria nº 888/2021.....	17
3.1.1. Principais definições.....	17
3.2. Normativas que complementam os padrões de potabilidade da água.....	18
3.3. Classificação dos poços e aquíferos.....	18
3.4. Sistema de Abastecimento de Água.....	19
3.4.1. Tratamento convencional.....	20
3.4.2. Desinfecção segundo a Portaria nº 888/2021.....	21
3.5. Doenças de veiculação hídrica.....	22
3.6. Contaminação na rede de distribuição.....	23
3.7. Parâmetros da qualidade da água.....	23
4. METODOLOGIA.....	29
4.1. Descrição do Sistema de Abastecimento de Água da UFPB - Campus I.....	29
4.2. Avaliação da Qualidade da Água Fornecida no Campus I da UFPB.....	29
4.2.1. Coleta e conservação das amostras.....	29
4.2.2. Análises físico-químicas e microbiológicas.....	31
4.2.3. Análise da água tratada fornecida pela CAGEPA.....	32
4.3. Medidas de Adequação e Monitoramento da Qualidade da Água.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1. Descrição do sistema de abastecimento do Campus I.....	34
5.1.1. Abastecimento do Reservatório Central.....	34
5.1.2. Abastecimento do Reservatório do Centro de Ciências da Saúde.....	35
5.1.3. Abastecimento do Reservatório do Centro de Ciências Sociais Aplicadas.....	36

5.2. Descrição do sistema de distribuição do Campus I.....	38
5.3. Caracterização das águas fornecidas na UFPB.....	40
5.4. Medidas de adequação propostas para o Sistema de Abastecimento de Água do Campus I da UFPB.....	45
5.5. Monitoramento das medidas de adequação propostas.....	48
5.5.1. Manutenções realizadas no SAA do Campus I da UFPB.....	48
5.5.2. Controle da manutenção de residual mínimo de cloro.....	50
5.5.3. Proposta de plano de amostragem.....	53
5.5.4. Monitoramento da qualidade da água conforme plano de amostragem.....	55
5.6. Divulgação Científica.....	68
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXO A - Planta da rede de distribuição de água da UFPB.....	74
ANEXO B - Metodologia utilizada em cada análise.....	75
ANEXO C - Artigos contemplados no Plano de Amostragem da UFPB.....	76
ANEXO D - Artigo publicado nos anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.....	77

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para a vida no planeta, cobrindo aproximadamente 70% de sua superfície. No entanto, a maior parte dessa água é salgada, com apenas 2,5% sendo água doce - concentrada em geleiras, aquíferos e rios - disponível para uso humano. Devido à presença de sais e minerais, a água salgada não é adequada para o consumo direto, o que torna a água doce extremamente valiosa e limitada (ANA, [2020]). Essa reduzida parcela disponível sustenta ainda mais a urgente necessidade de preservá-la em quantidade e qualidade (HELLER; PÁDUA, 2010).

Apesar da sua limitação, a água doce é responsável por diversos processos que promovem a vida no planeta, desde o abastecimento dos lençóis subterrâneos até a manutenção da flora e da fauna. Além disso, ela está presente nas atividades agrícolas, nas indústrias, na geração de energia e principalmente no consumo humano, através da ingestão, do preparo de alimentos, da higiene e limpeza doméstica. O consumo de água potável contribui para a prevenção de doenças, a regulação térmica do corpo, e para o processo de digestão e absorção de nutrientes (ALESP, 2021).

O acesso à água potável é um direito humano fundamental, conforme declarado na Resolução nº 64/292 da Organização das Nações Unidas (ONU) (ONU, 2010). Para garantir esse direito, a água destinada ao consumo humano deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos por legislações, resoluções, portarias e normas, como Portaria nº 888/2021, que define os critérios para sua qualidade. O descumprimento desses padrões contribui para a propagação de diversas doenças de veiculação hídrica, como diarreias, gastroenterites, amebíases, entre outras, responsáveis por cerca de 80% das internações hospitalares no Brasil, segundo dados do Sistema Único de Saúde (SUS) (MERTEN; MINELLA, 2022).

Nesse contexto, Heller e Pádua (2010) afirmam que um sistema de abastecimento de água deve garantir que a água fornecida seja de qualidade, contínua e acessível, respeitando o direito ao uso da água por gerações presentes e futuras. No sistema de abastecimento, a etapa de desinfecção é uma ação imprescindível para a manutenção da qualidade da água e a eliminação de microrganismos patogênicos (BARROS *et al.*, 2001). A adição de agente desinfetante na água de abastecimento é uma prática prevista na Portaria nº888/2021 para manutenção de residuais mínimos que contribuem para a qualidade da água.

Ainda segundo Heller e Pádua (2010), o manancial desempenha um papel crucial no sistema de abastecimento de água, pois a escolha adequada dessa fonte é determinante na qualidade da água fornecida. Em comparação com os mananciais superficiais, as águas

subterrâneas, extraídas de poços, apresentam menor risco de contaminação por agentes biológicos e químicos (ECKHARDT *et al.*, 2009). Avaliar e monitorar frequentemente a água do manancial, seja subterrânea ou superficial, garante uma segurança hídrica para o sistema de abastecimento permitindo a identificação de possíveis riscos e certificando que a água atenda aos padrões de potabilidade que asseguram a saúde e o bem-estar da população.

Dado o tamanho do Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e o grande número de pessoas que circulam pela instituição, torna-se essencial fornecer água de qualidade para toda a comunidade acadêmica, bem como para a população que, direta ou indiretamente, utiliza esse recurso. Com base nisso, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água fornecida no Campus I por meio de análises físico-químicas e microbiológicas de amostras coletadas em pontos previamente definidos após uma descrição detalhada do sistema de captação, reservação e distribuição de água. Além disso, foram monitoradas medidas de adequação da qualidade da água propostas para o sistema de abastecimento de água do Campus conforme a Portaria nº 888/2021.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água que é fornecida no Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), propor medidas de adequação para a qualidade da água e monitorar a implementação dessas medidas.

2.2. Objetivos Específicos

- Descrever o sistema de abastecimento, reservação e distribuição de água da Universidade Federal da Paraíba - Campus I.
- Analisar a qualidade da água subterrânea captada e utilizada no Campus I da UFPB.
- Analisar a qualidade da água tratada fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) visando o atendimento às exigências da Portaria n° 888/2021.
- Propor medidas de adequação do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) conforme a Portaria n° 888/2021.
- Elaborar e implementar uma proposta de Plano de Amostragem para análise da qualidade da água do Campus I.
- Monitorar a implementação das medidas de adequação propostas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para assegurar a qualidade da água destinada ao consumo humano no Brasil, ao longo das décadas, foram implementadas diversas normativas para estabelecer padrões mínimos de potabilidade. Essas regulamentações têm sido atualizadas em função dos avanços científicos e das novas descobertas sobre parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e organolépticos da água.

A Portaria do Ministério da Saúde nº 888, de 4 de maio de 2021, surgiu como uma alteração do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, e estabelece diretrizes para o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, além de definir seu padrão de potabilidade. Esta atualização fortalece a noção de qualidade da água tornando-se mais exigente quanto às concentrações de diversos parâmetros, além de introduzir mudanças quanto aos pontos e à frequência de amostragem (SOARES *et al.*, 2021).

3.1. Potabilidade da água segundo a Portaria nº 888/2021

3.1.1. Principais definições

As diretrizes estabelecidas pela Portaria nº 888/2021 aplicam-se à água destinada ao consumo humano decorrente de sistemas de abastecimento de água (SAA), solução alternativa coletiva (SAC), solução alternativa individual (SAI) e de carros-pipa. A Portaria também exige que a água distribuída deve estar sujeita ao controle e à vigilância de qualidade, definindo como “água para consumo humano” aquela que atenda aos padrões de potabilidade, destinada à ingestão, preparo de alimentos e higiene pessoal, independentemente de sua origem (BRASIL, 2021).

Segundo a Portaria, o sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA) é a 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.

O controle da qualidade da água é o conjunto de ações destinadas a verificar a potabilidade da água fornecida à população, visando assegurar sua segurança para o consumo. Entre as atribuições do responsável pelo SAA estão o controle da qualidade e o fornecimento de água potável, a elaboração de um plano de amostragem e o monitoramento desta água seguindo o plano de amostragem criado (BRASIL, 2021).

O plano de amostragem mencionado na Portaria nº 888/2021 define os pontos de coleta, a quantidade e a frequência das amostras, além dos parâmetros a serem analisados.

Diversos artigos da Portaria orientam a construção desse plano, como o Art. 42 § 2º, que especifica os parâmetros a serem analisados semestralmente, quando o SAA e o SAC são abastecidos por manancial subterrâneo. Além dos anexos que listam as substâncias que oferecem riscos à saúde (Anexo 9), bem como o número mínimo e a frequência amostral de análises físicas, químicas e microbiológicas (Anexos 13 e 14).

3.2. Normativas que complementam os padrões de potabilidade da água

Outras normativas complementam os padrões de potabilidade da água, como a Resolução CONAMA nº 357/2005, que classifica os corpos d'água superficiais em doces, salobras e salinas, com base na salinidade: águas doces possuem salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰, salobras entre 0,5 ‰ e 30 ‰, e salinas igual ou superior a 30 ‰. O Art. 3º desta resolução destaca que essas águas são subdivididas ainda em treze classes, de acordo com a qualidade necessária para seus usos preponderantes. E o Art. 4º, a CONAMA nº 357/2005 especifica que as águas doces das classes especial, I, II e III incluem o consumo humano como um dos usos preponderantes, diferenciando-se apenas pelo tipo de tratamento requerido.

Por sua vez, a Resolução CONAMA nº 396/2008 classifica as águas subterrâneas em cinco classes, de acordo com o uso preponderante, e define parâmetros com maior probabilidade de presença em fontes subterrâneas. No Art. 3º, a Resolução CONAMA nº 396/2008 classifica as águas de Classe I como aquelas sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, que não exigem tratamento para os usos preponderantes, entre eles o consumo humano, listando em seu Anexo I os parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas.

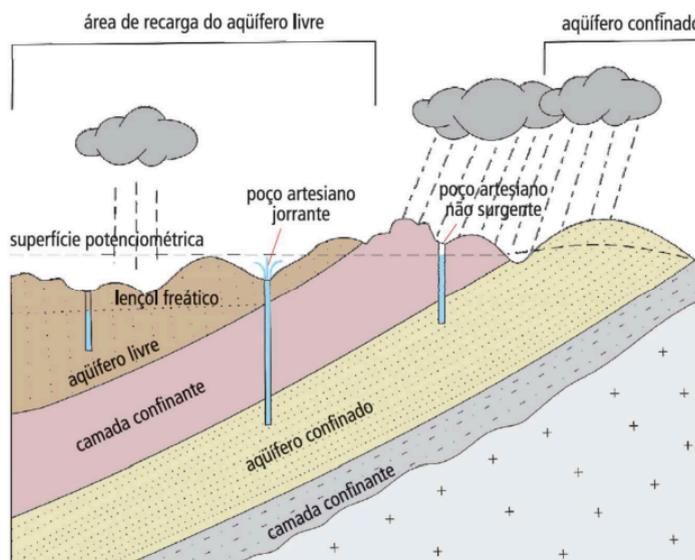
3.3. Classificação dos poços e aquíferos

A captação de água de mananciais subterrâneos é realizada por meio de poços, que podem ser classificados em escavados e tubulares. Conforme Vasconcelos (2014), os poços escavados possuem diâmetro superior a 0,5 metros e profundidade variada, indo de um metro a dezenas de metros, dependendo das características do solo. Esses poços são subdivididos em cacimba, cacimbão e amazonas, diferenciando-se pelo diâmetro e pela presença ou não de revestimento interno. A cacimba apresenta diâmetro superior a 0,5 metros, sem revestimento; o cacimbão, entre 1 e 5 metros, com revestimento parcial; e o amazonas, diâmetro maior que 5 metros, com revestimento parcial ou total.

Já os poços tubulares possuem revestimento tubular, geralmente de policloreto de vinila (PVC) ou aço, com profundidades variáveis e diâmetro inferior a 1 metro, normalmente

medido em polegadas, variando de 2 a 18 polegadas. Eles se subdividem em poços freáticos, que captam água de aquíferos livres, e poços artesianos, que captam água de aquíferos confinados (Figura 1). Os poços artesianos, por sua vez, são classificados como jorrantes, quando a água chega à superfície sem bombeamento, ou não jorrantes, quando o bombeamento é necessário (VASCONCELOS, 2014).

Figura 1 - Localização de aquíferos e poços tubulares.



Fonte: CETESB, [2017].

Os aquíferos livres estão próximos à superfície, em camadas geológicas permeáveis que afloram ao longo de sua extensão e são limitados por uma camada impermeável na parte inferior. Já os aquíferos confinados, normalmente situados em maior profundidade, entre camadas impermeáveis ou semipermeáveis que os isolam. A água presente nesses aquíferos está sob pressão, de forma que, ao perfurar um poço, ela tende a subir e, em alguns casos, pode chegar até a superfície (SÃO PAULO, 2021).

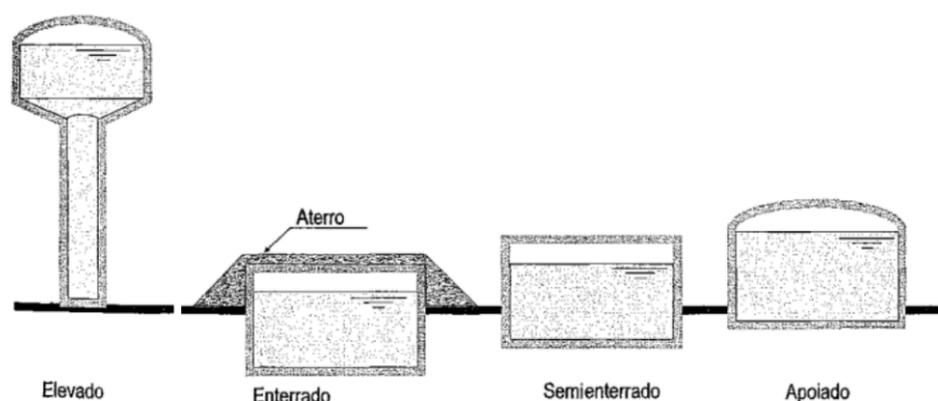
3.4. Sistema de Abastecimento de Água

Um sistema de abastecimento de água é composto de vários elementos essenciais para garantir o fornecimento de água potável. As principais unidades envolvidas são (HELLER; PÁDUA, 2010):

- Manancial: Fonte de captação de água, que pode ser superficial ou subterrânea.
- Captação: Extração de água do manancial.
- Adução: Estrutura responsável pelo transporte da água do manancial interligando unidades de captação, tratamento, reservação e rede de distribuição.

- Tratamento: Conjunto de processos para a melhoria das características da água, dos pontos de vista físico, químico, bacteriológico e organoléptico, a fim de que se torne própria para o consumo humano.
- Reservação: Armazenamento de água tratada em reservatórios para atender a diversos propósitos do fornecimento de água. Podem assumir diferentes formas (Figura 2) em função de sua posição no terreno (elevado, apoiado, semienterrado, enterrado).
- Rede de distribuição: Rede de tubulações e conexões que levam a água dos reservatórios ao consumidor final.

Figura 2 - Localização dos reservatórios em função do terreno.



Fonte: Adaptado de Heller e Pádua, 2010.

3.4.1. Tratamento convencional.

Em geral, a água captada dos mananciais pode possuir uma qualidade inferior àquela exigida na Portaria nº 888/2021. Para atingir os padrões de potabilidade é necessário um tratamento na água bruta antes de sua distribuição, para que a água não ofereça riscos sanitários à população. O tratamento convencional da água consiste nas seguintes etapas: pré-tratamento (quando necessário), coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. A descrição e finalidade de cada etapa de tratamento está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais processos no tratamento convencional da água

Processo	Descrição/finalidade
Pré-tratamento	Remoção ou redução de substâncias e impurezas que possam interferir nas etapas posteriores de purificação, como por exemplo o ajuste de pH de fundamental importância para a etapa de coagulação.
Coagulação	Adição de coagulante para desestabilizar impurezas presentes na água facilitando o aumento do tamanho das mesmas na etapa de floculação.
Floculação	Agitação da água após a coagulação, com o objetivo de promover o contato entre as

	impurezas, aumentando o tamanho dos flocos.
Decantação	Passagem da água por tanques para sedimentação dos flocos por ação da gravidade e remoção da turbidez.
Filtração	Remoção de material particulado presente na água, pela passagem através de um leito contendo meio granular (usualmente areia e/ou antracito).
Desinfecção	Processo destinado a inativar microrganismos patogênicos presentes na água, como Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i> .

Fonte: Adaptado de Heller e Pádua, 2010.

3.4.2. Desinfecção segundo a Portaria nº 888/2021

A Portaria nº 888/2021 determina, no Art. 24, que toda água destinada ao consumo humano deve ser submetida a um processo de desinfecção ou receber a adição de um agente desinfetante, a fim de garantir a manutenção dos residuais mínimos definidos no Art. 32. As opções de desinfecção mencionadas nesta Portaria são a cloração, cloraminação, aplicação de dióxido de cloro ou de isocianuratos clorados, a ozonização e a desinfecção por radiação ultravioleta (UV).

A desinfecção por cloração é comumente utilizada devido ao seu baixo custo, elevado potencial de inativação de microrganismos, risco relativamente baixo à saúde humana, não conferir gosto e odor à água (nas concentrações normalmente aplicadas) e sua capacidade de manter um residual estável de cloro na rede de distribuição. O Art. 32 indica que esse residual deve ser mantido com valores mínimos de 0,2 mg/L para cloro residual livre, 2 mg/L para cloro residual combinado, ou 0,2 mg/L de dióxido de cloro ao longo de toda a extensão do sistema de distribuição e nos pontos de consumo (BRASIL, 2021).

Para sistemas de abastecimento de água com captação de manancial subterrâneo, o Art. 31, § 1º, exige que, ao detectar contaminação por *Escherichia coli*, sejam verificados os tempos de contato e as concentrações residuais de desinfetante na saída do tanque, considerando o pH e a temperatura da água, conforme os Anexos 6, 7 e 8 da Portaria. Contudo, uma vez assegurada a ausência de *Escherichia coli*, a adição de agente desinfetante já é suficiente para garantir esses residuais. De acordo com o § 5º do Art. 31, a avaliação da contaminação por *Escherichia coli* na água captada dos mananciais subterrâneos deve ser realizada mensalmente mediante coleta de amostra em um ponto anterior ao local de aplicação do desinfetante.

O Art. 34 também menciona a aplicação de compostos isocianuratos clorados como agente desinfetante para atender aos requisitos do Art. 24, devendo respeitar os mesmos

critérios para o cloro residual livre. Segundo Macedo *et al.* (2001), compostos clorados de origem orgânica, como o ácido tricloroisocianúrico e o dicloroisocianurato de sódio, oferecem a vantagem de reduzir a formação de trihalometanos, subprodutos potencialmente cancerígenos da desinfecção.

3.5. Doenças de veiculação hídrica

Dado que a desinfecção é a etapa do tratamento de água responsável pela inativação de organismos patogênicos, ela é capaz de reduzir substancialmente o risco de transmissão de diversas doenças de veiculação hídrica. A Tabela 2 apresenta as principais doenças transmitidas pela água, juntamente com suas respectivas fontes de contaminação.

Tabela 2 - Principais doenças de veiculação hídrica

Doenças	Agente Causador	Sintomas	Fontes de contaminação
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Forte diarreia, desidratação, alta taxa de mortalidade.	Fezes humanas e águas costeiras.
Disenteria bacilar	<i>Shigella dysenteriae</i>	Forte diarreia.	Fezes humanas.
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarreia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência.	Fezes humanas e de animais.
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia prolongada com sangramento, abscessos no fígado e intestino fino.	Fezes humanas.
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia, náusea, indigestão, flatulência.	Fezes humanas e de animais.
Hepatite A e B	Vírus da hepatite A e B	Icterícia, febre.	Fezes humanas.
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , Rotavírus e outros.	Diarreia.	Fezes humanas.

Fonte: Adaptado de Madeira, [2024].

O Art. 27 da Portaria nº 888/2021 estabelece que a água potável deve atender ao padrão microbiológico definido nas disposições da própria normativa. Para isso, são especificados alguns microrganismos que devem ser monitorados na água destinada ao consumo humano. Entre eles, a Portaria prevê a análise de oocistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* em mananciais superficiais, além do monitoramento mensal de *Escherichia coli* para ambos os tipos de mananciais.

3.6. Contaminação na rede de distribuição

A água tratada, mesmo após a desinfecção, pode ter sua qualidade comprometida ao longo da distribuição ou devido a condições inadequadas de reservação. Essa deterioração pode ocorrer pela presença de bactérias do grupo dos coliformes totais, tanto nos reservatórios quanto na rede de distribuição, indicando a necessidade de investigação e ações corretivas, conforme orienta o § 1º do Art. 27 da Portaria nº 888/2021. Isso ressalta a importância da manutenção dos residuais mínimos de cloro, definidos pelo Art. 32, em toda a rede de distribuição, como medida preventiva contra possíveis (re)contaminações e proliferação de microrganismos no sistema de abastecimento (BRASIL, 2016).

De acordo com Oliveira e Barreto (2019), a ausência de manutenção adequada nos reservatórios, como limpezas periódicas, é uma das principais causas da deterioração da qualidade da água. A recomendação técnica do Centro de Vigilância Sanitária de São Paulo inclui manutenções periódicas com higienização uma vez a cada seis meses e sempre que houver alteração nos parâmetros de potabilidade que representem risco ao consumo. A limpeza deve seguir metodologias oficiais e envolver a remoção mecânica de substâncias e detritos no interior dos reservatórios (CVS, 2013).

3.7. Parâmetros da qualidade da água

Segundo Brasil (2021), considera-se potável a água que atende a um conjunto específico de parâmetros de qualidade, sem oferecer riscos à saúde. Em seus anexos, a Portaria nº 888/2021 define os padrões de potabilidade, incluindo uma lista de substâncias com seus valores máximos permitidos (VMPs). Dentre esses parâmetros, destacam-se os seguintes:

Coliformes Totais e Escherichia coli: parâmetros fundamentais na verificação da qualidade microbiológica da água. O grupo dos coliformes totais inclui bactérias de vida livre, que podem ocorrer naturalmente em solo, água, plantas e em dejetos de origem humana ou animal. Essas bactérias abrangem mais de 30 espécies, e sua ausência na água indica que esta é livre de agentes patogênicos (MADEIRA, [2024]). Já sua presença não está atrelada necessariamente a contaminação de origem fecal, mas é um indicativo de alguns problemas relacionados à qualidade da água, como uma possível exposição da água não tratada a focos de poluição; falhas no processo de desinfecção; deterioração da qualidade ao longo do sistema de distribuição após o tratamento ou até mesmo condições inadequadas de armazenamento (BRASIL, 2016).

A *Escherichia coli* pertence aos coliformes termotolerantes - subgrupo dos coliformes totais, com capacidade de resistir a temperaturas mais elevadas. Ela é considerada o indicador mais confiável de contaminação fecal, pois está presente em abundância nas fezes de seres humanos e animais de sangue quente, sendo encontrada exclusivamente em esgotos, águas naturais e solos que sofreram contaminação fecal recente por efluentes domésticos por exemplo (ALVES, 2008).

De acordo com Funasa (2013), a escolha da *Escherichia coli* (*E. coli*) como indicador de contaminação fecal deve-se a vários fatores, como sua presença constante em dejetos humanos e de animais de sangue quente e a facilidade de detecção e quantificação com técnicas acessíveis. Além disso, sua concentração na água possui uma correlação direta com o nível de contaminação fecal, e a *E. coli* demonstra menor exigência nutricional e maior resistência a desinfetantes em comparação a outras bactérias patogênicas intestinais, o que resulta em um tempo de sobrevivência mais prolongado na água.

A Portaria n° 888/2021 determina que para coliformes totais e para *Escherichia coli* o Valor Máximo Permitido (VMP) é a ausência em 100 mL.

pH: O potencial hidrogeniônico (pH) da água mede a atividade dos íons hidrogênio, numa escala de 0 a 14, expressando condições ácidas em $\text{pH} < 7,0$ e alcalinas em $\text{pH} > 7,0$. O pH influencia a solubilidade de substâncias e desempenha papel crucial nos processos de tratamento de água e efluentes, especialmente na coagulação, já que cada coagulante funciona melhor em uma faixa de pH específica. Para a desinfecção por cloração, o pH é também relevante, pois a eficiência desse processo é reduzida em pH elevado (BRASIL, 2006). Segundo a Portaria n° 888/2021, a água para consumo humano deve ter pH entre 6,0 e 9,0.

Cor: A coloração da água pode ser um indicativo de matéria orgânica, metais como ferro e manganês, ou resíduos industriais coloridos. Para consumo humano, a cor da água é um parâmetro estético e um fator de referência para aceitação ao consumo. A **cor verdadeira** é medida após a filtração ou centrifugação, removendo partículas em suspensão, enquanto a **cor aparente** considera a leitura direta, sem tratamento. (BRASIL, 2006). Segundo a Portaria n° 888/2021 de potabilidade, Valor Máximo Permitido (VMP) para cor é de 15 unidades Hazen (uH), sendo que valores abaixo de 10 uH geralmente não são perceptíveis visualmente (BRASIL, 2006).

Turbidez: A turbidez é um indicador sanitário e organoléptico da água, associado ao grau de interferência sofrido pela passagem de luz através da água, causado por partículas em suspensão, como areia, algas, plâncton, matéria orgânica e elementos como zinco, ferro e manganês (FUNASA, 2013). Elevados níveis de turbidez, principalmente de origem orgânica,

podem reduzir a eficácia da desinfecção, protegendo microrganismos dos efeitos do cloro e promovendo o crescimento bacteriano no sistema de distribuição (HELLER; PÁDUA, 2010). A Portaria de água potável recomenda um VMP de até 5 unidades de turbidez (UT) para garantir a segurança e a qualidade da água para consumo humano.

Ferro e Manganês: A presença de ferro na água geralmente vem acompanhada de manganês, conferindo-lhe sabor amargo adstringente e uma coloração amarelada e turva. Esses elementos, em forma de sais como carbonatos, sulfetos e cloretos, podem se oxidar e formar precipitados que provocam incrustações nas tubulações (BRASIL, 2006). É esse precipitado a causa principal das incrustações nas tubulações. Além disso, ferro e manganês são nutrientes para bactérias, o que os torna potenciais indicadores de contaminação microbiológica (FEITOSA *et al.*, 2008).

Alumínio: O alumínio é comumente utilizado no tratamento de água na fase de coagulação, geralmente na forma de sulfato de alumínio. No entanto, o uso inadequado desse coagulante pode resultar em resíduos de alumínio na água tratada, aumentando a turbidez, reduzindo a eficiência da desinfecção e podendo, a longo prazo, contribuir para problemas de saúde, como a osteoporose (SILVA *et al.*, 2020).

Outros metais (Cu, Cr, Mo e Zn): Outros metais podem estar presentes na água, porém geralmente são constituintes traços, ou seja, estão em quantidades ínfimas, como é o caso do Cobre, Cromo, Molibdênio e Zinco. Alguns desses metais são importantes para o metabolismo humano e devem ser consumidos em quantidades controladas por meio de alimentos e água potável. No entanto, em concentrações elevadas, tornam-se potencialmente tóxicos e provém, principalmente, de despejos industriais (FEITOSA *et al.*, 2008).

Condutividade elétrica, salinidade e sólidos dissolvidos totais: A condutividade elétrica é a capacidade da água de conduzir corrente elétrica, sendo influenciada pela concentração de íons em solução. A salinidade é a quantidade total de sais dissolvidos na água capazes de conduzir eletricidade como cloretos, sulfetos, carbonatos, fosfatos. Já os sólidos dissolvidos totais (SDT) englobam a totalidade de substâncias dissolvidas na água, incluindo minerais, sais e materiais orgânicos. Uma vez que a maior parte das substâncias dissolvidas na água encontra-se na forma iônica, a condutividade é diretamente proporcional à quantidade de sólidos dissolvidos totais (SDT) (HELLER; PÁDUA, 2010).

Dureza total e cloreto: A dureza total da água é atribuída à presença de íons de cálcio e magnésio, que geralmente estão associados a carbonatos e sulfatos. A principal fonte de dureza das águas é a sua passagem pelo solo, onde o gás carbônico dissolve rochas calcárias (MADEIRA, [2024]). Os cloretos, além de conferir gosto salino às águas, teores elevados

podem interferir na coagulação durante o tratamento da água. Além disso, sua presença pode indicar contaminação por esgoto doméstico ou efluente industrial, já que são encontrados em fezes humanas e de animais (HELLER; PÁDUA, 2010).

Sulfeto e sulfato: Traços de sulfeto ocorrem em sedimentos não poluídos resultantes da decomposição de matéria orgânica em condições anaeróbicas. No entanto, a presença de sulfeto em concentrações elevadas na água pode ser um indicativo de despejos domésticos ou industriais. Quando em ambientes oxidantes, o sulfeto se converte em sulfato (HELLER; PÁDUA, 2010). E o sulfato, em elevadas concentrações, pode ser indicativo de poluição por decomposição da matéria orgânica ou de efluentes industriais (MADEIRA, [2024]).

Nitrogênio, potássio e fosfato: O fósforo na natureza é mais frequentemente encontrado sob a forma de fosfato. Quando nitrogênio, potássio e fosfato estão presentes em altas concentrações em águas superficiais, podem promover a proliferação de algas e plantas aquáticas, resultando no fenômeno conhecido como eutrofização. Esse processo altera a qualidade da água, reduzindo os níveis de oxigênio dissolvido e favorecendo a liberação de cianotoxinas, que são produzidas por cianobactérias (algas azuis). Na água bruta, a eutrofização pode gerar complicações operacionais em várias etapas do tratamento, como a redução da eficiência dos processos de coagulação, floculação e sedimentação, além de causar a colmatação dos filtros (obstrução gradual dos poros do meio filtrante) e aumentar a demanda por produtos para a desinfecção (MADEIRA, [2024]).

Amônia, nitrito e nitrato: Amônia, nitrito e nitrato são algumas das formas que o nitrogênio pode ser encontrado em águas naturais. A amônia é produzida principalmente pela hidrólise da ureia e pela desaminação de compostos orgânicos nitrogenados, representando o primeiro estágio na decomposição do nitrogênio orgânico. O nitrito, por sua vez, é um intermediário da oxidação da amônia, enquanto o nitrato representa o estágio final desse processo. A forma predominante do nitrogênio encontrada na água pode indicar o estágio de poluição: a presença de amônia sugere poluição recente, enquanto o nitrato é associado a contaminação mais antiga (BEZERRA *et al.*, 2017). Concentrações superiores a 5 mg/L são frequentemente consideradas indicativas de contaminação em águas subterrâneas, resultantes de despejos industriais e esgotos domésticos (FEITOSA *et al.*, 2008).

Fluoreto: Os fluoretos são considerados elementos importantes na água potável, pois desempenham um papel crucial na prevenção de cáries dentárias. Como resultado, é comum a adição de fluoretos no abastecimento de água. No entanto, é fundamental que essa adição seja controlada, pois dosagens excessivas podem ter efeitos adversos à saúde, como o desenvolvimento de fluorose dentária e osteoporose (BRASIL, 2006).

Cloro: O cloro é um desinfetante amplamente utilizado em sistemas de abastecimento. Quando adicionado à água, ele se dissocia em íons hipoclorito (ClO^-) e ácido hipocloroso (HOCl), sendo este último o principal responsável pela ação desinfetante. A relação entre essas duas formas de cloro livre varia conforme o pH da água: em pH ácido, predomina o ácido hipocloroso, enquanto em pH básico, o íon hipoclorito é mais abundante, essas duas espécies compõem o cloro livre.

O cloro também reage com uma variedade de substâncias, como amônia, sulfetos e nitritos, além de outros íons e sais, o que pode reduzir sua eficácia como desinfetante. Portanto, é vital que a água apresente condições adequadas para que a desinfecção seja realizada de forma eficiente, garantindo a remoção de patógenos e a qualidade da água potável (MADEIRA, [2024]).

Cloro residual livre é a quantidade mínima de cloro que deve ser mantida na água ao longo de todo o sistema de distribuição. Segundo a Portaria nº 888/2021, é necessário que haja um residual mínimo de 0,2 mg/L tanto nos reservatórios quanto na rede de distribuição. Apesar de ser permitido até 5,0 mg/L, recomenda-se que o valor máximo fique em 2,0 mg/L, pois concentrações superiores podem causar odor e sabor desagradáveis na água (BRASIL, 2006).

Os compostos isocianuratos clorados oferecem uma fonte de liberação lenta de cloro, convertendo-se em ácido hipocloroso em baixas concentrações de maneira controlada e a uma taxa relativamente constante. Isso propicia uma ação controlada e exerce um efeito bactericida mais prolongado. Esses compostos estão disponíveis comercialmente na forma de tabletes e em pó (MADEIRA, [2024]).

A Tabela 3 apresenta os Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 para os parâmetros analisados neste estudo.

Tabela 3 - Parâmetros com valores máximos permitidos na Portaria n° 888/2021.

Parâmetro	Unidade	VMP (1)
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia	mg/L	1,2
Cloreto	mg/L	250
Cloro livre	mg/L	5
Cobre	mg/L	2
Coliformes totais	-	Ausência em 100 mL
Condutividade elétrica	µS/cm	-
Cor aparente	uH	15
Cromo	mg/L	0,05
Dureza total	mg/L	300
<i>Escherichia coli</i>	-	Ausência em 100 mL
Ferro	mg/L	0,3
Fluoreto	mg/L	1,5
Fosfato	mg/L	-
Manganês	mg/L	0,1
Molibdênio	mg/L	0,07 (2)
Nitrato	mg/L	10
Nitrito	mg/L	1
Nitrogênio total	mg/L	-
pH	-	6,0-9,0
Potássio	mg/L	-
Salinidade	‰	0,5 (3)
Sólidos dissolvidos totais	ppm	500
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto	mg/L	0,05
Turbidez	uT	5
Zinco	mg/L	5

(1) Os parâmetros condutividade elétrica, fosfato, nitrogênio total e potássio não possuem VMP definidos na Portaria n° 888/2021.

(2) Resolução CONAMA n° 396/2008.

(3) Resolução CONAMA n° 357/2005.

Adaptado de Brasil, 2021.

4. METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido com base nos dados coletados durante o estágio curricular realizado no Laboratório de Cromatografia e Quimiometria Aplicada (LACQUA), do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no período de novembro de 2022 a junho de 2024, e com o apoio da Superintendência de Infraestrutura (SINFRA)/Reitoria da UFPB.

4.1. Descrição do Sistema de Abastecimento de Água da UFPB - Campus I

Através de uma análise de campo abrangente, realizada no Campus I da Universidade Federal da Paraíba, e dos dados fornecidos pela Superintendência de Infraestrutura (SINFRA), foi possível descrever boa parte do sistema de captação, tratamento e reservação de água do Campus. O fornecimento de água do Campus ocorre por meio de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) com rede de distribuição composto por cinco poços artesianos e uma série de reservatórios, incluindo cisternas, caixas d'água de plástico, reservatórios semienterrados e elevados feitos de alvenaria. A distribuição de água é realizada por uma rede interligada, que abastece todos os centros do Campus, permitindo que alguns reservatórios recebam água tanto dos poços artesianos quanto da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Com base nessas informações, foram elaborados esquemas simplificados para ilustrar o percurso da água facilitando a compreensão do fluxo hídrico e a identificação dos poços e principais reservatórios do Campus I. Além disso, a partir do estudo da planta fornecida pela SINFRA (da rede de distribuição de água, porém desatualizada), apresentada no Anexo A, das informações obtidas na plataforma online Web-SIG (desenvolvida pelo Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias do Campus IV da UFPB) e das análises de qualidade da água coletada, foi possível identificar as áreas abastecidas pelos principais reservatórios da UFPB.

4.2. Avaliação da Qualidade da Água Fornecida no Campus I da UFPB

4.2.1. Coleta e conservação das amostras

Foram coletadas amostras da água distribuída no Campus I da Universidade Federal da Paraíba. Os pontos de coleta foram definidos com base na descrição detalhada do sistema de abastecimento de água da instituição, incluindo tanto a água bruta quanto a água tratada, considerando os principais centros e áreas abastecidas.

Todo o procedimento de coleta e transporte das amostras foi conduzido seguindo as diretrizes do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (ANA), incluindo o uso de luvas de látex para evitar contaminação, álcool 70% e hastes flexíveis com ponta de algodão para higienização dos pontos de coleta, caixas de isopor com gelo para manter as amostras refrigeradas até a realização das análises, frascos de plástico estéril com tiosulfato de sódio para análises microbiológicas, e garrafas plásticas para análises físico-químicas (Figura 3).

Figura 3 - Coleta de água (a) Material utilizado para coleta e refrigeração das amostras; (b) Coleta sendo realizada e (c) Transporte destinado para acompanhamento das coletas.



Fonte: Autor, 2023.

Diversas recomendações para a manutenção da integridade das amostras coletadas foram seguidas, tais como:

- Certificar-se que a parte interna dos frascos, assim como as tampas, não fossem tocadas com a mão ou ficassem expostas ao pó, fumaça e outras impurezas.

- Limpeza das mãos com sabão e água, ou antissepsia com álcool 70%, antes das coletas.
- Higienização do local de coleta com uma haste flexível embebida em álcool 70% a fim de evitar contaminação externa na amostra coletada.
- A abertura do ponto de coleta, com a escoamento da água por no mínimo 1 minuto, para eliminar todo resíduo que possa vir a interferir na análise da amostra.
- A coleta de amostra para análise microbiológica foi realizada sempre antes da coleta para análise físico-química, a fim de evitar o risco de contaminação do local de amostragem com material não estéril.
- A ambientação das garrafas plásticas antes de todas as coletas.

4.2.2. Análises físico-químicas e microbiológicas

Para a caracterização das amostras, foram realizadas diversas análises no Laboratório de Cromatografia e Quimiometria Aplicada (LACQUA), localizado no Centro de Tecnologia da UFPB, Campus I. Essas análises abrangeram parâmetros básicos, como cloro residual livre e total, pH, turbidez, cor aparente, coliformes totais e *Escherichia coli*; metais como alumínio, cobre, cromo, ferro, manganês, molibdênio e zinco; bem como outros parâmetros inorgânicos e indicadores de qualidade, incluindo amônia, condutividade, cloreto, dureza total, fosfato, fluoreto, nitrato, nitrito, potássio, salinidade, sólidos dissolvidos totais, sulfato e sulfeto.

A maior parte das análises foi realizada por espectrofotometria, utilizando o espectrofotômetro UV-Visível (UV-1280) da marca Shimadzu. Os reagentes utilizados foram adquiridos das marcas ALFAKIT e HACH, reconhecidos por fornecer equipamentos e reagentes para análise de água e outras soluções líquidas. As análises microbiológicas foram feitas com o teste Colilert da marca IDEXX, que detecta coliformes totais e *Escherichia coli*. Após a adição dos reagentes nos frascos microbiológicos, as amostras foram submetidas à incubação em uma Estufa de Cultura Bacteriológica da marca SolidSteel por 24 horas e em seguida, expostas à luz ultravioleta utilizando a lâmpada ultravioleta Spectroline E-Series para verificação de contaminação por *Escherichia coli*.

Para as análises de pH, condutividade, salinidade e sólidos dissolvidos totais foram utilizados equipamentos de bancada disponíveis no LACQUA. As análises de dureza e cloreto, por sua vez, foram realizadas por meio dos métodos titulométricos. Os equipamentos utilizados estão ilustrados na Figura 4.

Figura 4 - Equipamentos utilizados nas análises. (a) pHmetro; (b) Condutivímetro; (c) Bureta automática; (d) Lâmpada ultravioleta; (e) Espectrofotômetro; (f) Estufa de cultura bacteriológica.



Fonte: Autor, 2023

As metodologias analíticas empregadas em todas as análises atendem aos critérios estabelecidos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater conforme o Art. 22 da Portaria nº 888/2021. Essas metodologias estão listadas no Anexo B.

4.2.3. Análise da água tratada fornecida pela CAGEPA

Com intuito de analisar a qualidade da água tratada fornecida pela CAGEPA, visando verificar o seu atendimento às exigências da Portaria nº 888/2021, bem como comparar a qualidade desta água com a qualidade da água bruta captada no manancial subterrâneo, uma amostra da água tratada da CAGEPA, na tubulação que fornece água para o Campus I, foi coletada e analisada entre os meses de julho e agosto de 2024. O procedimento de coleta e transporte, bem como as análises e equipamentos utilizados para a caracterização desta amostra foram os mesmos empregados e descritos no tópico anterior.

4.3. Medidas de Adequação e Monitoramento da Qualidade da Água

A partir da leitura da Portaria nº 888/2021 e com base na avaliação do sistema de abastecimento de água descrito, foram propostas para a SINFRA/Reitoria algumas medidas de adequação do sistema, a fim de garantir à comunidade universitária o fornecimento de uma água segura para o consumo humano. A implementação dessas medidas foi acompanhada durante todo desenvolvimento deste trabalho e o monitoramento da qualidade da água foi realizado a partir de então.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Descrição do sistema de abastecimento do Campus I

Com base na planta da rede de distribuição de água do Campus (Anexo A) e na análise de campo, foi observado que a influência de cada fonte de abastecimento, em um reservatório específico, varia de acordo com a proximidade do poço ao reservatório, o nível de água nos reservatórios e a demanda de água na universidade (o que influencia a quantidade de água fornecida pela CAGEPA).

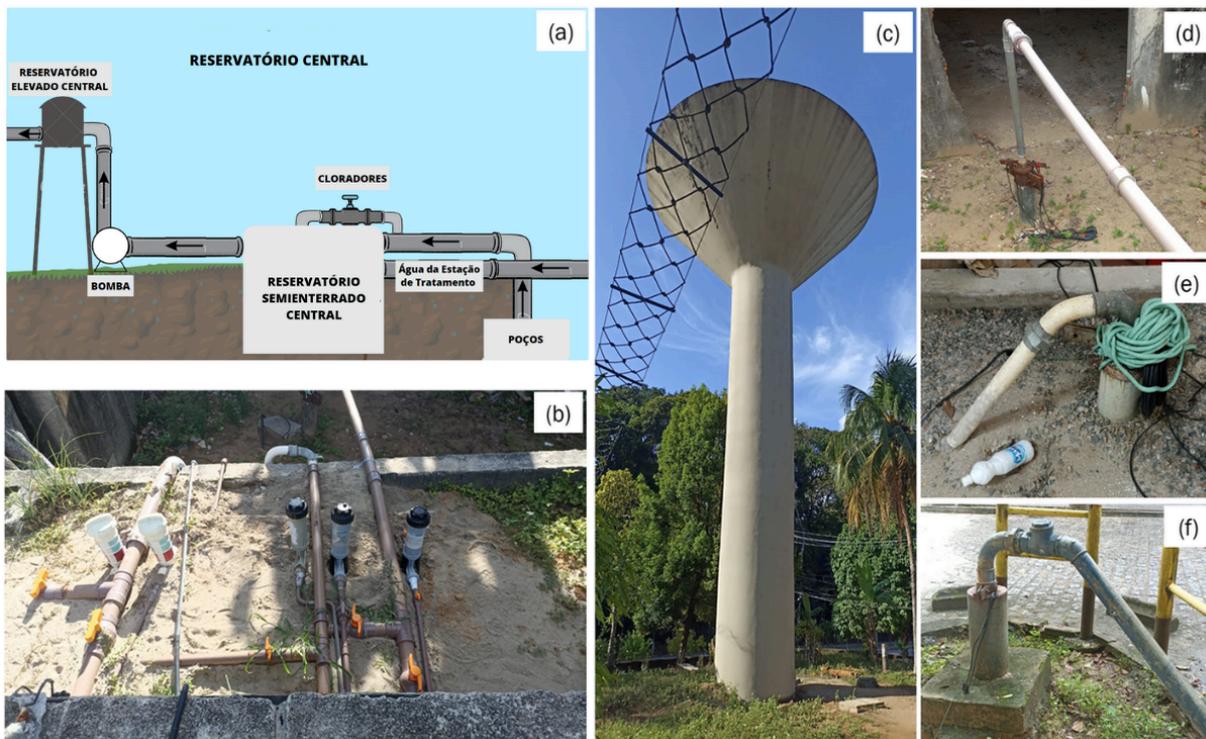
Além disso, verificou-se que a captação dos cinco poços artesianos fornece água para três principais conjuntos de reservatórios responsáveis pelo abastecimento de água a todos os centros e áreas da UFPB, são eles: Reservatório Central, Reservatório do CCS (Centro de Ciências da Saúde) e Reservatório do CCSA (Centro de Ciências Sociais Aplicadas).

5.1.1. Abastecimento do Reservatório Central

O Reservatório Central está localizado próximo ao Restaurante Universitário (RU). O abastecimento do reservatório semienterrado é feito pela captação da água subterrânea de três poços e da água da CAGEPA, após receber adição de agente desinfetante por meio de cloradores em pastilhas, a água é bombeada para o reservatório elevado e então distribuída para a rede interligada. A adição do agente desinfetante, em todas as amostras de água captada no manancial subterrâneo do Campus I, foi uma das medidas de adequação sugeridas e implementadas com o desenvolvimento deste trabalho.

A Figura 5 retrata o sistema de abastecimento do reservatório central com seus principais componentes.

Figura 5 - SAA do RC. (a) Esquema simplificado do sistema; (b) Cloradores de pastilhas - instalados no decorrer deste trabalho; (c) Reservatório Elevado; (d) Poço 1 ; (e) Poço 2 ; (f) Poço 3.

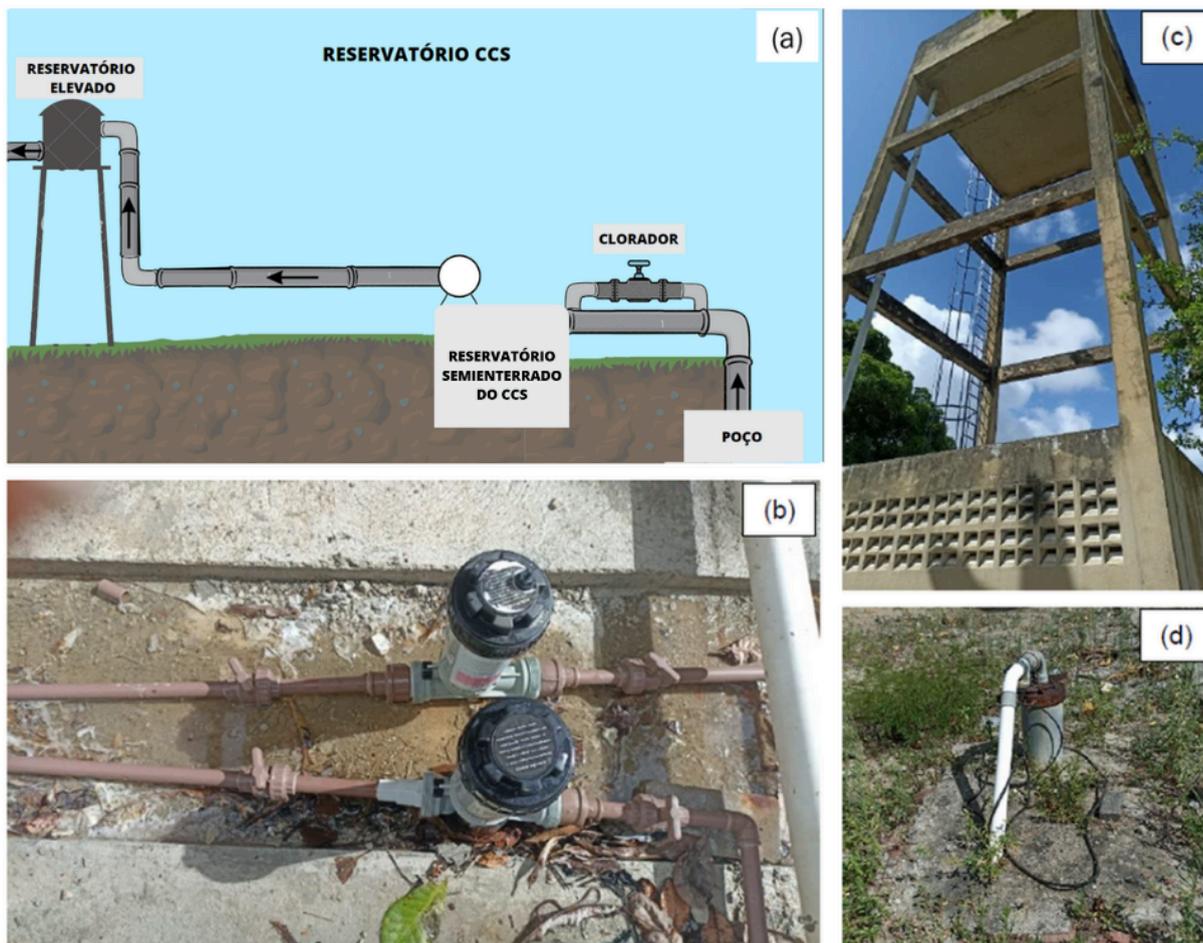


Fonte: Autor, 2023.

5.1.2. Abastecimento do Reservatório do Centro de Ciências da Saúde

O Reservatório do CCS está localizado nas proximidades da Pista de Atletismo. Nessa parte do sistema, há a captação da água subterrânea de um poço que abastece o reservatório semienterrado, onde também é adicionado o agente desinfetante, e em seguida ocorre o bombeamento da água para o reservatório elevado e conseqüente distribuição para a rede de água da universidade. Os componentes desse sistema de abastecimento estão retratados na Figura 6.

Figura 6 - SAA do CCS. (a) Esquema simplificado do sistema; (b) Cloradores de pastilhas - instalados no decorrer deste trabalho; (c) Reservatório Elevado; (d) Poço.

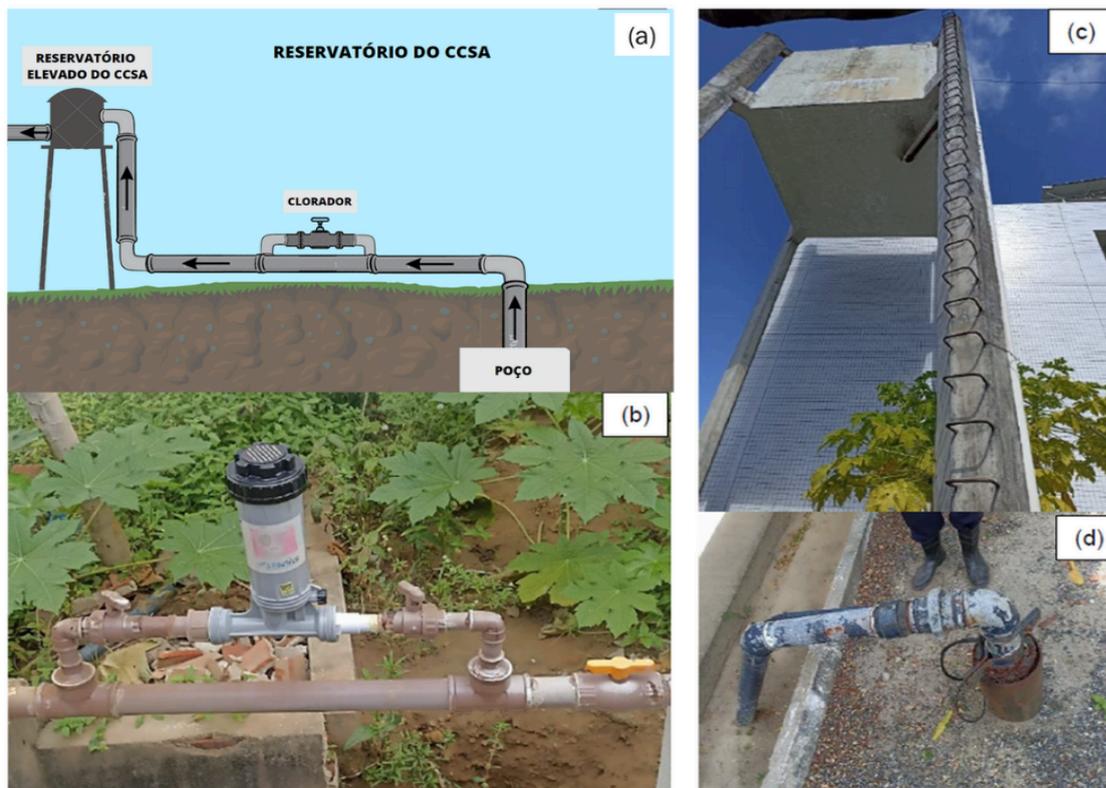


Fonte: Autor, 2023

5.1.3. Abastecimento do Reservatório do Centro de Ciências Sociais Aplicadas

O abastecimento do reservatório elevado do CCSA, situado neste mesmo centro é retratado na Figura 7, ocorre por captação direta da água subterrânea de apenas um poço, com a adição de agente desinfetante na própria linha de abastecimento, esta água é, em seguida, integrada à rede interligada de água da universidade.

Figura 7 - SAA do CCSA. (a) Esquema simplificado do sistema; (b) Clorador de pastilhas - instalados no decorrer deste trabalho; (c) Reservatório Elevado; (d) Poço.



Fonte: Autor, 2023.

Os cinco poços artesianos e os principais reservatórios que compõem o sistema de abastecimento de água do Campus I da UFPB estão listados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Relação dos poços do Campus I da UFPB.

Localização	Poço	Profundidade (m)	Vazão (m ³ /h)	Operação	Ponto de Coleta (1)	Cloração (2)
Central	1	54	6	Em operação	Sim	
	2 (3)	S.I. (4)	S.I. (4)	Baixa vazão	Sim	Sim
	3	111	20	Em operação	Não	
CCS	4	S.I. (4)	S.I. (4)	Em operação	Não	Sim
CCSA	5	S.I. (4)	S.I. (4)	Em operação	Sim	Sim

(1) Localizados na tubulação que abastece os respectivos reservatórios, antes dos cloradores.

(2) Data de início: Novembro/2022.

(3) Poço 2: Embora esteja em operação, a baixa vazão impede a coleta de amostras neste poço.

(4) Sem informação (S.I.).

Fonte: Autor, 2024.

A instalação dos pontos de coleta da água bruta foi uma das medidas de adequação propostas e implementadas a partir deste trabalho. Dos três poços que fornecem água para o Reservatório Central, o poço 2 apresenta uma vazão extremamente baixa, apesar da falta de informação, sua vazão é insuficiente para chegar no ponto de coleta o que torna sua contribuição para o sistema de abastecimento pouco significativa. Além disso, o poço 3 e o poço 4 não possuem um ponto de coleta, o que impede a avaliação da qualidade da água.

Tabela 5 - Relação dos principais reservatórios do Campus I da UFPB.

Localização	Reservatório	Tipo	Volume (m³)
Central	1	Semienterrado	1.000
	2	Elevado	S.I. (1)
CCS	1	Semienterrado	S.I. (1)
	2	Elevado	S.I. (1)
CCSA	1	Semienterrado (2)	S.I. (1)
	2	Elevado	S.I. (1)

(1) Sem informação (S.I.).

(2) Reservatório desativado.

Fonte: Autor, 2024.

Em relação à reservação de água no Campus I, o Reservatório Central, o Reservatório do CCS e o Reservatório do CCSA contam com um reservatório semienterrado e um elevado cada. No entanto, o reservatório semienterrado do CCSA não está em uso atualmente, e apenas o reservatório semienterrado Central tem informações disponíveis sobre sua capacidade de armazenamento.

5.2. Descrição do sistema de distribuição do Campus I

Embora a rede de água do Campus seja interligada, permitindo que os três principais reservatórios desempenhem um papel significativo no sistema de distribuição, com o estudo da planta e o auxílio da plataforma Web-SIG os principais centros e áreas abastecidas pelos três reservatórios elevados do sistema foram detalhados conforme os parágrafos a seguir.

Reservatório Elevado Central - Restaurante Universitário (RU); Biblioteca Central (BC); Reitoria; Superintendência de Tecnologia da Informação (STI); Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN); Centro de Biotecnologia (CBiotec); Instituto de Pesquisa em Fármacos e Medicamentos (IPeFarM); Central de Aulas (CA); Banco Santander;

Superintendência de Educação a Distância (SEAD); Almoxarifado, Prefeitura Universitária; Diretoria de Pesquisa Clínica; Centro de Ciências Médicas (CCM); Centro de Ciências da Saúde (CCS) - uma parte do CCS que compreende os blocos dos cursos de Biomedicina, Ciências Farmacêuticas, Enfermagem, Nutrição, Odontologia, Fisioterapia e Educação Física; Centro de Comunicação, Turismo e Artes (CCTA); Agência da Caixa Econômica Federal; Divisão de Patrimônio (DIPA); Almoxarifado Central; Sindicato dos Trabalhadores em Ensino Superior da Paraíba (SINTESP); Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes (CCHLA) - uma parte do CCHLA que compreende o bloco do Departamento de Mídias Digitais (DEMID); Editora UFPB; Televisão Universitária (TV UFPB); Centro de Desenvolvimento do Servidor Público (CEDESP); Superintendência de Segurança Institucional (SSI); e a Associação dos Inativos e Pensionistas da UFPB (ASIP - UFPB).

Reservatório Elevado do CCS - Centro de Ciências da Saúde (CCS) - A outra parte do CCS que compreende a pista de atletismo, o campo de futebol, as quadras de esportes, os ginásios e alguns blocos dos cursos de Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional); Centro de Referência em Atenção à Saúde (CRAS); Escola de Educação Básica (EEBAS); Escola Técnica de Saúde (ETS); Residência Universitária; e a Superintendência de logística e transporte (SULT).

Reservatório Elevado do CCSA - Centro de Tecnologia (CT); Centro de Ciências Jurídicas (CCJ); Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR); Centro de Ciências Sociais Aplicadas (CCSA); Centro de Educação (CE); e o Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes (CCHLA) - compreendendo toda a área com exceção do DEMID.

Para melhor compreensão da abrangência de distribuição desses reservatórios, as áreas listadas foram delimitadas por cores e ilustradas conforme a Figura 8.

Figura 8 - Mapa do Campus I da UFPB com delimitação das áreas abastecidas pelos reservatórios.



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024

A região em azul delimita o abastecimento do reservatório elevado do CCSA, o abastecimento do reservatório elevado central está destacado na cor roxa e a área em amarelo delimita o abastecimento do reservatório elevado do CCS.

Conforme o mapa apresentado na Figura 8, observa-se que o conjunto Reservatório Central cobre a maior área de abastecimento do Campus I da UFPB, sendo o reservatório semienterrado central o principal responsável pela reservação de água, com uma capacidade de 1.000 m³ e cuja água abastece o reservatório elevado central. Embora possuam menor capacidade, os reservatórios elevados do CCS e do CCSA complementam a rede de distribuição de água do Campus, garantindo o atendimento completo à demanda hídrica em todo o Campus.

5.3. Caracterização das águas fornecidas na UFPB

Conforme descrito anteriormente, dos cinco poços da UFPB, apenas os poços 1, 2 e 5 possuem pontos de coleta. No entanto, devido à baixa vazão do poço 2 que impossibilita a coleta, a avaliação da qualidade da água subterrânea foi realizada somente com base nas amostras dos poços 1 e 5. Para a análise da água tratada da CAGEPA, a amostra foi coletada diretamente da tubulação que abastece o reservatório semienterrado central (Figura 9).

Figura 9 - Pontos de coleta. (a) Poço 1; (b) Poço 5; (c) Água tratada da CAGEPA.



Fonte: Autor, 2024.

A avaliação da conformidade dos parâmetros de qualidade da água foi conduzida com base nos valores máximos permitidos (VMP) definidos pela Portaria n° 888/2021, uma vez que o uso destinado é para o consumo humano. Essa Portaria ainda prevê a análise da água bruta e estabelece que a água do SAA, desde a zona de captação até as ligações prediais, deve atender aos padrões de potabilidade. Adicionalmente, foram considerados critérios complementares estipulados pela Resolução CONAMA n° 357/2005, para salinidade e pela CONAMA n° 396/2008, para molibdênio, parâmetros que não constam na Portaria de potabilidade.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros básicos analisados nas amostras coletadas em dois poços da universidade, identificados como Bruta 1 (poço 1) e Bruta 5 (poço 5), além da água tratada pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Alguns parâmetros apresentaram resultados inferiores ao limite de quantificação do método analítico empregado, sendo esses representados como ‘<LQI’ (Limite de Quantificação Inferior).

Tabela 6 - Resultados dos parâmetros básicos para a água bruta e da CAGEPA.

Análise	Unidade	VMP (1)	Amostras		
			Bruta 1	Bruta 5	CAGEPA
Coliformes Totais	-	Ausência em 100 mL	Ausente	Ausente	Ausente
Cor Aparente	uH (2)	15	<LQI (4)	<LQI (4)	<LQI (4)
<i>Escherichia coli</i>	-	Ausência em 100 mL	Ausente	Ausente	Ausente
pH		6,0 - 9,0 (5)	7,45	7,46	6,45
Turbidez	uT (3)	5	<LQI (4)	<LQI (4)	<LQI (4)

(1) Valor Máximo Permitido (VMP) - Portaria n° 888/2021.

(2) Unidade de Hazen (mgPt-Co/L).

(3) Unidade de turbidez.

(4) Limite de Quantificação Inferior (LQI): Cor Aparente = 1,0 uH; Turbidez = 1,0 uT.

(5) Faixa recomendada pela Portaria n° 888/2021.

Fonte: Autor, 2024.

Em relação aos parâmetros básicos, todas as amostras da água bruta e da CAGEPA apresentaram conformidade com os Valores Máximos Permitidos (VMP) utilizados como referência. As amostras da água bruta são um pouco mais alcalinas do que a água da CAGEPA, mas os valores de pH obtidos estão dentro da faixa recomendada (6,0 a 9,0) para água potável. Para Feitosa *et al.* (2008), “a maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5”. Em relação aos parâmetros de cor aparente e turbidez, as amostras apresentaram valores abaixo do limite mínimo mensurável. No que diz respeito às análises microbiológicas, tanto a água bruta quanto a água da CAGEPA possuem boa qualidade, com ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Os resultados dos metais analisados nas amostras de água bruta (dos poços) e na amostra da água tratada fornecida pela CAGEPA estão detalhados na Tabela 7. Assim como ocorreu para os parâmetros básicos, alguns metais foram detectados em concentrações abaixo do Limite de Quantificação Inferior (LQI) de cada método.

Tabela 7 - Resultados dos metais para a água subterrânea e da CAGEPA.

Análise	Unidade	VMP (1)	Amostras		
			Bruta 1	Bruta 5	CAGEPA
Alumínio	mg/L	0,2	<LQI (3)	<LQI (3)	0,10
Cobre	mg/L	2	<LQI (3)	0,05	<LQI (3)
Cromo Total	mg/L	0,05	0,03	0,01	0,05
Ferro	mg/L	0,3	<LQI (3)	<LQI (3)	0,40
Manganês	mg/L	0,1	0,01	0,01	<LQI (3)
Molibdênio	mg/L	0,07 (2)	<LQI (3)	0,02	0,03
Zinco	mg/L	5	0,02	0,02	0,04

(1) Valor Máximo Permitido (VMP) - Portaria n° 888/2021.

(2) VMP para Molibdênio - Resolução CONAMA n° 396/2008.

(3) Limite de Quantificação Inferior (LQI): Alumínio = 0,1 mg/L; Cobre = 0,05 mg/L; Ferro = 0,075 mg/L; Manganês = 0,01 mg/L; Molibdênio = 0,02 mg/L.

Fonte: Autor, 2024.

Normalmente, os metais são encontrados na água apenas em traços, ou seja, em concentrações bem baixas, mas, ainda assim, são parâmetros importantes para definição da potabilidade da água (FEITOSA *et al.*, 2008). A presença de alumínio, ferro, manganês e zinco na água destinada ao consumo humano pode estar relacionada às atividades antrópicas como também aos padrões organolépticos, influenciando principalmente na cor e no sabor da água.

Todos os metais analisados nas amostras de água bruta estão em conformidade com os valores definidos pela Portaria n° 888/2021, não havendo a presença de ferro e manganês que são comumente encontrados em águas subterrâneas.

Apesar da ausência de turbidez e de coloração na água da CAGEPA, e da baixíssima concentração de manganês, geralmente associado ao ferro, o parâmetro ferro foi encontrado em concentração superior ao valor máximo permitido. Conforme ilustrado na Figura 9, a tubulação de onde foi coletada a amostra apresenta sinais de corrosão, o que pode justificar a contaminação por ferro nessa água. Outra possível causa está relacionada a falhas nas etapas de coagulação, floculação e decantação, caso o ferro tenha sido utilizado como agente coagulante e não tenha sido eficientemente removido, o que pode resultar na presença de ferro na água captada de mananciais superficiais.

A Tabela 8 detalha os resultados dos demais parâmetros analisados nas amostras de água bruta e na amostra da água tratada da CAGEPA. Alguns parâmetros também apresentaram resultados inferiores ao limite de quantificação do método empregado.

Tabela 8 - Resultados dos parâmetros inorgânicos e indicadores de qualidade para a água subterrânea e da CAGEPA.

Análise	Unidade	VMP (1)	Amostras		
			Bruta 1	Bruta 5	CAGEPA
Amônia (como N)	mg/L	1,2	0,11	0,19	<LQI (3)
Cloreto	mg/L	250	13,00	13,80	17,59
Condutividade	µS/cm	-	429	406	114
Dureza Total	mg/L	300	189,17	176,16	20,02
Fluoreto	mg/L	1,5	<LQI (3)	<LQI (3)	<LQI (3)
Fosfato	mg/L	-	0,06	<LQI (3)	0,08
Nitrato (como N)	mg/L	10	8,29	4,17	6,13
Nitrito (como N)	mg/L	1	0,04	0,01	0,01
Nitrogênio Total	mg/L	-	<LQI (3)	<LQI (3)	<LQI (3)
Potássio	mg/L	-	<LQI (3)	<LQI (3)	3,68
Salinidade	‰	0,5 (2)	0,42	0,40	0,06
Sólidos Dissolvidos Totais	ppm	500	288	272	78
Sulfato	mg/L	250	9,56	7,87	19,15
Sulfeto	mg/L	0,05	<LQI (3)	<LQI (3)	<LQI (3)

(1) Valor Máximo Permitido (VMP) - Portaria n° 888/2021.

(2) VMP para Salinidade - Resolução CONAMA n° 357/2005.

(3) Limite de Quantificação Inferior (LQI): Amônia = 0,07 mg/L; Fluoreto = 0,1 mg/L; Fosfato = 0,06 mg/L; Nitrogênio Total = 5 mg/L; Potássio = 2 mg/L; Sulfeto = 0,01 mg/L .

Fonte: Autor, 2024.

Em relação aos compostos inorgânicos e indicadores de qualidade, todas as amostras analisadas apresentaram resultados dentro dos limites estabelecidos para os parâmetros que

possuem valores máximos permitidos especificados pela Portaria nº 888/2021. Se comparada com a água da CAGEPA, a água subterrânea dos poços do Campus I possuem uma maior condutividade devido à uma maior dureza e concentração de sólidos dissolvidos totais, no entanto, ambos os parâmetros permanecem abaixo dos limites de potabilidade. Esse resultado é esperado pois a água subterrânea possui um maior tempo de interação com as rochas e os minerais do subsolo do que as águas superficiais (NASCIMENTO et al., 2024). A salinidade, apesar de não estar listada na Portaria nº 888/2021 entre os parâmetros de potabilidade, é um importante fator a ser considerado dado que, segundo o Art. 4º da Resolução CONAMA nº 357/2005, somente a água doce, cujo limite de salinidade é de 0,5 ‰, pode ser destinada para consumo humano.

Para os parâmetros que não possuem limites normativos definidos, os resultados obtidos estão de acordo com os valores encontrados na literatura para água subterrânea. Apesar de não possuírem limites estabelecidos, os parâmetros condutividade, fosfato, nitrogênio total e potássio são importantes fatores a serem analisados na água.

Em seu trabalho, Oliveira *et al.* (2015) encontraram uma concentração média de 0,09 mg/L de fosfato e uma concentração máxima de 1,66 mg/L de potássio em águas subterrâneas do Aquífero Parecis que abastece o município de Vilhena - RO. Feitosa *et al.* (2008) comenta que, para o fosfato, valores maiores que 1,0 mg/L podem ser indicativos de poluição na água de origem agrícola, doméstica ou industrial. Já para o potássio, o autor afirma que em águas subterrâneas geralmente são encontrados valores inferiores a 10 mg/L sendo mais frequente uma faixa entre 1 a 5 mg/L.

Uma vez que o nitrogênio total na água resulta da soma de suas várias formas (amônia, nitrito, nitrato e outras) cada uma delas pode indicar o estágio de poluição da água. A amônia tende a apontar para uma poluição recente, enquanto o nitrato sugere poluição de longo prazo. Normalmente, a amônia é encontrada em baixos teores em águas subterrâneas. O nitrito é um estado intermediário de oxidação entre a amônia e o nitrato. O nitrato pode ser encontrado em baixos teores em águas superficiais mas pode ser encontrado em elevados teores em águas subterrâneas (BEZERRA *et al.*, 2017). Apesar da concentração relativamente alta (ainda abaixo do VMP) de nitrato nas amostras, não há indicação de contaminação microbiológica conforme os resultados apresentados na Tabela 6.

Em relação aos parâmetros básicos, a água bruta dos poços da universidade apresenta qualidade semelhante à água tratada pela CAGEPA. Com exceção do ferro presente na água da Companhia, ambas as águas estão de acordo com os padrões estabelecidos pela Portaria nº

888/2021 para os metais analisados. Quanto aos demais parâmetros, incluindo os inorgânicos e os indicadores de qualidade da água, ambas as amostras atenderam aos limites estabelecidos pela Portaria de água potável, sendo então adequada para o consumo humano.

Com base na classificação estabelecida pela Resolução CONAMA n° 396/2008 em seu Art. 3°, é possível afirmar que os poços que abastecem o Campus apresentam características da água de Classe I, pois, conforme os resultados das análises, essa água não sofreu alteração de sua qualidade devido atividades antrópicas e não requer tratamento para o uso preponderante (consumo humano), com todos os parâmetros analisados apresentando valores abaixo do VMP para consumo humano, como definido no Anexo I da referida resolução.

5.4. Medidas de adequação propostas para o Sistema de Abastecimento de Água do Campus I da UFPB

Durante as visitas em campo, a análise da planta da rede de distribuição de água fornecida pela SINFRA e o estudo pormenorizado da Portaria n° 888/2021, foram identificadas necessidades de medidas de adequação (ou de melhorias) para o sistema de abastecimento de água do Campus I da UFPB. Essas medidas foram propostas para a SINFRA, a fim de melhorar a qualidade da água nos pontos de consumo e a para manter esta qualidade dentro dos padrões de potabilidade evitando a recontaminação da água na rede de distribuição ou nos reservatórios do sistema.

As medidas propostas, e a indicação da sua implementação ou não, estão listadas na Tabela 9:

Tabela 9 - Lista das medidas propostas para o SAA do Campus I da UFPB.

Medida de adequação/melhoria do SAA	Implementação
1. Criação de um setor responsável pela gestão do SAA da UFPB, cuja função é a administração de toda atividade relacionada ao SAA do Campus.	Não
2. Atualização da rede de distribuição de água contendo: todo o percurso da água desde a captação até o abastecimento na rede interligada; a profundidade e a vazão de todos os poços; o levantamento de todos os reservatórios localizados nos centros do Campus I incluindo a localização no terreno, a capacidade e o tipo de material do reservatório; o diâmetro das tubulações dos poços e dos principais reservatórios; e os principais centros e áreas abastecidas pelos reservatórios.	Não

3. Definição e criação de perímetros de proteção para os poços de captação, com o cercamento do perímetro, a fim de evitar atividades humanas, animais, ou contaminação por infiltração de elementos depositados no entorno do poço (dejetos, urina, fertilizantes, ou até ação acidental ou criminosa).	Não
4. Criação de casa de proteção dos poços a fim de evitar furtos ou danificação do sistema de captação, contaminação criminosa ou acidental e impacto físico (animais, veículos, etc).	Não
5. Instalação de pontos de coleta da água bruta em todos os poços para avaliação da qualidade da água bruta em cumprimento ao Art. 27 e ao § 5º do Art. 31.	Parcialmente implementada (apenas poço 1 e 5)
6. Manutenção periódica dos poços de acordo com a Norma Brasileira 12244 de 2006, incluindo limpeza e desinfecção periódica.	Parcialmente implementada, sem POP e sem periodicidade definida e implementada
7. Manutenção periódica dos reservatórios de armazenamento de água, incluindo limpeza e desinfecção periódica, no mínimo a cada seis meses, conforme estabelece a Portaria CVS 5, de 09 de abril de 2013, bem como a verificação da situação estrutural dos reservatórios (impermeabilização dos reservatórios, por exemplo).	Parcialmente, sem POP e sem periodicidade definida e implementada
8. Criação de planilhas para o controle das inspeções, limpezas e desinfecção dos poços e reservatórios.	Não
9. Isolamento e proteção de todos os reservatórios do Campus, principalmente aqueles que atualmente são de fácil acesso, a fim de evitar contaminação criminosa ou acidental. (1)	Parcialmente implementada (Figura 10)
10. Introdução de pastilhas de ácido tricloro isocianúrico 100% (90% de cloro ativo) para manutenção de residual de desinfetante conforme Art. 24, Art. 31, Art. 32 e Art. 34 da Portaria GM/MS nº 888/2021.	Sim (2)
11. Manutenção e eventuais trocas do sistema simplificado de cloração (cloradores, tubulações, registros de passagem, etc.)	Parcialmente implementada
12. Isolamento e proteção do sistema simplificado de cloração (cloradores).	Não
13. Criação de planilha para controle de reposição de pastilhas nos cloradores.	Sim (3)

14. Elaboração de plano de amostragem conforme Art. 44 da Portaria GM/MS nº 888/2021.	Sim (4)
15. Implementação de um programa de monitoramento da qualidade da água seguindo o plano de amostragem proposto conforme estabelecido no Art. 14 da Portaria GM/MS nº 888/2021, com as periodicidades e parâmetros analisados indicados por essa Portaria.	Sim (5)
16. Monitoramento da água em pontos de consumo como o Centro de Ciências Jurídicas (CCJ), Residência Universitária (RUMF), e outros locais a serem incluídos conforme atualização da rede de distribuição.	Parcialmente implementada
17. Indicação de fornecimento de água mineral na Residência Universitária (RUMF).	Sim (6)

- (1) Medida de adequação proposta devido às ocorrências observadas durante o desenvolvimento deste trabalho, relacionadas a contaminações intencionais da água nesses reservatórios.
- (2) Acompanhamento do residual de desinfetante, especificação das pastilhas de cloro e controle do consumo de pastilhas realizado neste trabalho.
- (3) Controle realizado pela equipe do LACQUA.
- (4) Plano de amostragem elaborado neste trabalho.
- (5) Programa de monitoramento da qualidade da água implementado a partir deste trabalho.
- (6) Indicação feita após reclamações sobre a qualidade da água na RUMF.

Fonte: Autor, 2024.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram observados eventos em reservatórios setorizados que são abastecidos pelo SAA do Campus I que indicaram a necessidade urgente de implementar medidas de adequação, como a instalação de grades e o trancamento com correntes e cadeados de reservatórios de menor capacidade (caixas d'água de plástico). Esses eventos incluíram a presença de um corpo estranho, semelhante a um preservativo, no reservatório da RUMF e de comprimidos (de tipo desconhecido) nos reservatórios do CCJ, conforme ilustra a Figura 10.

Figura 10 - Isolamento dos reservatórios e as ocorrências observadas. (a) RUMF; (b) CCJ.



Fonte: Autor, 2024.

5.5. Monitoramento das medidas de adequação propostas

Como discutido neste trabalho, a descrição do sistema de distribuição de água do Campus I está incompleta e desatualizada, sendo necessária a identificação de todos os reservatórios de menor capacidade - em relação aos reservatórios principais - localizados nos diversos centros e áreas do Campus. Com a identificação desses reservatórios, é possível atualizar a planta da rede de distribuição e reservação de água do Campus I e implementar um controle da periodicidade de manutenção e limpeza dos reservatórios.

A qualidade da água fornecida depende não apenas da qualidade da água captada, como também da água armazenada. Segundo Oliveira e Barreto (2019), uma das principais causas de contaminação da água para consumo humano é a falta de manutenção adequada nos reservatórios, com uma recomendação técnica de limpeza a cada seis meses.

5.5.1. Manutenções realizadas no SAA do Campus I da UFPB

As manutenções realizadas no período compreendido entre novembro de 2022 e junho de 2024 estão listadas na Tabela 10, enfatizando os três principais reservatórios que compõem o SAA do Campus, e destacando a natureza dos serviços executados e suas respectivas datas.

Tabela 10 - Lista das manutenções realizadas no SAA do Campus I da UFPB.

Tipo de Manutenção	Data
Reativação e instalação de novos cloradores	Novembro/2022
Limpeza e desinfecção do reservatório semienterrado central	Janeiro/2023
Limpeza e desinfecção dos poços 1 e 3	Janeiro/2023
Manutenção preventiva dos poços	Fevereiro/2023
Instalação de novos cloradores	Março/2023
Aquisição e utilização de pastilhas de ácido tricloro isocianúrico 100% (Teor de cloro ativo - 90%) em substituição as pastilhas de cloro estocadas há anos no almoxarifado da UFPB	Abril/2023
Terceirização do serviço de abastecimento dos cloradores	Maio/2023
Instalação de ponto de coleta da água dos poços que abastecem o reservatório central	Maio/2023
Instalação de ponto de coleta da água do poço que abastece o reservatório do CCSA	Junho/2023
	Junho/2023
Limpeza de reservatórios de menor capacidade em outros centros do Campus I	Setembro/2023
	Novembro/2023
Alteração de um registro de passagem do reservatório central	Dezembro/2023
Isolamento da malha de abastecimento do CCSA	Janeiro/2024
Instalação de reservatórios de menor capacidade em outros centros do Campus I	Maio/2024
Manutenção nas tubulações do reservatório central e instalação de hidrômetros nos poços que abastecem o reservatório central	Maio/2024
	Junho/2024
Substituição de cloradores com defeito	Quando necessário

Fonte: Autor, 2024

A Portaria nº 888/2021 não aborda diretamente a necessidade e a periodicidade das manutenções que devem ser realizadas em todo o sistema de abastecimento de água para consumo humano. No entanto, em seu Art. 3º, a Portaria estabelece que toda água destinada ao consumo humano deve ter sua qualidade rigorosamente controlada, o que implica a necessidade de práticas adequadas de manutenção preventiva do sistema e de monitoramento para garantir a potabilidade e segurança da água distribuída.

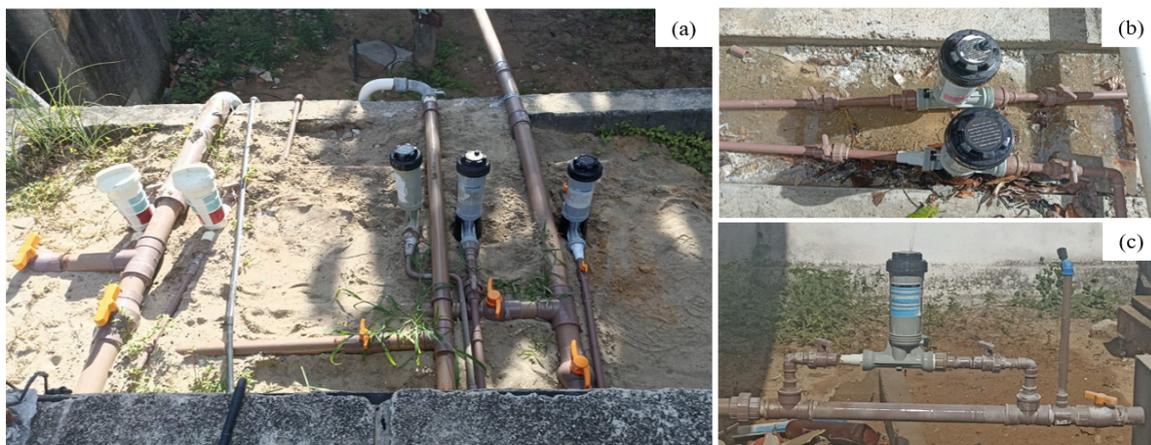
Conforme listado na Tabela 10, apesar das diversas manutenções realizadas no sistema de abastecimento de água do Campus I da UFPB, a limpeza e desinfecção dos principais reservatórios não ocorreu com a periodicidade mínima de seis meses, conforme recomendado pela Portaria CVS 5/2013 do Centro de Vigilância Sanitária do Estado de São Paulo. Além disso, a manutenção periódica dos poços, conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 12244/2006, também não foi devidamente seguida.

5.5.2. Controle da manutenção de residual mínimo de cloro

De acordo com a Portaria nº 888/2021, é obrigatória a manutenção de um residual mínimo de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição. Conforme o Art. 31 desta Portaria, na ausência de *Escherichia coli*, basta a introdução de um agente desinfetante, sem a necessidade do processo de desinfecção em si, e para isso, compostos isocianuratos clorados, como o ácido tricloro isocianúrico, podem ser utilizados como preconiza o Art. 34 da referida Portaria. Considerando a qualidade da água bruta captada na UFPB, esse processo foi implementado no sistema de abastecimento de água do Campus I, por meio da utilização de pastilhas de cloro de baixa dissolução do tipo ácido tricloroisocianúrico 100% (90% de teor de cloro ativo). As pastilhas foram aplicadas utilizando-se dosador de cloro em pastilhas de fácil uso, manuseio e baixa manutenção.

Conforme mencionado anteriormente, os três principais conjuntos de reservatórios do Campus I da UFPB recebem adição de agente desinfetante. Alguns desses reservatórios já possuíam cloradores instalados no sistema de abastecimento (Figura 11), porém estavam desativados. No entanto, devido à grande capacidade dos reservatórios e aos resultados das análises de cloro residual livre nas amostras de água, foi proposta a instalação de novos cloradores para garantir o cumprimento dos residuais mínimos exigidos pelo Art. 32 da Portaria nº 888/2021.

Figura 11 - Cloradores instalados no Campus I da UFPB. (a) RC; (b) CCS e (c) CCSA.

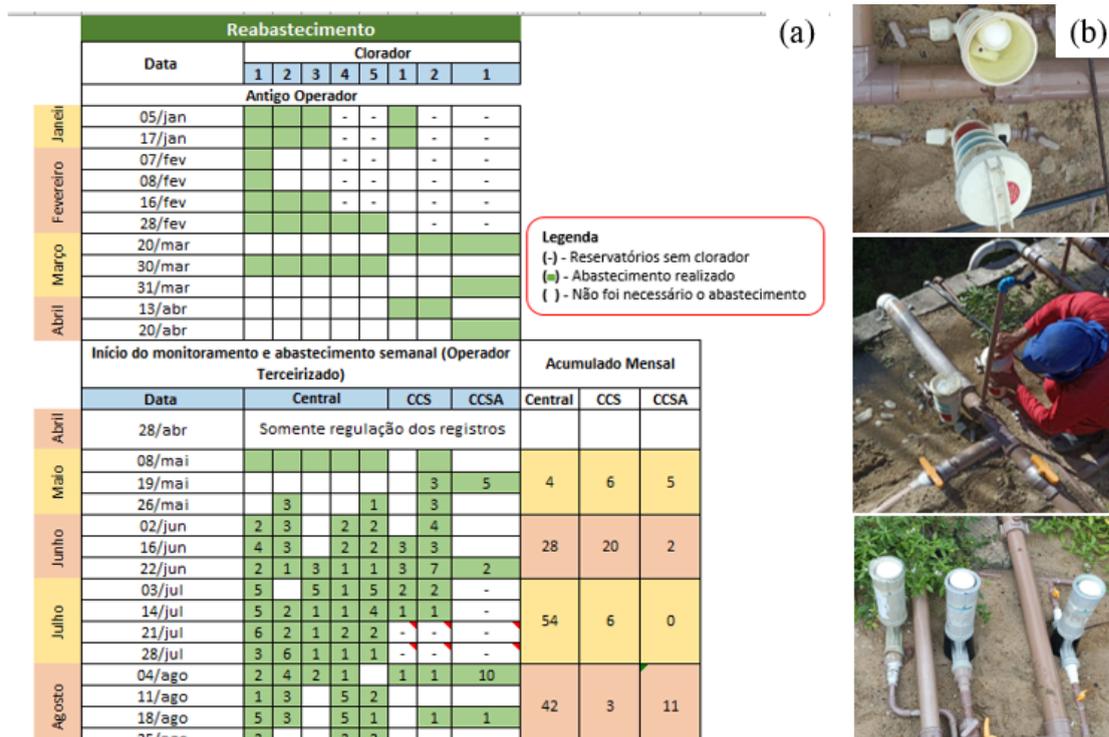


Fonte: Autor, 2023.

Os cloradores instalados (Figura 11) foram adquiridos comercialmente de marcas como Nautilus e Sodramar que fornecem dosadores de cloro para piscinas facilmente adaptáveis para sistemas de abastecimentos como o da universidade. Unido ao clorador, um conjunto de acessórios compõem o sistema simplificado de cloração como tubulações, registros, curvas, e outros materiais, geralmente de policloreto de vinila (PVC), que forçam a passagem de água pelo depósito contendo as pastilhas de cloro. Otenio (2014) explica, que a água inicialmente sem tratamento, entra em contato com o cloro, é tratada e posteriormente armazenada em reservatórios com certa concentração de cloro residual livre.

A quantidade de pastilhas inseridas nos cloradores depende de diversos fatores, como o tamanho do depósito de pastilhas, a vazão, o consumo e a destinação da água. Os cloradores instalados no Campus I têm capacidade para 9 ou 10 pastilhas. Semanalmente, uma empresa terceirizada faz a reposição das pastilhas de cloro até o limite de sua capacidade. Durante o desenvolvimento deste estudo, foram feitos registros fotográficos e um controle de alimentação dos cloradores pelo uso de planilhas conforme ilustra a Figura 12.

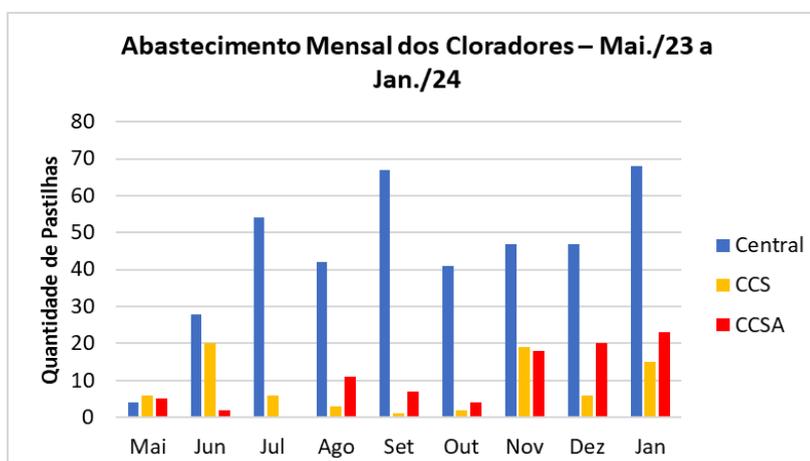
Figura 12 - Alimentação dos cloradores. (a) Planilha de controle; (b) Registros fotográficos.



Fonte: Autor, 2023

Como destacado na Tabela 10, a utilização das pastilhas do tipo ácido tricloro isocianúrico começou a ser feita a partir de Abril de 2023 e somente em Maio de 2023 o controle semanal de reposição foi ajustado. A planilha de controle de abastecimento dos cloradores registrou as datas de abastecimento, localização e quantidade de pastilhas abastecidas em cada clorador. Além disso, foi calculado o quantitativo mensal abastecido em cada área em que os cloradores estavam instalados facilitando a análise de consumo de cloro em cada reservatório, assim como ilustrado pela Figura 13.

Figura 13 - Quantitativo mensal de abastecimento dos cloradores



Fonte: Autor, 2024

5.5.3. Proposta de plano de amostragem

Considerando as disposições do Art. 44 da Portaria nº 888/2021, conforme recomendações da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, do Ministério da Saúde, e a importância de um plano de amostragem no monitoramento da qualidade da água, foi proposto um Plano de Amostragem simples, porém eficiente, que abrange os principais reservatórios responsáveis pelo abastecimento e distribuição de água no Campus I da UFPB. Foram definidos os pontos de monitoramento, o número de amostras, a frequência de amostragem e os parâmetros a serem analisados, levando em conta fatores como o tipo de manancial que abastece a universidade, o tamanho e a configuração do sistema, além das orientações preconizadas na Portaria nº 888/2021.

O Plano de Amostragem proposto para o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do Campus I da Universidade Federal da Paraíba está expresso na Tabela 11. Os artigos contemplados na elaboração do plano estão contidos no Anexo C.

Tabela 11 - Plano de Amostragem proposto para o SAA do Campus I da UFPB.

Local de Coleta (1)	Nº de amostras	Água tratada (CAGEPA + poços pós desinfecção)				Água bruta (poços)	
		Diário	Semanal	Mensal	Semestral	Mensal	Semestral
RC	1 - Água tratada 3 - Água bruta (2)	Residual de desinfetante e pH (Anexo 13)	Turbidez, Cor Aparente, Coliformes Totais e <i>E. coli</i> (Anexos 13 e 14)	Epicloridrina (PVC) (Anexo 13)	Gosto e Odor, Cloreto de Vinila, demais parâmetros (Anexos 9, 11 e 13)	<i>E. coli</i> (em ponto anterior ao local de desinfecção) (Art. 31 §5)	Turbidez, Cor Verdadeira, pH, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal Total, Condutividade Elétrica e demais parâmetros inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos (Art. 42 §2; Anexos 9, 11 e 13)
CCS	1 - Água tratada 1 - Água bruta						
CCSA	1 - Água tratada 1 - Água bruta						

(1) Reservatório Central (RC); Reservatório do CCS (CCS); Reservatório do CCSA (CCSA).

(2) Uma amostra para a água de cada poço.

Fonte: Autor, 2023.

De acordo com o Anexo 13 da Portaria nº 888/2021, o residual de desinfetante deve ser analisado semanalmente para controle da qualidade da água de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), quando a captação é feita por manancial subterrâneo, como é o caso do sistema do Campus I, no entanto, devido a utilização de cloradores em pastilhas para manutenção de residuais mínimos nos reservatórios da universidade, foi verificada a necessidade de se realizar esta análise com uma periodicidade diária, uma vez que a avaliação da concentração de cloro na água é um dos fatores considerados no momento de abastecimento dos cloradores.

5.5.4. Monitoramento da qualidade da água conforme plano de amostragem

Seguindo o que foi estabelecido no Plano de Amostragem proposto para o SAA do Campus I da UFPB, foram realizadas coletas diárias da água tratada nos três locais definidos no plano: Reservatório Central (RC), Reservatório do CCS e Reservatório do CCSA. Esses pontos de coletas estão ilustrados na Figura 14 e foram escolhidos conforme a proximidade com os respectivos reservatórios. As análises da água bruta em relação aos parâmetros que devem ser analisados mensal e semestralmente não foram tratadas neste tópico uma vez que a água subterrânea que abastece os reservatórios do Campus já foi caracterizada em um tópico anterior.

Figura 14 - Ponto de coletas da água tratada. (a) Dentro da casa de bombas do RC; (b) Na entrada da casa de bombas do Reservatório do CCS; (c) Próximo a entrada do Reservatório do CCSA.



Fonte: Autor, 2023.

Os parâmetros analisados seguiram as diretrizes estabelecidas no Plano de Amostragem, incluindo a análise de cloro residual livre ou total como residual de

desinfetante, uma vez que o cloro é o agente desinfetante adicionado à água de consumo da universidade. Embora a Portaria nº 888/2021 exija a análise de todos os parâmetros previstos, alguns não foram avaliados devido à indisponibilidade de reagentes e/ou equipamentos, como as análises de epícloridrina e cloreto de vinila, que podem ser realizadas por cromatografia ou espectrofotometria de infravermelho. Ressalta-se que em abril e no início de maio, as análises microbiológicas também não foram realizadas devido à falta de reagentes. Foram avaliados também o abastecimento das pastilhas de cloro e sua influência na manutenção do teor de cloro na água.

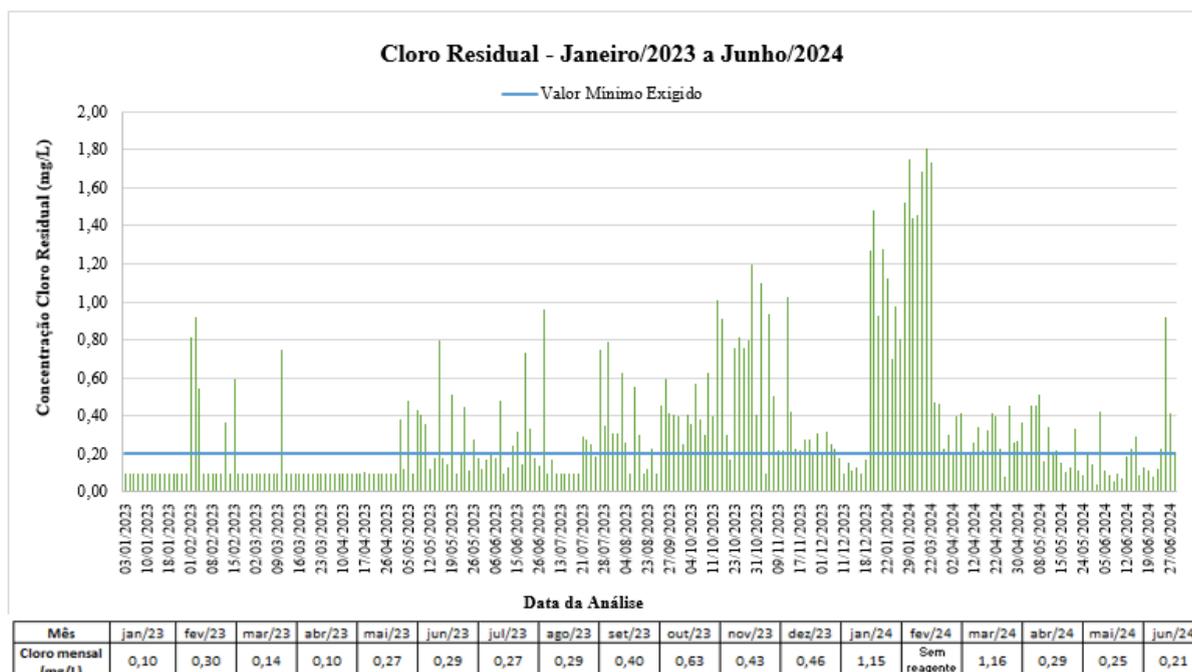
A qualidade da água dos três reservatórios foi monitorada no período de janeiro de 2023 a junho de 2024. As coletas diárias foram realizadas para a análise do teor de cloro residual e do pH, esse monitoramento diário do cloro residual está relacionado com o controle da adição do agente desinfetante. Semanalmente, essas análises foram complementadas com a verificação dos parâmetros de turbidez, cor aparente, coliformes totais e *Escherichia coli*, conforme previsto no Plano de Amostragem proposto para o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do Campus I da UFPB.

Os resultados de cada parâmetro analisado estão apresentados em forma de gráficos. No eixo x, estão exibidas as datas das análises, enquanto no eixo y, estão representados os valores de cada parâmetro com suas respectivas unidades. As linhas em vermelho em cada gráfico indicam os Valores Máximos Permitidos (VMPs) pela Portaria nº 888/2021 e as linhas em azul indicam os Valores Mínimos Exigidos.

- **Avaliação da qualidade da água do Reservatório Central (RC)**

Os dados de monitoramento da concentração de cloro residual presente na água do reservatório central estão apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Gráfico do teor de cloro residual - RC



Fonte: Autor, 2024

Entre os meses de janeiro e abril de 2023, o teor de cloro residual ficou abaixo dos 0,2 mg/L exigidos pela Portaria nº 888/2021 em seu Art. 32. A partir de maio de 2023, após a aquisição de pastilhas de ácido tricloroisocianúrico e o aumento da periodicidade de reposição dessas pastilhas nos cloradores, em função da terceirização do serviço e acompanhamento pela equipe do LACQUA, houve uma melhoria significativa no teor de cloro residual, atendendo às exigências dos residuais mínimos para a grande maioria das amostras analisadas.

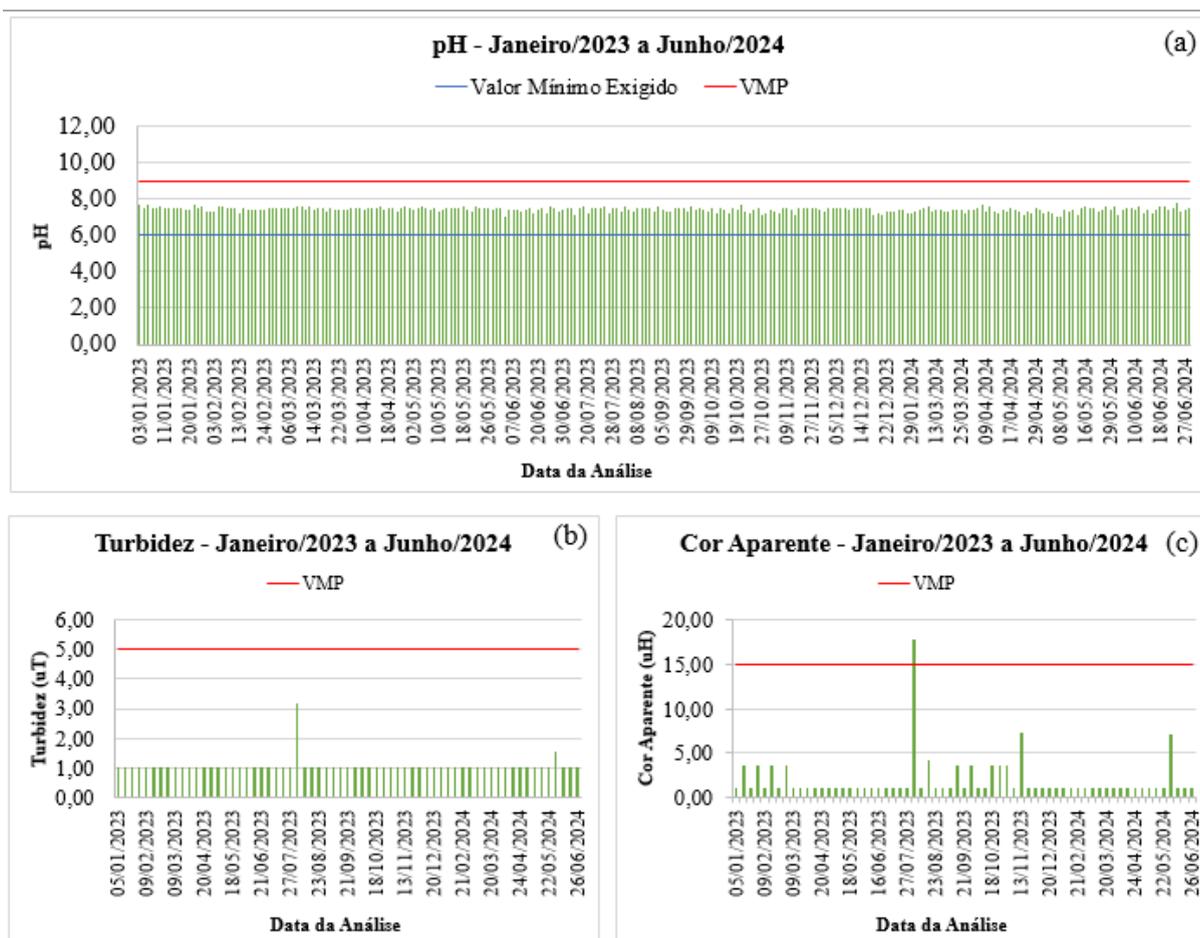
Frequentemente, a demanda de água na universidade excede a capacidade de fornecimento dos poços, tornando necessário o uso combinado da água fornecida pela CAGEPA. A inclusão dessa água tratada como complemento ao sistema de abastecimento do Campus contribui para o aumento da concentração de cloro, devido ao teor variado de cloro presente na água proveniente da estação de tratamento da Companhia. Esse fator é difícil de controlar, considerando o elevado consumo de água no Campus. Esse efeito foi especialmente perceptível nos meses de julho e outubro de 2023, e em janeiro e março de 2024, quando foram registradas maiores concentrações de cloro residual.

Eventos no sistema de abastecimento, como manutenções e limpezas dos reservatórios, podem influenciar também no teor de cloro residual, gerando picos ou quedas. Um exemplo disso foi o pico apresentado no início de fevereiro de 2023, resultante da limpeza do reservatório central no final de janeiro do mesmo ano, conforme a Tabela 10. Da

mesma forma, as manutenções nas tubulações do reservatório central podem ter causado a diminuição do teor de cloro residual nos meses de maio e junho de 2024.

Os resultados de qualidade da água quanto aos parâmetros pH, turbidez e cor aparente estão ilustrados na Figura 16.

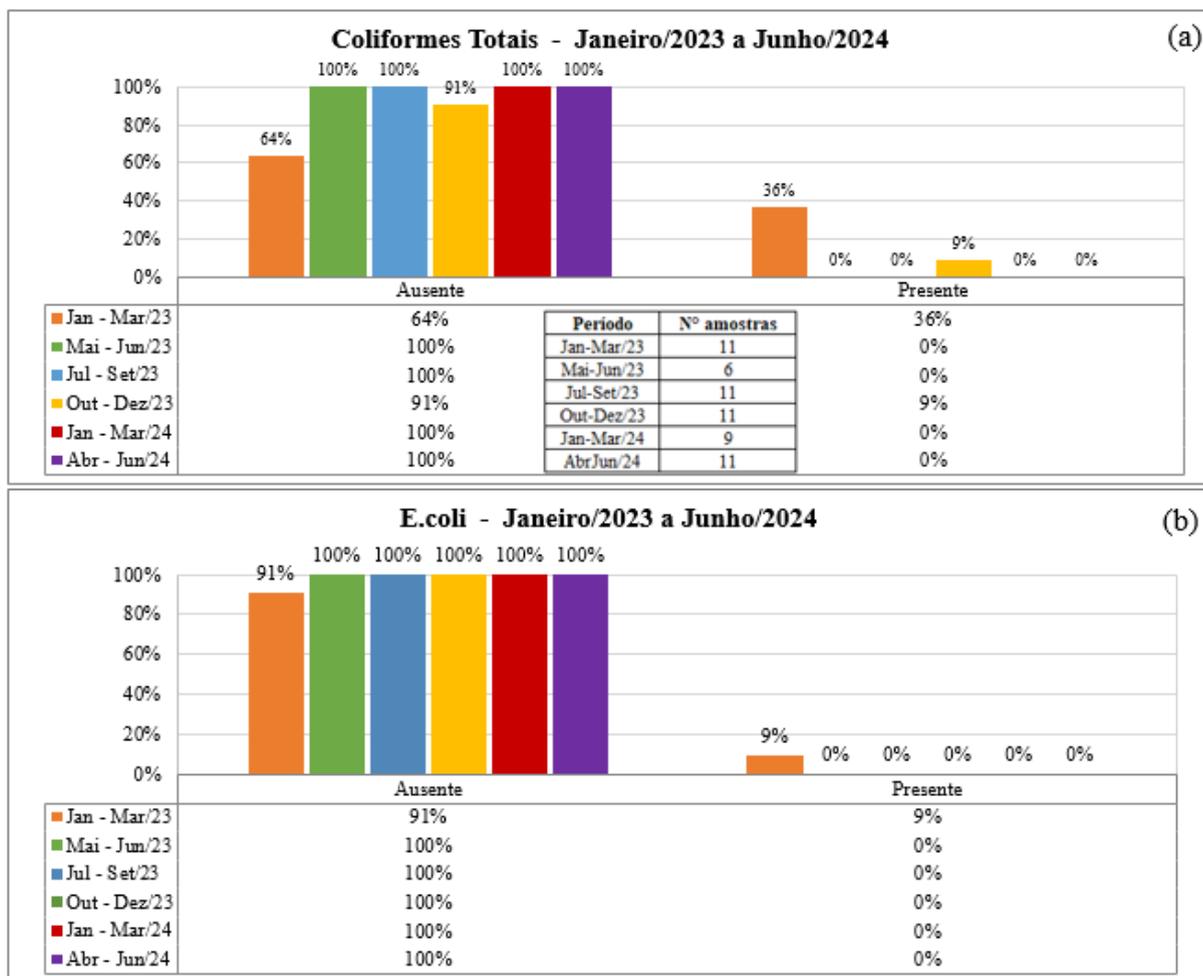
Figura 16 - Gráficos de monitoramento - RC. (a) pH; (b) Turbidez; (c) Cor Aparente.



Fonte: Autor, 2024.

Os valores de pH mantiveram-se dentro da faixa recomendada de 6,0 a 9,0, conforme estabelecido pela Portaria de potabilidade da água. Da mesma forma, a turbidez manteve-se abaixo de 5,00 uT, respeitando as exigências da Portaria nº 888/2021. Embora tenham sido observadas oscilações na cor aparente, apenas uma amostra apresentou resultado acima do Valor Máximo Permitido (VMP) durante o período de monitoramento. Não foi identificada nenhuma alteração no reservatório que pudesse explicar esse aumento, contudo, um simples distúrbio no fundo do reservatório, causado, por exemplo, por uma redução no nível de água, pode provocar aumentos repentinos de cor e turbidez.

O monitoramento dos parâmetros microbiológicos analisados na água do reservatório central estão apresentados na Figura 17.

Figura 17 - Gráficos de monitoramento - RC. (a) Coliformes Totais; (b) *E. coli*.

Fonte: Autor, 2024

Entre janeiro a março de 2023, foi detectada contaminação microbiológica por coliformes totais em 36% das amostras de água do reservatório central, sendo 9% de origem fecal. Essa contaminação pode estar relacionada ao desgaste das paredes do reservatório e às possíveis infiltrações ocorridas após sua limpeza no final de janeiro, destacando a necessidade de impermeabilização do reservatório, ainda não realizada. É provável que essa contaminação tenha persistido em abril, porém a falta de reagentes impossibilitou sua confirmação.

A partir de maio de 2023, com a introdução de novas pastilhas de cloro e o aumento da frequência de reposição nos cloradores, foi registrada a ausência de coliformes totais em 100% das amostras analisadas de modo a atender o padrão microbiológico. Este comportamento se manteve ao longo dos meses seguintes, exceto entre outubro a dezembro de 2023, período em que foi detectada contaminação por coliformes totais em apenas uma amostra (resultando em 9%). Ressalta-se que essa contaminação não foi de origem fecal, uma vez que não houve detecção de *Escherichia coli* durante esse período. Essa contaminação

pode ser associada à abertura de um registro de passagem do reservatório central, que até então permanecia fechado, conforme indicado na Tabela 10. Após a abertura, a água coletada apresentou leve aumento na cor (não quantificado nas análises) e presença de partículas em suspensão (provavelmente lodo proveniente da tubulação), como ilustrado na Figura 18. Além disso, a redução no teor de cloro nos meses de novembro e dezembro de 2023, conforme observado na Figura 15, pode ter contribuído para essa contaminação.

Figura 18 - Partículas em suspensão na amostra coletada.



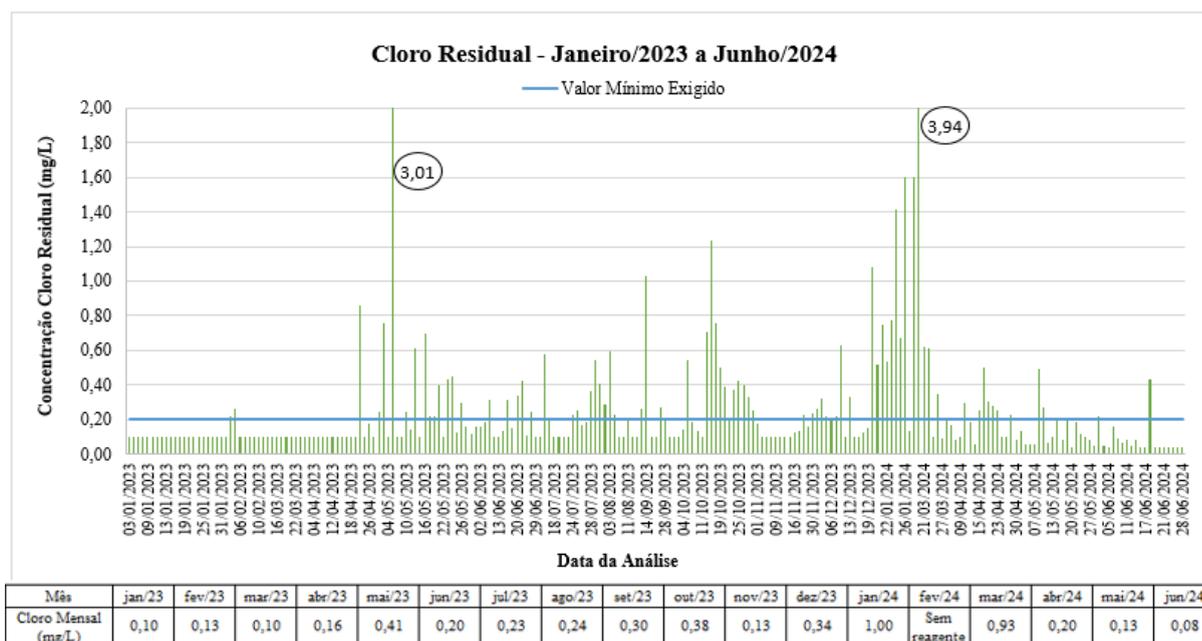
Fonte: Autor, 2023.

Apesar das contaminações registradas entre janeiro e março e entre outubro e dezembro de 2023, a água na saída do reservatório central está adequada para o consumo humano permanecendo em conformidade com o Art. 27 da Portaria nº 888/2021, que estabelece que “a água potável deve atender ao padrão microbiológico definido nas disposições da própria normativa” (BRASIL, 2021). De acordo com o Anexo I desta Portaria, na saída do tratamento, a água deve apresentar ausência de coliformes totais e da bactéria *Escherichia coli*. Além disso, o padrão microbiológico é complementado pelo controle da turbidez, conforme especificado no Anexo II, que exige para águas subterrâneas (pós-desinfecção) um máximo de 1,0 uT em 95% das amostras analisadas.

- **Avaliação da qualidade da água do Reservatório do CCS**

Os resultados de monitoramento do teor de cloro residual analisado na água do reservatório do CCS estão presentes na Figura 19.

Figura 19 - Gráfico do teor de cloro residual - CCS.



Fonte: Autor, 2024

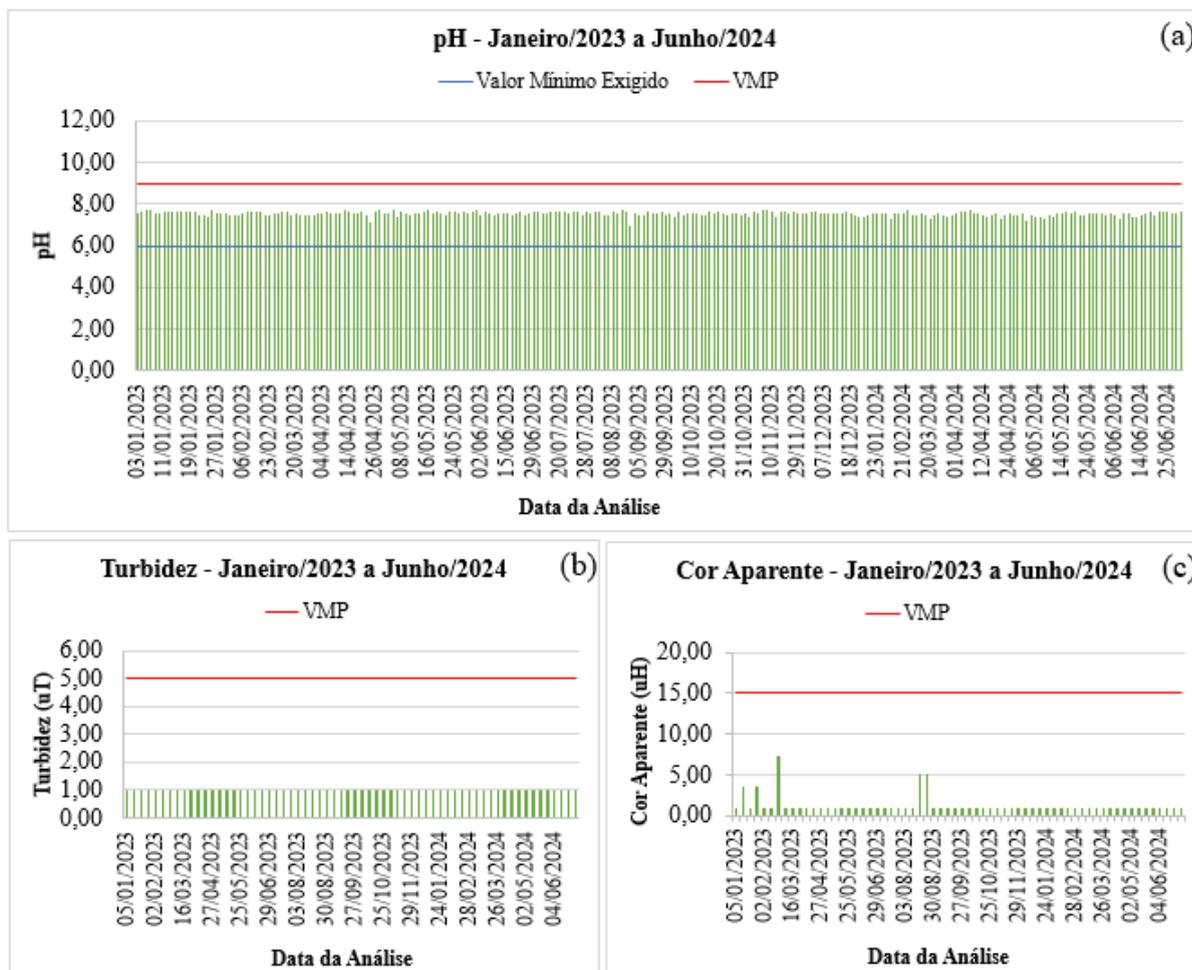
Os resultados do cloro residual no reservatório do CCS apresentaram tendências semelhantes às observadas no reservatório central, o que é consistente, uma vez que a distribuição de água no Campus ocorre por uma rede interligada. Como o reservatório central possui maior capacidade, ele exerce uma influência mais significativa em todos os pontos de coleta ao longo da rede.

No período de janeiro a março de 2023, a concentração de cloro residual permaneceu abaixo do valor mínimo exigido. A partir de maio, nos dias subsequentes à cloração, foi observado um aumento significativo nos teores de cloro na água do reservatório do CCS, seguido por uma diminuição que se aproximou do valor mínimo exigido. Os elevados picos como os observados em maio de 2023 e março de 2024, indicaram uma certa desregulação no sistema de cloração no reservatório do CCS, ultrapassando os 3,00 mg/L.

O abastecimento e o ajuste dos cloradores do CCS são mais complicados, pois os registros que regulam a dosagem estão inoperantes, e a pressão dentro dos cloradores é relativamente maior do que a observada nos cloradores do reservatório central, resultando em picos inesperados no teor de cloro. Embora não haja uma explicação clara para essa pressão elevada, são necessárias melhorias nesse sistema para identificar as causas desses eventos e corrigir as inconformidades observadas.

Os dados de monitoramento dos parâmetros pH, turbidez e cor aparente estão apresentados na Figura 20.

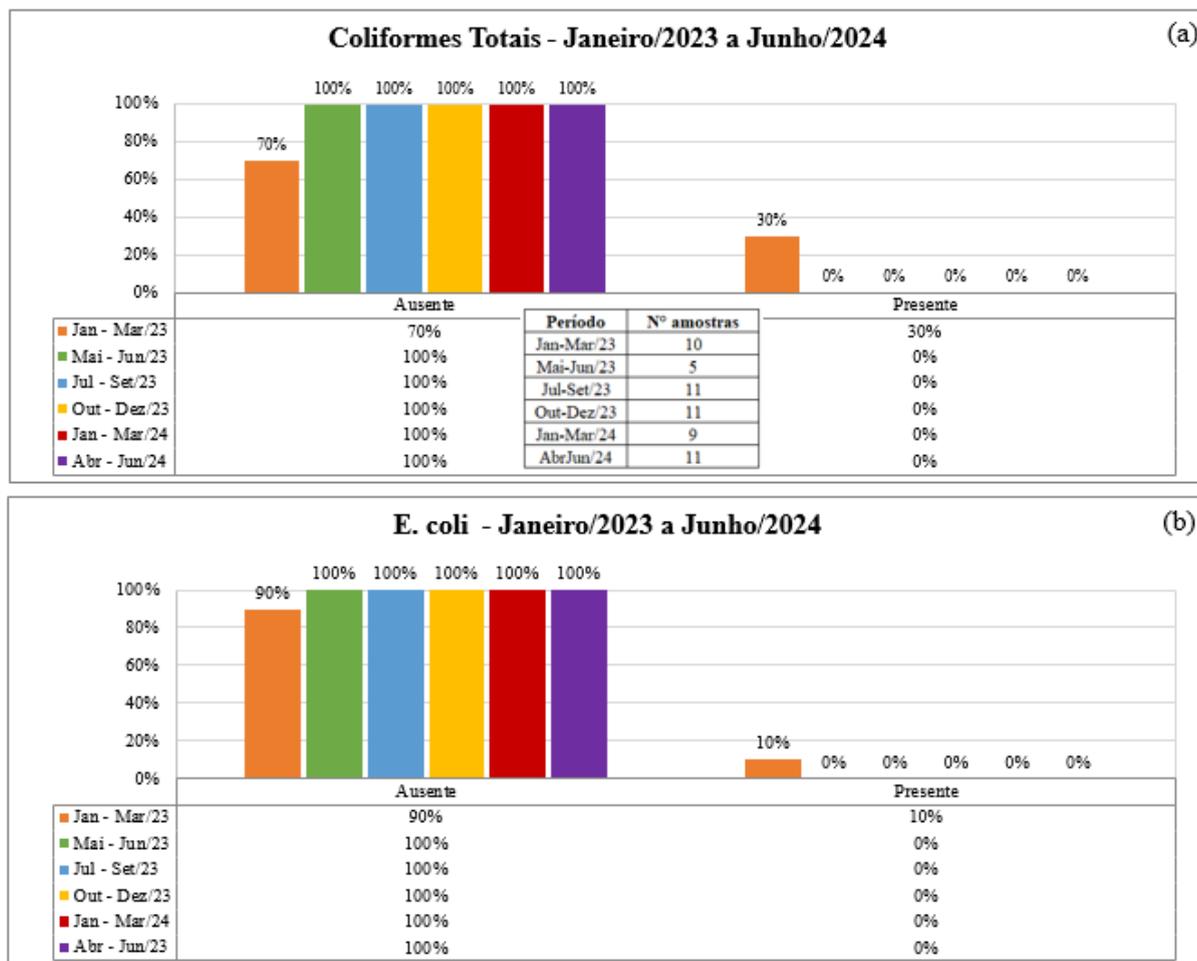
Figura 20 - Gráficos de monitoramento - CCS. (a) pH; (b) Turbidez; (c) Cor Aparente.



Fonte: Autor, 2024.

Durante todo o período de monitoramento, os valores de pH permaneceram dentro da faixa recomendada, de 6,0 a 9,0, assim como os valores de turbidez, que mantiveram-se constantes em 1,00 uT. Quanto à cor aparente, embora alguns poucos picos tenham sido observados, todas as amostras mantiveram-se abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP).

Os dados de monitoramento dos parâmetros microbiológicos presentes na água do reservatório do CCS estão apresentados na Figura 21.

Figura 21 - Gráficos de monitoramento - CCS. (a) Coliformes Totais; (b) *E. coli*.

Fonte: Autor, 2024

Entre janeiro e março de 2023, 30% das amostras analisadas apresentaram contaminação por coliformes totais, sendo 10% positivas para *Escherichia coli*.

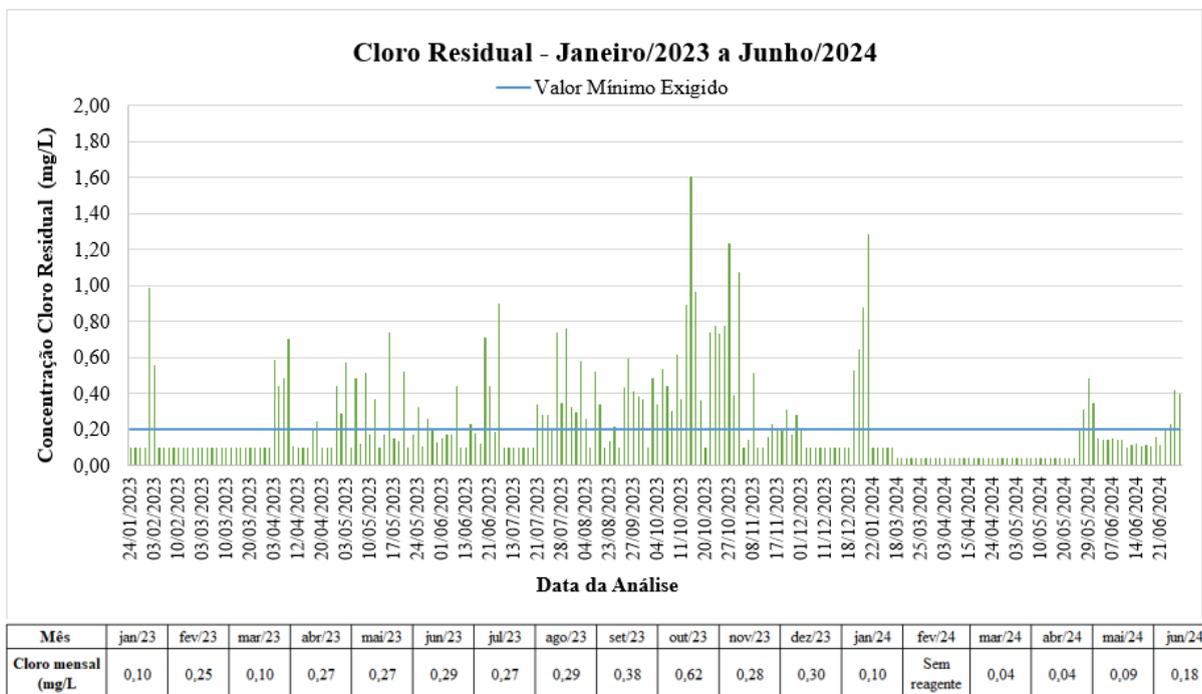
Por se tratar de uma rede interligada, as variações no reservatório central podem impactar a qualidade da água em outros pontos do Campus. Assim, é provável que a contaminação observada na água do CCS tenha sido influenciada pela contaminação detectada no reservatório central no mesmo período. Ressalta-se a necessidade de instalar um ponto de coleta de água bruta no CCS para avaliar a qualidade da água que abastece o reservatório deste centro, em conformidade com o § 5º do Art. 31 da Portaria nº 888/2021, e identificar as possíveis origens de contaminações.

Assim como no reservatório central, após a implementação do controle no abastecimento dos cloradores, o sistema de abastecimento do CCS alcançou 100% de ausência de contaminação microbiológica durante o período analisado (Figura 21), mesmo diante das dificuldades de operação dos cloradores do CCS.

- **Avaliação da qualidade da água do Reservatório do CCSA**

A Figura 22 apresenta os resultados da qualidade da água em relação ao teor de cloro residual no reservatório do CCSA.

Figura 22 - Gráfico do teor de cloro residual - CCSA.



Fonte: Autor, 2024.

Assim como observado nos resultados do CCS, as oscilações de aumento e queda na concentração de cloro residual no CCSA seguiram o mesmo padrão registrado no reservatório central, com pico em fevereiro devido à limpeza do reservatório central e um aumento contínuo após o início dos testes de cloração em abril e a regularidade desse serviço a partir de maio de 2023.

No sistema de abastecimento do CCSA, devido à desativação do reservatório semienterrado, a água do poço alimenta diretamente o reservatório elevado, passando previamente pelo clorador instalado em linha. Devido à alta vazão do poço, uma pressão elevada é descarregada no clorador, o que provoca rachaduras frequentes e demanda substituição constante. Esse problema ocorreu no final de junho de 2023, deixando o centro sem cloração até a metade do mês seguinte, e voltou a ocorrer em dezembro de 2023, com a troca do clorador apenas no final de maio de 2024, resultando em períodos prolongados de baixo teor de cloro residual.

A abertura do registro de passagem do reservatório central em dezembro de 2023 também impactou a água coletada no reservatório do CCSA. Apesar da interrupção na

cloração, foram observados alguns picos no teor de cloro residual nesse período. No entanto, essa elevação no teor de cloro não se manifestou nos meses seguintes devido às alterações no abastecimento do CCSA, resultantes do isolamento da malha de acordo com a Tabela 10, fazendo com que o reservatório central não contribuísse mais para o abastecimento deste centro.

Os resultados para os parâmetros pH, turbidez e cor aparente estão dispostos na Figura 23.

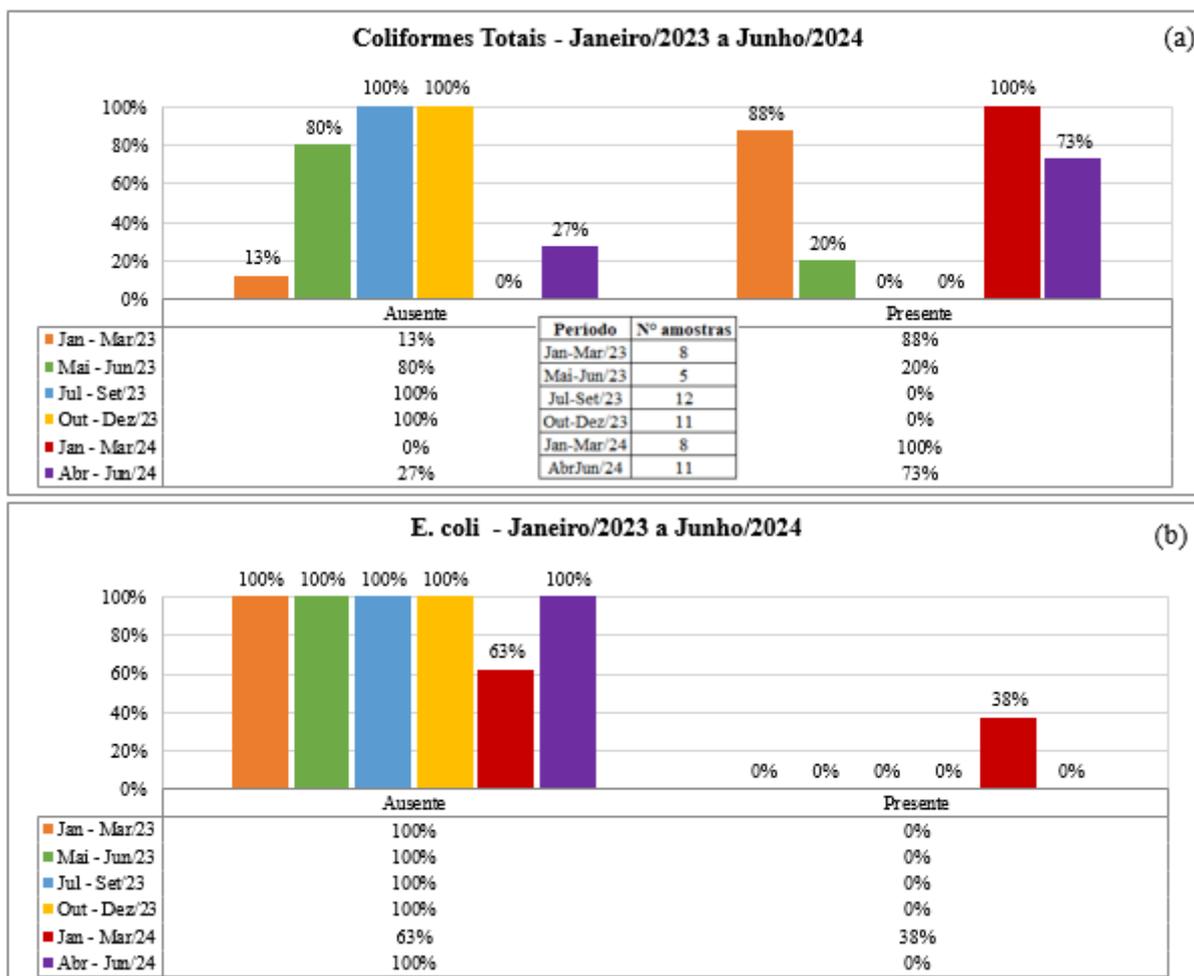
Figura 23 - Gráficos de monitoramento - CCSA. (a) pH; (b) Turbidez; (c) Cor Aparente.



Fonte: Autor, 2024

Os valores de pH referentes à água do reservatório do CCSA ficaram dentro da faixa recomendada pela Portaria nº 888/2021. E os valores de turbidez e cor aparente se mantiveram bem abaixo do VMP durante todo o período de avaliação.

Os resultados a seguir referem-se aos parâmetros microbiológicos analisados na água do reservatório do CCSA (Figura 24).

Figura 24 - Gráficos de monitoramento - CCSA. (a) Coliformes Totais; (b) *E. coli*.

Fonte: Autor, 2024.

Assim como nos dois reservatórios analisados anteriormente, entre janeiro e março de 2023, foi detectada contaminação microbiológica, com 88% de coliformes totais e ausência de contaminação fecal. Após maio de 2023, a contaminação diminuiu para 20%, provavelmente devido à regularização do serviço de cloração. Nos meses seguintes, de julho a dezembro de 2023, houve uma melhoria significativa na qualidade da água, alcançando 100% de ausência de coliformes totais.

No período de janeiro a março de 2024, devido à quebra do clorador e à consequente falta de cloração, foi detectada a presença de coliformes totais em 100% das amostras analisadas, com 38% de origem fecal. Esse resultado coincide com o baixo teor de cloro residual observado nesse período no reservatório do CCSA, conforme demonstrado na Figura 22, que ficou bem abaixo do mínimo exigido pela Portaria nº 888/2021 em seu Art. 32.

Com a substituição do clorador em maio de 2024, a qualidade da água começou a melhorar, no entanto, ainda apresentava 73% de contaminação por coliformes totais, com ausência de *Escherichia coli*.

É evidente que a contaminação frequentemente observada no reservatório do CCSA, durante os períodos de falta de cloração, não tem origem na água bruta. Isso se deve ao fato de que a água bruta do poço 5, que abastece este reservatório, apresenta uma qualidade excelente e ausência de contaminação microbiológica, conforme demonstrado nas Tabelas 6, 7 e 8. Essa contaminação pode estar ocorrendo no reservatório elevado ou ainda na rede de distribuição. É essencial reativar o reservatório semienterrado para resolver o problema das constantes falhas nos cloradores (Figura 25) e dos longos períodos sem cloração.

Figura 25 - Histórico dos defeitos do clorador - CCSA.



Fonte: Autor, 2024

Além disso, foi observado que o reservatório elevado do CCSA apresenta uma inconformidade na tampa de vedação (Figura 26), o que aumenta o risco de contaminação, permitindo a entrada de detritos, insetos, animais e outros contaminantes, além da água da chuva.

Figura 26 - Reservatório elevado do CCSA sem a tampa de vedação.



Fonte: Autor, 2024

Os resultados da qualidade da água dos três reservatórios avaliados no Campus I da UFPB indicaram, de maneira geral, conformidade com os parâmetros estabelecidos pela Portaria n° 888/2021, refletindo a excelente qualidade da água captada nos cinco poços do Campus. Contudo, é evidente que a adição das pastilhas de cloro como agente desinfetante é fundamental para garantir o atendimento dos residuais mínimos de cloro, sendo crucial para a desinfecção em casos de contaminação microbiológica. Além disso, a proteção e o isolamento dos reservatórios, bem como a realização de manutenções periódicas, são ações necessárias para o fornecimento de água de qualidade a todo o Campus.

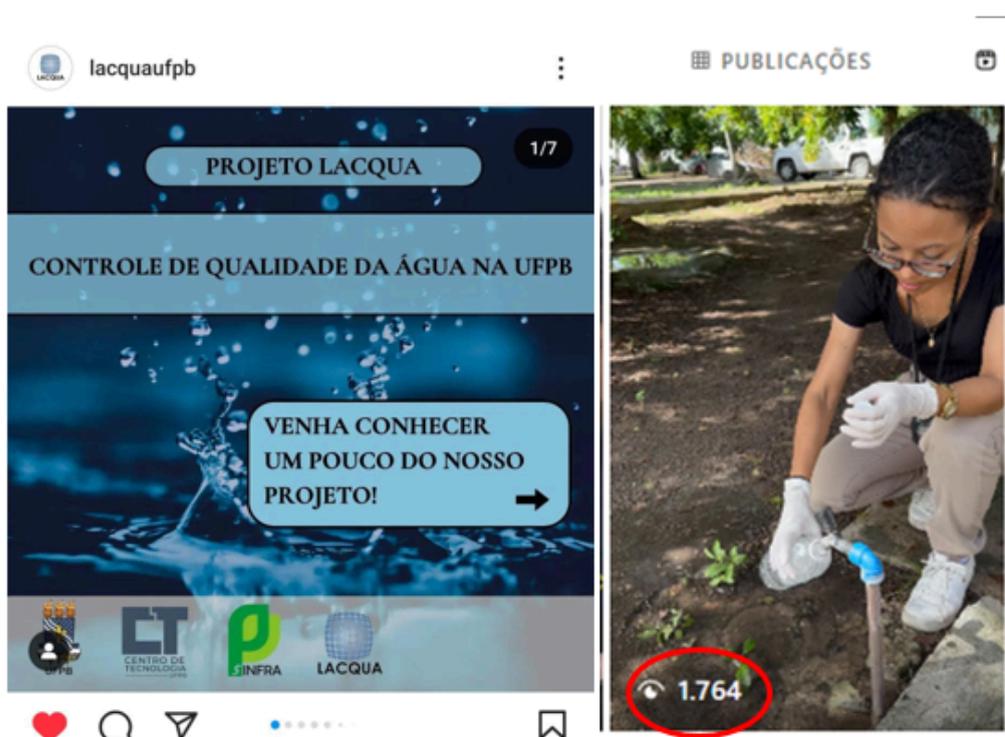
5.6. Divulgação Científica

A divulgação científica, especialmente por meio de redes sociais como o Instagram, desempenha um papel crucial na disseminação do conhecimento de forma acessível e dinâmica. Essas plataformas permitem compartilhar os trabalhos desenvolvidos no ambiente acadêmico com um público amplo e diversificado, indo além dos muros da universidade.

Além de valorizar e dar visibilidade às pesquisas realizadas, essa prática encoraja estudantes a se interessarem por ciência, a participarem de projetos de pesquisa e a desenvolverem suas próprias iniciativas. Assim, a divulgação científica cumpre um dos principais papéis da universidade: servir à sociedade, promovendo o acesso ao conhecimento e contribuindo para sua transformação.

Dessa forma, vídeos ilustrativos de como ocorre o monitoramento da qualidade da água do Campus foram criados e publicados no Instagram do laboratório (@lacquaufpb) cuja visualização alcançou mais de 1.700 visualizações. Além de uma publicação apresentando o projeto de controle da qualidade e a equipe responsável (Figura 27).

Figura 27 - Publicações feitas no Instagram do LACQUA.



Fonte: Autor, 2024

Outra forma de divulgação científica foi a apresentação de um artigo no Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), em sua 25ª edição, e a publicação do mesmo nos anais do simpósio. Este artigo pode ser encontrado no Anexo D.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na descrição realizada foi verificada a necessidade de atualizar a planta da rede de distribuição de água e aprimorar o detalhamento de todo o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), contemplando os centros e áreas com reservatórios ainda não mapeados para que seja possível implementar um controle semestral de limpeza dos reservatórios e um completo monitoramento da qualidade da água fornecida no Campus.

As análises da água dos poços 1 e 5 do Campus I da UFPB indicam que a água possui qualidade equivalente à da CAGEPA, em conformidade com a Portaria nº 888/2021 para todos os parâmetros analisados, sendo adequada para consumo humano após adição de agente desinfetante, conforme o Art. 31 da mesma Portaria.

Uma série de medidas de adequação foi proposta para o SAA do Campus. Entre as medidas implementadas, destacam-se a manutenção dos residuais mínimos de cloro com o uso de pastilhas de ácido tricloro isocianúrico, a elaboração de um Plano de Amostragem e o monitoramento contínuo da qualidade da água, conforme o plano estabelecido. Essas ações resultaram em uma melhora significativa na qualidade da água distribuída no Campus.

O monitoramento da água tratada distribuída a partir dos três principais reservatórios do SAA do Campus I da UFPB, especialmente do Reservatório Central, demonstrou conformidade com os padrões exigidos pela Portaria nº 888/2021 nos parâmetros avaliados.

Outras medidas foram propostas, mas ainda não implementadas. No entanto, este trabalho serve como um direcionamento para que as próximas gestões possam adotá-las, visando sempre à melhoria contínua e à garantia da manutenção da qualidade da água. Dessa forma, busca-se evitar a contaminação na rede ou nos reservatórios que compõem o SAA da UFPB. Vale ressaltar que essas atividades de controle da qualidade da água começaram após uma contaminação da água no Restaurante Universitário (RU), em um período em que não havia monitoramento da qualidade da água, sendo esta uma das contribuições importantes deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALESP - Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (org.). **Dia Mundial da Água alerta para a importância desse recurso natural**. 2021. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=419589#:~:text=A%20%C3%A1gua%20%C3%A9%20um%20recurso,el%C3%A9trica%20al%C3%A9m%20de%20preservar%20a>. Acesso em: 04 set. 2024.

ALVES, Eliane Cristina et al. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12244:2006. Construção de poço tubular para captação de água subterrânea**. Rio de Janeiro, 2006.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico,. **Água no mundo: situação da água no mundo**. [2020]. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 04 set. 2024.

BARROS, L. S. S. *et al.* Aspectos Microbiológicos e Demanda de Cloro de Amostras de Água de Dessedentação de Frangos de Corte Coletadas em Bebedouros Pendulares. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 193-198, maio 2001.

BEZERRA, Antonia Diana Alves *et al.* Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros do município de Fortaleza, Ceará. **Acta Biomédica Brasiliensia**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 24-34, jul. 2017. Universidade Iguazu - Campus V.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília, 2006.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Caracterização e Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas**. São Paulo, [2017].

CVS - Centro de Vigilância Sanitária. Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. **Portaria CVS 5, de 9 de abril de 2013**. Aprova o regulamento técnico sobre boas práticas para estabelecimentos comerciais de alimentos e para serviços de alimentação, e o roteiro de inspeção, anexo. São Paulo, 2013.

ECKHARDT, Rafael Rodrigo *et al.* Mapeamento e análise da potabilidade das águas subterrâneas do município de Lajeado, RS, Brasil. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 58-80, abr. 2009.

FEITOSA, Fernando A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Cprm, 2008. 812 p.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. 4. ed. Brasília: FUNASA, 2013. 150 p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2010. 1 v. e 2 v.

MACEDO, Jorge Antônio Barros de *et al.* Cloraminas orgânicas uma solução para evitar a formação de trihalometanos no processo de desinfecção de águas para abastecimento público. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 15, n. 90/91, p. 93-103, nov./dez. 2001.

MADEIRA, Vivian Stumpf. **Caracterização de águas e efluentes**. João Pessoa: UFPB, [2021]. 108 slides, color.

MADEIRA, Vivian Stumpf. **Desinfecção**. João Pessoa: UFPB, [2024]. 47 slides, color.

MERTEN, Gustavo H.; MINELLA, Jean P.. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, out. 2002.

NASCIMENTO, Daiane Aparecida et al. Índice de saturação de águas duras do norte de Minas Gerais por PHREEQC e Langelier. **Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 21, n. 7, maio 2024.

OLIVEIRA, Gislayne Alves *et al.* Avaliação da qualidade da água subterrânea: estudo de caso de Vilhena - RO. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 213-223, ago. 2015.

OLIVEIRA, Paulo Henrique Stehling; BARRETO, Douglas. **Mapeamento das principais causas de contaminação de água potável em sistemas prediais hidrossanitários**. In: XIII Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desempenho e Inovação de Sistemas Prediais Hidráulicos, 2019, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2019. p. 32-44.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Assembleia Geral. Resolução 64/A/RES/64/292, de 28 de julho de 2010. **Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010: El derecho humano al agua y el saneamiento**. Nova York, 2010. Disponível em: <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n09/479/38/pdf/n0947938.pdf?OpenElement>. Acesso em: 04 set. 2024.

OTENIO, Marcelo Henrique *et al.* **Como montar e usar o clorador de pastilhas em residências rurais**. Brasília: Embrapa, 2014.

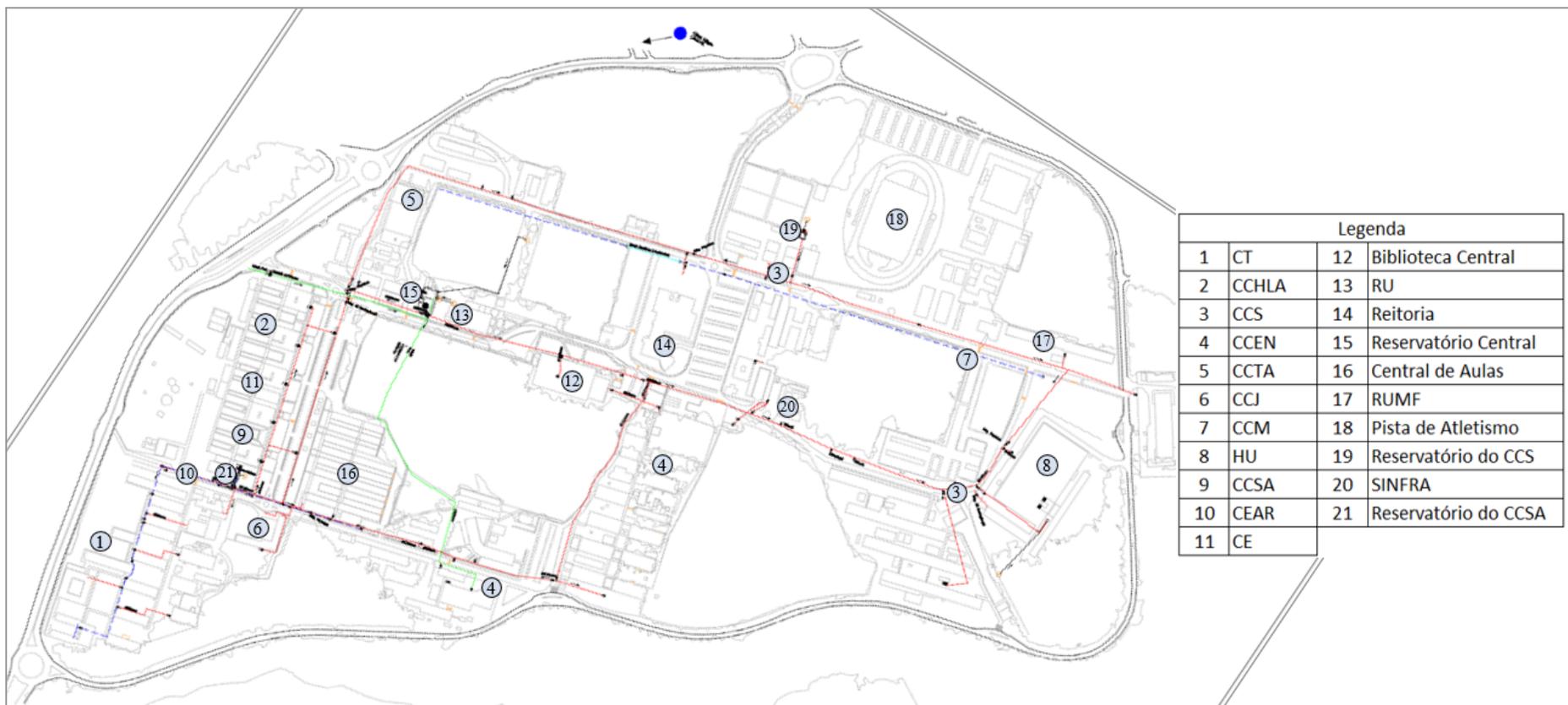
SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de Bauru. **Os aquíferos e os poços**. 2021. Disponível em: <https://daebauru.sp.gov.br/ambiente.php?item=RH4>. Acesso em: 28 out. 2024.

SILVA, Amanda Leticia Oliveira *et al.* Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, jan. 2020.

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva *et al.* **Análise preliminar da nova portaria de potabilidade da água (PRT GM/MS nº 888/2021)**. In: XII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2021, Salvador. Anais [...]. Salvador: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2021.

VASCONCELOS, M. B.. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. **Águas Subterrâneas**, 2014.

ANEXO A - Planta da rede de distribuição de água da UFPB



Fonte: Adaptado do arquivo recebido da Superintendência de Infraestrutura (SINFRA) da UFPB, 2022

ANEXO B - Metodologia utilizada em cada análise

Parâmetro	Método	Referência
Alumínio	Método de Eriocromocianina R	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 12 ^o Ed., pg. 53.
Amônia	Método Salicilato	Adaptado de Clin. Chim. Acta., 14, 403 (1966).
Cloreto	Método Argentométrico	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed, 4500-Cl- B.
Cloro livre	Método DPD	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 4500-Cl G.
Cobre	Método Bicinchoninato	Adaptado de Nakano, S., Yakugaku Zasshi, 82 486-491 (1962) [Chemical Abstracts, 58 3390e (1963)].
Coliformes totais/ <i>Escherichia coli</i>	COLLERT - Reagente IDEXX.	Baseado na Tecnologia do Substrato Definido - Defined Substrate Technology (DST) de propriedade de IDEXX.
Condutividade elétrica	Leitura direta por aparelho portátil.	
Cor aparente	Método Platina-Cobalto	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 2120B.
Cromo	Método de oxidação de hipobromito alcalino	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 3500-Cr B e 3030 D.
Dureza total	Método Titrimétrico	Standard Methods for. the Examination of Water and Wastewater, 23 ^a ED., 2340C.
Ferro	Método Fenantrolina	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 3500-Fe B.
Fluoreto	Método Spands	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 2012, 4500-F-D. NBR 13737 – Água – Determinação de Fluoreto – Métodos Colorimétricos Spands, visual de alizarina e eletrodo de ion específico. MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas. 3 ^o Ed. Belo Horizonte/MG: Macedo: 2005. Pág. 108. Determinação de
Fosfato	Método Ácido Ascórbico	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 4500-P E.
Manganês	Método Pan	Adaptado de Goto, K., et al., Talanta, 24, 652-3 (1977).
Molibdênio	Método Complexo Ternário	Metodologia HACH
Nitrato	Método de Redução de Cádmio	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 4500-NO3- E.
Nitrito	Método de Diazotização	Aprovado pela USEPA para análise de águas residuais, Federal Register, 44(85), 25505 (May 1, 1979).
Nitrogênio Total	Método de Digestão de Persulfato	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 4500-N C.
pH	Leitura direta por aparelho portátil.	
Potássio	Método do Tetrafenilborato	Metodologia HACH
Salinidade	Leitura direta por aparelho portátil.	
Sólidos dissolvidos totais	Leitura direta por aparelho portátil.	
Sulfato	Método Turbidimétrico	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 4500-SO42- E.
Sulfeto	Método do Azul de Metileno	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 4500-S2- D.
Turbidez	Método Nefelométrico	Standard Methods for. Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 2130 B.
Zinco	Método Zincon	Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ^o Ed., 3500-Zn B.

Fonte: Autor, 2024.

ANEXO C - Artigos contemplados no Plano de Amostragem da UFPB

Art. 24	Toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos, conforme as disposições contidas no Art. 32.
Art. 27	A água potável deve estar em conformidade com padrão microbiológico, conforme disposto nos Anexos 1 a 8 e demais disposições deste Anexo.
Anexo 1	Tabela de padrão bacteriológico da água para consumo humano.
Art. 28	Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser atendido o padrão de turbidez expresso no Anexo 2 e devem ser observadas as demais exigências contidas neste Anexo.
Anexo 2	Tabela de padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração.
Art. 31	Os sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água supridas por manancial subterrâneo com ausência de contaminação por <i>Escherichia coli</i> devem adicionar agente desinfetante, conforme as disposições contidas no Art. 32.
Art.31 § 5º	A avaliação da contaminação por <i>Escherichia coli</i> no manancial subterrâneo deve ser feita mediante coleta mensal de uma amostra de água em ponto anterior ao local de desinfecção.
Art. 32	É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo.
Art. 38	A água potável deve estar em conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade expresso no Anexo 11 e demais disposições deste Anexo.
Art. 42	Os responsáveis por SAA e SAC devem analisar pelo menos uma amostra semestral da água bruta em cada ponto de captação com vistas a uma gestão preventiva de risco.
Art. 42 § 2º	Sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, supridos por manancial subterrâneo devem realizar análise dos parâmetros Turbidez, Cor Verdadeira, pH, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal Total, condutividade elétrica e dos parâmetros inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos, exigidos neste Anexo.
Anexo 9	Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde.
Art. 44	Os responsáveis por SAA e SAC devem elaborar anualmente e submeter para análise da autoridade municipal de saúde pública, o plano de amostragem de cada sistema e solução, respeitando os planos mínimos de amostragem expressos neste Anexo.
Anexo 11	Tabela de padrão organoléptico de potabilidade.
Anexo 13	Tabela de número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas e químicas, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.
Anexo 14	Tabela de número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises bacteriológicas, em função da população abastecida.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2021.

ANEXO D - Artigo publicado nos anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos



XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO, TRATAMENTO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO NO ESTADO DA PARAÍBA

*Úrsula Maria Alves Felizardo¹; Renata Meira de Lima²; Suévely Beatriz Santana de Sousa³;
Gracielle Ferreira De Souza⁴; Sarah Beatriz Rodrigues da Cruz⁵; Vivian Madeira Stumpf⁶*

Abstract: Water is a fundamental asset for life and must be in a good quality condition. In other words, water intended for human consumption must meet the potability standards set forth in the GM/MS Ordinance No. 888/21. The quality of water is directly related to public health. In contaminated water, the individual may be exposed to the presence of pathogenic bacteria such as *Escherichia coli*, which causes diarrhea and is associated with other etiological agents. Therefore, water disinfection for human consumption is necessary. Thus, this work aimed to propose a framework, treatment and monitoring of water quality in an educational institution in the State of Paraíba. A description of the water supply system was developed, focusing on the central reservoir, which was the object of study. Based on this step, it was possible to determine the collection points for raw and treated water, to proceed with microbiological and free residual chlorine analysis and classification of the raw water, coming from the well, in accordance with CONAMA Resolution No. 396/2008. In November, a low concentration of free residual chlorine was detected, as well as microbiological contamination. In December, the disinfection treatment showed more satisfactory results. It is essential to maintain an adequate concentration of free residual chlorine in order to protect consumer health and prevent the proliferation of harmful microorganisms.

Resumo: A água é um bem primordial à vida, devendo encontrar-se em bom estado de qualidade, ou seja, a água destinada ao consumo humano deve atender ao padrão de potabilidade expresso na Portaria GM/MS N° 888/21. A qualidade da água está diretamente relacionada à saúde pública. Em águas contaminadas, o indivíduo pode estar exposto à presença de bactérias patogênicas como a *Escherichia coli*, causadora de diarreia e relacionada a outros agentes etiológicos. Sendo necessária portanto a desinfecção da água para consumo humano. Logo, este trabalho teve como objetivo propor um enquadramento, tratamento e monitoramento da qualidade da água de uma instituição de ensino do Estado da Paraíba. Uma descrição do sistema de abastecimento de água foi elaborada, com enfoque no reservatório central, o qual foi objeto de estudo. Com base nessa etapa, foi possível determinar os pontos de coleta de água de água bruta e tratada, para prosseguir com as análises microbiológicas e de cloro residual livre e enquadramento da água bruta, proveniente de poço, conforme Resolução n° 396/2008 do CONAMA. No mês de novembro, foi detectada uma baixa concentração de cloro

¹) Graduada em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campus I Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, ursula.felizardo@gmail.com

²) Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campus I Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, renatameiradl@hotmail.com

³) Graduada em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campus I Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, suevellysousa@gmail.com

⁴) Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campus I Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, gracielle.souza@academico.ufpb.br

⁵) Graduada em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campus I Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, sarah.beatriz@academico.ufpb.br

⁶) Professora titular da UFPB. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Campus I Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, eqvsm@yahoo.com.br



residual livre, bem como uma contaminação microbiológica. Já em dezembro, o tratamento da desinfecção apresentou resultados mais satisfatórios. É essencial manter a concentração adequada de cloro residual livre a fim de proteger a saúde dos consumidores e prevenir a proliferação de microrganismos nocivos.

Palavras-Chave – Água; Cloro Residual Livre; Análises Microbiológicas.

INTRODUÇÃO

O consumo de água não é uma questão de escolha ou opção, mas sim vital à vida. Além do acesso a este bem ser primordial, é imprescindível que ele se encontre em boa qualidade. Em outras palavras, a água destinada à população, ou seja, a água potável, deve atender a um conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano e não pode oferecer riscos à saúde. Além disso, devem-se ser adotadas medidas de controle para assegurar a manutenção dessa condição (BRASIL, 2021).

Como observado pelo médico inglês John Snow em 1855, a qualidade da água está associada diretamente à saúde humana. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 80% de todas as doenças que acometem os países em desenvolvimento provêm de água de má qualidade (MACEDO, 2000).

Segundo Isaac-Marquez et al. (1994), a água é um importante meio de transmissão de enfermidades diarreicas ao ser humano, tornando-se primordial a avaliação da qualidade microbiológica da água de consumo. Quando o indivíduo fica exposto a águas contaminadas, na presença de algumas linhagens patogênicas de *Escherichia coli*, pode sofrer com diarreias moderadas a severas, colite hemorrágica grave e síndrome hemolítica urêmica (SHU), e em casos mais extremos pode vir à óbito (ZIESE et al. 2000). Além disso, é possível estabelecer uma relação entre a existência de *E. coli* e a presença de outros agentes etiológicos como vírus e bactérias causadores de doenças de veiculação hídrica como pneumonias, hepatites, amebíase, giardíase, gastroenterite, febre tifóide, hepatite infecciosa e cólera, dentre outras (HIRATA, 2002; MANAFI, 1996). Segundo Art. 27 da Portaria nº 888/2021, a água na saída do tratamento, deve apresentar como resultado para a análise de Coliformes Totais e *Escherichia coli*, ausência em 100 ml de amostra.

A disseminação dessas doenças de veiculação hídrica pode ser evitada a partir da etapa da desinfecção no tratamento de água. A desinfecção da água é um ato imprescindível à manutenção de sua qualidade e à eliminação de patógenos (BARROS et al., 2001). Na desinfecção da água, o uso do cloro como agente desinfetante é a prática mais utilizada em decorrência de sua eficiência e baixo custo (MEYER, 1994).

Segundo a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, a água subterrânea caracteriza-se por ocorrer naturalmente ou artificialmente no subsolo e é classificada em seis classes, em função de padrões de qualidade que possibilite o seu enquadramento de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo.

As águas subterrâneas, na maioria das vezes provenientes de poços, geralmente são menos contaminadas por fatores biológicos e químicos do que os mananciais superficiais, pois não ficam expostas aos diversos agentes poluentes (ECKHARDT et al., 2008). Entretanto, a falta de cuidados com reservatórios e tubulações torna-se propícia à contaminação da água.

Neste sentido, este trabalho foi desenvolvido com objetivo de propor um enquadramento, tratamento e monitoramento da qualidade da água de uma instituição de ensino no estado da Paraíba, sendo essa água proveniente de um reservatório central, abastecido por água subterrânea. O enquadramento da água bruta levou em consideração a Resolução nº 396/2008 do CONAMA. Já o monitoramento contou com análises de cloro residual e análises microbiológicas realizadas, com o intuito de assegurar a potabilidade da água fornecida à comunidade acadêmica, ao verificar se as condições analisadas se encontram dentro do padrão estabelecido na Portaria GM/MS Nº 888 de 4 de maio de 2021. E, por conseguinte, um tratamento foi proposto conforme resultados das análises.

METODOLOGIA

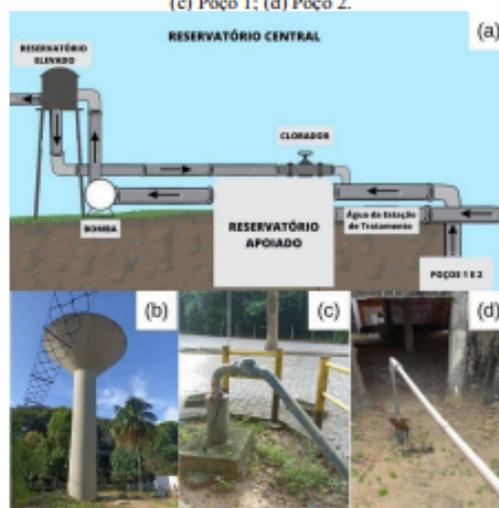
Descrição do Ponto de Coleta

O sistema de abastecimento de água da instituição (SAA), é composto por dois (02) poços artesianos. Além disso, o sistema inclui reservatórios como cisternas e caixas d'água que direcionam a água para os diversos centros da instituição por meio de tubulações e bombas. Em momentos de aumento na demanda, o sistema pode receber água tratada da Estação de Tratamento de Água.

O sistema de distribuição de água da instituição é completamente interligado, permitindo que certos reservatórios recebam água tanto dos poços artesianos quanto da Estação de Tratamento de Água da cidade, conforme necessário. A influência de cada fonte de água, seja poço ou Estação de Tratamento, varia de acordo com a proximidade entre o poço e o reservatório, bem como a demanda de água na instituição.

O Reservatório Central da instituição é abastecido principalmente por águas subterrâneas provenientes de dois poços artesianos localizados na própria instituição. Após ser armazenada em um reservatório apoiado, a água é bombeada para um reservatório elevado. A partir desse reservatório elevado, a água é distribuída por gravidade para os diversos locais da instituição de ensino.

Figura 1 – (a) Esquemática do Sistema de Distribuição de Água do Reservatório Central; (b) Reservatório Elevado; (c) Poço 1; (d) Poço 2.



Fonte: Autores, 2023.

Água bruta e Água tratada

O Art. 42 da Portaria GM/MS nº888/2021 diz que os responsáveis por SAA e SAC devem analisar pelo menos uma amostra semestral da água bruta em cada ponto de captação com vistas a uma gestão preventiva de risco. Os artigos 36 e 38 da Portaria nº 888 relatam que a água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde (Anexo 9) e com o padrão organoléptico de potabilidade (Anexo 11). Com base nisto, foram realizadas análises de diversos parâmetros em amostras coletadas nos dois poços que abastecem o reservatório central buscando atender o que preconiza este artigo da Portaria nº888. Os parâmetros analisados foram: pH, Turbidez, Cor aparente, coliformes totais, *Escherichia coli*, Ferro, Zinco, Cromo, Manganês, Alumínio, Nitrogênio Total, Dureza total, Cloreto, Salinidade e Sólidos Totais.

As coletas das amostras de água tratada foram feitas diariamente, a partir das 07:15h da manhã. Todo o procedimento de coleta e transporte; como uso de luvas de látex, jaleco e refrigeração, foi utilizado tomando como base o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (ANA). No ponto de coleta, as amostras eram recolhidas em torneiras instaladas na rede de distribuição, que recebe a água do reservatório central, e que contém amostras de água tratada, seja água de poço artesiano clorada ou proveniente de uma Estação de Tratamento.

As metodologias analíticas empregadas para determinação dos parâmetros estão em conformidade com as normas estabelecidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, publicado pelas instituições American Public Health Association (PHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), de acordo com o Art. 22 da Portaria GM/MS nº 888.

A respeito dos métodos colorimétricos, os reagentes utilizados nas análises foram adquiridos da empresa especializada Alfakit, que desenvolve kits e equipamentos para análises de águas. As mesmas foram realizadas no espectrofotômetro de UV-Vis (UV-1280, Shimadzu). Já as análises de coliformes totais e *Escherichia coli* eram realizadas quinzenalmente (às quinta-feiras), utilizando o Colilert da marca IDEXX, um Substrato Enzimático definido ONPG-MUG para identificação de coliformes totais e *E. Coli* em amostras de água. Para as análises de cor e turbidez foram feitas, respectivamente, através do Medidor de Cor Aparente IIP e pelo Turbidímetro Plus II Microprocessado C, da Alfakit. A análise de Salinidade e Sólidos Totais foram realizadas utilizando o Medidor de Condutividade de Bolso à Prova à Prova d' Água AK50 e a análise de pH usando um pHmetro de bancada.

Figura 2 – Ponto de coleta (a) Água Bruta - Poço 1; (b) Água Bruta - Poço 2; (c) Água Tratada.



Fonte: Autores, 2023

Desinfecção via pastilhas de cloro

A Portaria nº888/2021 estabelece em seu Art. 24, que toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos, conforme as disposições contidas no Art. 32., no qual, fala da obrigatoriedade da manutenção de um teor mínimo de cloro residual livre de 0,2 mg/L ou 2,0 mg/L de cloro residual combinado ou ainda, 0,2 mg/L de dióxido de cloro em todo o sistema de distribuição e consumo de água. Em função disso, foram instalados cloradores de pastilha nas tubulações que alimentam o reservatório. Os cloradores instalados nos sistemas de distribuição de água, na instituição de ensino, são do tipo clorador de pastilhas. Este tipo de clorador é formado por um conjunto de acessórios: canos, registros, curvas, etc., geralmente de policloreto de vinila (PVC), que forçam a passagem de água pelo depósito contendo as pastilhas de cloro. A água, inicialmente sem tratamento, entra em contato com o cloro, é tratada e posteriormente armazenada em reservatórios com certa concentração de cloro residual livre (OTENIO et al., 2014). Como mostrado na Figura 3, são colocadas, em média, 8 pastilhas de cloro por clorador com reposição a cada 7 a 15 dias a depender do consumo e do teor de cloro residual livre na amostra de água analisada.

Figura 3 - Cloradores de pastilhas



Fonte: Autores, 2023

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade da água bruta e proposta de enquadramento

A Tabela 1 dispõe dos resultados das análises para a água bruta e os valores máximos permitidos pela Portaria GM/MS nº888/2021 e pela Resolução CONAMA nº357/2005.

Tabela 1 - Resultados da qualidade da água bruta com os valores máximos permitidos.

Análises	Valor Máximo Permitido	Poço 1	Poço 2
pH	Entre 6,0-9,5	7,18	7,34
Turbidez	5,00 uT	< 1,00 uT	< 1,00 uT

5

Cor aparente	15,00 uH	< 1,00 uH	< 1,00 uH
Coliformes totais	Ausência em 100mL	Presença	Ausência
<i>E. coli</i>	Ausência em 100mL	Ausência	Ausência
Ferro	0,3 mg/L	< 0,10 mg/L	< 0,10 mg/L
Zinco	5,0 mg/L	< 0,01 mg/L	< 0,01 mg/L
Cromo	0,05 mg/L	< 0,10 mg/L	< 0,10 mg/L
Manganês	0,1 mg/L	< 0,01 mg/L	< 0,01 mg/L
Alumínio	0,2 mg/L	< 0,10 mg/L	< 0,10 mg/L
Nitrogênio Total	10 mg/L	3,67 mg/L	1,78 mg/L
Dureza	300 mg/L	226,20 mg/L	206,18 mg/L
Cloreto	250 mg/L	10,00 mg/L	11,00 mg/L
Salinidade	≤ 0,50 ‰	0,48 ‰	0,44 ‰
Sólidos Totais	500 mg/L	343 mg/L	323 mg/L

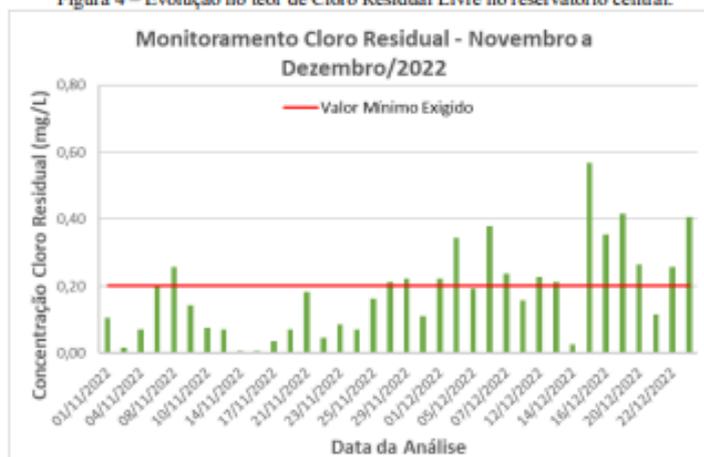
Fonte: Autores, 2023.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008, a qual estabelece critérios ambientais para classificação e enquadramento das águas subterrâneas, conforme os resultados apresentados na Tabela 1 das análises de água bruta dos poços, onde a maioria dos parâmetros estão dentro dos limites máximos permitidos pela Legislação, é proposto que esta água seja classificada como Classe II. Essa classe abrange as águas provenientes de aquíferos, conjunto de aquíferos ou parte deles, que não sofreram alterações em sua qualidade devido a atividades humanas. No entanto, essas águas podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso predominante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais. Apesar da amostra do Poço 1 ter apresentado coliformes totais, é importante ressaltar que a presença desses coliformes pode ser oriunda das características naturais do solo e não necessariamente de atividades humanas.

Qualidade da água após desinfecção

Os resultados das análises de qualidade da água para o reservatório central desta instituição, referentes ao período de novembro a dezembro de 2022, foram discutidos com base na Portaria GM/MS nº888/2021 que dispõe de diversos parâmetros para o estabelecimento da potabilidade da água. Na Figura 4, que mostra os dados quanto ao tratamento de desinfecção proposto para este sistema de abastecimento, há uma clara evolução no teor de Cloro Residual Livre após a implementação do sistema de tratamento via pastilhas de cloro.

Figura 4 – Evolução no teor de Cloro Residual Livre no reservatório central.



Fonte: Autores, 2023

Durante o mês de novembro a maioria das amostras analisadas apresentaram concentrações de cloro residual livre abaixo do valor mínimo exigido. Em dezembro, após a introdução dos cinco (5) cloradores, a disponibilização das pastilhas de cloro e o abastecimento periódico dos cloradores, foi notório o melhoramento no tratamento de desinfecção atingindo teores de cloro residual livre igual ou maior que 0,2 mg/L para quase todas as amostras, atendendo assim ao padrão exigido pela Portaria nº888/2021 em seu Art. 32.

Na Tabela 2 abaixo, estão contidos os dados obtidos para o monitoramento da qualidade da água coletada no reservatório central nos parâmetros Cloro Residual Livre, Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

Tabela 2 - Resultados dos Parâmetros Analisados Após Desinfecção

Período		Parâmetros Analisados		
Mês/Ano	Semana	Cloro Residual Livre médio (mg/L)	Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>
Nov/2022	1	0,07	Ausente	Ausente
	2	0,14	Ausente	Ausente
	3	0,02	Presente	Ausente

7

	4	0,09	Ausente	Ausente
Dez/2022	1	0,22	Ausente	Ausente
	2	0,22	-	-
	3	0,23	Ausente	Ausente
	4	0,26	Ausente	Ausente

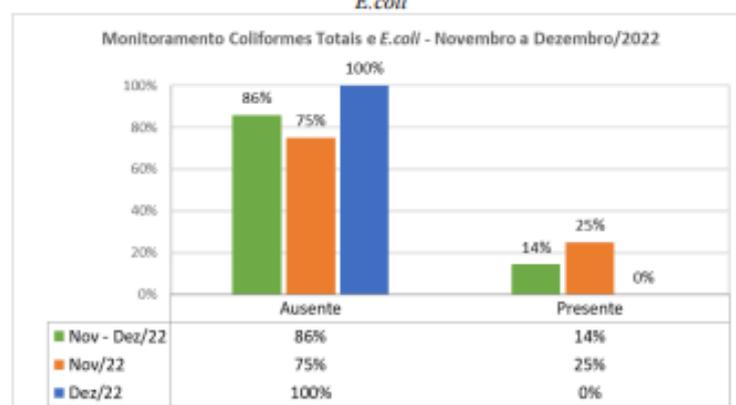
Fonte: Autores, 2023

Conforme tabela acima, a concentração de cloro residual livre médio mostrou-se abaixo do valor mínimo exigido pela portaria no mês de novembro. Enfoque especial para a terceira semana, referente aos dias 14, 16, 17 e 18 de novembro, que apresentou resultados críticos com um teor de cloro residual livre <0,05 mg/L. Após esse período, no mês de dezembro, como constatado na Tabela 2, a concentração de cloro residual livre médio manteve-se acima do mínimo exigido atendendo ao padrão microbiológico proposto pela Portaria nº888 em seu Anexo 1.

Ainda de acordo com a Tabela 2, das amostras coletadas quinzenalmente para realização das análises microbiológicas, somente uma amostra apresentou contaminação por coliformes totais e também por *Escherichia coli*. A amostra que manifestou esta contaminação refere-se à terceira semana do mês de novembro, uma justificativa aceitável para isto, é o baixo teor de cloro residual livre médio na referida semana com concentração bem abaixo do valor mínimo exigido, o que pôde ter propiciado o aparecimento e crescimento deste tipo de bactéria. De acordo com Quintela (2016), águas com doses mais baixas de desinfetante apresentam uma maior diversidade de microrganismos, no entanto, em águas com doses mais elevadas de desinfetante apresentam uma menor quantidade de microrganismos.

Na Figura 2 abaixo, os dados das análises microbiológicas realizadas nas amostras coletadas no reservatório central no período de novembro e dezembro de 2022, foram explicitadas percentualmente para uma melhor visualização dos resultados.

Figura 5 – Percentagem das amostras com presença ou ausência de contaminação por Coliformes Totais e *E.coli*





Fonte: Autores, 2023

Analisando o período em sua totalidade, para contaminação microbiológica obteve-se um valor de 86% de ausência para coliformes totais e *E.coli*. No mês de novembro, em virtude da baixa concentração de cloro residual livre no sistema de abastecimento, este valor foi de 75% de ausência. No entanto, em dezembro, devido à melhora no tratamento da água que abastece o reservatório central desta instituição, os resultados foram mais satisfatórios, atingindo 100% de ausência para contaminação por coliformes totais e *E.coli*.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, a discussão abordou a concentração de cloro residual livre na água do sistema de distribuição e consumo de uma instituição de ensino, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS nº888/2021. Foi constatado que, durante o mês de novembro analisado, a concentração de cloro residual livre médio ficou abaixo do valor mínimo exigido pela portaria. Destaca-se ainda, a terceira semana de novembro, na qual a concentração de cloro residual livre foi especialmente baixa, inferior a 0,05 mg/L. Esse resultado crítico é preocupante, uma vez que uma baixa concentração de desinfetante residual torna a água suscetível à presença de microrganismos patogênicos. No entanto, após esse período, as amostras analisadas mostraram concentrações de cloro residual livre acima do mínimo exigido. Esse resultado era esperado, uma vez que o cloro utilizado como agente desinfetante possui propriedades germicidas e capacidade oxidante, podendo ser consumido na reação com materiais orgânicos e inorgânicos, formando subprodutos clorados.

No geral, considerando o período analisado, verificou-se que 86% das amostras apresentaram ausência de contaminação por coliformes totais e *E.coli*. No entanto, durante o mês de novembro, devido à baixa concentração de cloro residual livre no sistema de abastecimento, esse valor caiu para 75% de ausência. Porém, em dezembro, devido à melhoria no tratamento da água fornecida ao reservatório central, os resultados foram mais satisfatórios, alcançando 100% de ausência de contaminação por coliformes totais e *E.coli*. Essa análise indica que a concentração adequada de cloro residual livre é fundamental para evitar a contaminação microbiológica da água. As medidas tomadas para melhorar o tratamento da água no mês de dezembro foram eficazes, resultando em uma melhoria significativa na qualidade microbiológica, com ausência completa de coliformes totais e *E.coli*.

Para garantir a segurança da água consumida, é essencial manter a concentração adequada de cloro residual livre, conforme determinado pela legislação. A implementação de medidas corretivas, como: Limpeza e desinfecção do reservatório; Retirada de vazamentos na rede de abastecimento; Instalação de novos cloradores e compra de novas pastilhas de cloro; Abastecimento e monitoramento semanal de todos os cloradores, é de extrema importância, a fim de proteger a saúde dos consumidores e prevenir a proliferação de microrganismos nocivos.

REFERÊNCIAS

APHA, American Public Health Association. (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – SMEWW*”. 22th ed., Washington – USA.

APHA, American Public Health Association. (2017) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – SMEWW*”. 23th ed., Washington – USA.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. (2021). *Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para*



dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília- DF.

BARROS, L.S.S.; AMARAL, L.A., ROSSI Jr, O.D. (2001). "Aspectos microbiológicos e demanda de cloro de amostras de água de dessedentação de frangos de corte coletadas em bebedouros pendulares". Revista Brasileira de Ciência Avícola. Campinas. v. 3, n. 2.

CONAMA, Resolução nº 396, de 03 de Abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; "Dispõe sobre e a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências."; publicada no Diário Oficial da União em 07/04/2008; Brasília, DF.

ECKHARDT, R. R.; DIEDRICH, V. L., FERREIRA, E. R.; STROHSCHOEN, E.; DEMAMAN, L. C. (2008). "Mapeamento e avaliação da potabilidade subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil". Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 58-80.

FUNASA, Fundação Nacional da Saúde. (2014). *Manual de cloração de água em pequenas comunidades: utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa.* Brasília, 2014, 1.

HIRATA, HIRATA, R. (2002). "Mapeamento de vulnerabilidade de risco de poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo". São Paulo : IG / CETESB / DAEE.

ISSAC-MARQUEZ AP, LEZAMA-DAVILA CM, KU-PECH RP, TAMAY-SEGOVIA P. (1994). "Calidad sanitaria de los suministros de agua para consumo humano en Campeche". Salud Pública Méx 1994;36:655-61

MACEDO JAB. (2000). "Águas e águas". Juiz de Fora: Ortofarma.

MANAFI, M. (1996). "Fluorogenic and chromogenic enzyme substrates in culture media and identification tests". International Journal of Food and Microbiology.

MEYER, S.T. (1994). O uso do cloro na desinfecção das águas, formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. *Caderno de Saúde Pública.* Rio de Janeiro. v.10, n.1.

QUINTELA, Sara Isabel dos Santos (2016). *Qualidade da água para consumo humano: riscos associados à presença de biofilmes em torneiras de espaços escolares.* 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Higiene e Segurança nas Organizações, Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, Porto, 2016.

ZIESE, T. et al. (2000). "Surto de *Escherichia coli* na Suécia". Vol. 1. Relatórios de investigação de surtos.