

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA - ICET
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

EVELY DOS SANTOS SENA

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA EM ITACOATIARA-AM
DURANTE SECAS EXTREMAS

ITACOATIARA-AM

2025

EVELY DOS SANTOS SENA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA EM ITACOATIARA-AM
DURANTE SECAS EXTREMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Instituto de Ciências Exatas e
Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas
como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Suéllenn dos Santos Hinnah

ITACOATIARA-AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- S474a Sena, Evely dos Santos
Análise da qualidade da água distribuída em itacoatiara-am durante secas extremas / Evely dos Santos Sena. - 2025.
53 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Suéllenn dos Santos Hinnah.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia de Itacoatiara, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Itacoatiara-AM, 2025.
1. água potável. 2. parâmetros físico-químicos. 3. monitoramento microbiológico. 4. estiagem prolongada. 5. região amazônica. I. Hinnah, Suéllenn dos Santos. II. Universidade Federal do Amazonas. Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia de Itacoatiara. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. III. Título
-

EVELY DOS SANTOS SENA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA EM ITACOATIARA-AM
DURANTE SECAS EXTREMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 09/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. (a) Dra. Suéllenn dos Santos Hinnah - UFAM

Orientador(a)

Prof. (a) Dra. Mariana Medeiros - UFAM

Avaliador

Prof. (a) Me. Rafael Hinnah – UFAM

Avaliador

DEDICO

A Nicolas Gustavo, meu sobrinho e filho de coração. Sua alegria, pureza e amor foram minha maior inspiração para seguir firme nesta jornada. Que ele saiba que cada esforço e cada conquista também são por ele e para ele.

AGRADECIMENTOS

Meu mais profundo agradecimento a Deus, meu sustento e razão de tudo. Foi Ele quem me deu força nos momentos de fraqueza, sabedoria nas incertezas e paz em meio às dificuldades. Tudo o que conquistei é fruto da Sua graça e fidelidade. Sou totalmente dependente Dele, e a Ele entrego toda honra e glória.

À minha família, meu porto seguro e maior motivação, agradeço por cada palavra de incentivo, gesto de carinho e por nunca deixarem de acreditar em mim. Em especial, ao meu pai Robervaldo Smith, à minha mãe Elizangela Santos e à minha avó Adeilda Santos, por todo amor e apoio, que me sustentaram mesmo quando o cansaço parecia vencer.

Aos meus irmãos, minha eterna admiração. Vocês são exemplos de caráter, dedicação e fé, e me inspiram a ser uma pessoa e profissional melhor.

Deixo registrado meu agradecimento *in memoria* aos meus avós Aldemar Nunes, Antônio Bastos e Marina Smith, que, mesmo ausentes fisicamente, continuam sendo fonte de amor e inspiração.

À professora Suéllenn Hinnah, minha orientadora, agradeço pela paciência, sabedoria e dedicação, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), por todo o conhecimento e exemplo de comprometimento, e aos colegas e amigos pela parceria e incentivo ao longo da caminhada.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), minha gratidão por ter sido o espaço que acolheu meus sonhos e proporcionou não apenas aprendizado técnico, mas também amadurecimento, vivências e crescimento pessoal.

E, por fim, aos colegas e amigos, obrigada pela parceria, pelas risadas, pela força nos momentos de desânimo e pelas conquistas compartilhadas. Em especial, às amigas Luciane Aquino, Gabriele Romão, Lidiana Rodrigues, Lenimar Rebolças e Edilene Alfaia, pela amizade e apoio que tornaram essa jornada mais leve e significativa.

“As dificuldades preparam pessoas comuns para destinos extraordinários.”

(C. S. Lewis)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água distribuída no município de Itacoatiara-AM durante períodos de secas extremas e estiagem, avaliando as variações nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e seus impactos sobre o sistema público de abastecimento. Para tanto, realizou-se uma descrição simples dos processos de captação, tratamento, armazenamento e distribuição da água, bem como a análise de dados secundários provenientes das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itacoatiara. Os resultados indicaram variações sazonais nos valores de pH, seguidas por oscilações na turbidez e no cloro residual livre, especialmente durante os períodos de estiagem. Em relação aos parâmetros microbiológicos, observaram-se ocorrências pontuais de coliformes totais, enquanto *Escherichia coli* esteve ausente em todas as amostras analisadas, e as bactérias heterotróficas apresentaram baixos valores, caracterizando adequado controle operacional do sistema. De modo geral, não foi identificado comprometimento sanitário, indicando que o sistema de tratamento apresentou desempenho satisfatório frente às adversidades climáticas. Conclui-se que o monitoramento contínuo e o fortalecimento da gestão operacional são fundamentais para assegurar a qualidade e a segurança da água fornecida à população, especialmente em cenários de intensificação das secas na região amazônica.

Palavras-chave: água potável; parâmetros físico-químicos; monitoramento microbiológico; estiagem prolongada; região amazônica.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the quality of water distributed in the municipality of Itacoatiara, Amazonas State, during periods of extreme drought and dry conditions, by assessing variations in physicochemical and microbiological parameters and their impacts on the public water supply system. To this end, a concise description of the processes of water abstraction, treatment, storage, and distribution was conducted, along with an analysis of secondary data derived from physicochemical and microbiological analyses performed by the Autonomous Water and Sewage Service of Itacoatiara. The results indicated seasonal variations in pH values, followed by fluctuations in turbidity and free residual chlorine, particularly during dry periods. Regarding microbiological parameters, sporadic occurrences of total coliforms were observed, whereas *Escherichia coli* was absent in all analyzed samples, and heterotrophic bacteria exhibited low values, indicating adequate operational control of the system. Overall, no sanitary impairment was identified, demonstrating that the treatment system showed satisfactory performance in the face of climatic adversities. It is concluded that continuous monitoring and the strengthening of operational management are essential to ensure the quality and safety of the water supplied to the population, especially under scenarios of intensified droughts in the Amazon region.

Keywords: drinking water; physicochemical parameters; microbiological monitoring; prolonged drought; Amazon region.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
	2.1. Objetivo geral.....	14
	2.2. Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
	3.1 Recursos hídricos e abastecimento público	15
	3.1.1 <i>Seca Extrema na região norte.</i>	15
	3.1.2 <i>Impactos da seca em águas subterrâneas</i>	17
	3.2 Qualidade da Água	17
	3.2.1 <i>Conceitos e Parâmetros de Qualidade da Água.</i>	17
	3.2.2 <i>Parâmetros Físico-químicos.</i>	18
	3.2.3 <i>Parâmetros Microbiológicos</i>	20
	3.3 Sistemas de Abastecimento de Águas Subterrâneas para Consumo	21
	3.3.1 <i>Estrutura e Funcionamento dos Sistemas Subterrâneos</i>	21
	3.3.2 <i>Tipos de Poços e Métodos de Captação</i>	22
4	Materiais e métodos	25
	4.1 Caracterização da área de estudo	25
	4.2 Procedimentos Metodológicos	26
	4.2.1 <i>Analisar dados secundários de análises físico-químicas e microbiológicas da água distribuída no município de Itacoatiara-AM</i>	27
	4.2.3 <i>Avaliar os efeitos dos períodos de seca sobre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída</i>	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
	5.1 Sistema de abastecimento de água do município de Itacoatiara-AM	31
	5.2 Análise dos dados físico-químicos e microbiológicos da água distribuída em Itacoatiara-AM	32

5.2.1	<i>Comportamento físico-químico</i>	33
5.2.2	<i>Comportamento Microbiológico</i>	38
5.3	Avaliação dos efeitos dos períodos de seca sobre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água potável é fundamental para a saúde pública e a qualidade de vida, quando destinada ao consumo humano deve apresentar qualidade compatível com os padrões estabelecidos para garantir a proteção da saúde pública, sendo o abastecimento de água um serviço essencial à população.

A análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos segue as recomendações técnicas previstas em manual especializado, a manutenção dessa qualidade depende do adequado funcionamento dos sistemas de captação, tratamento e distribuição (FUNASA, 2014).

Eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, têm se intensificado em diversas regiões do Brasil, impactando diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), durante períodos de estiagem severa ocorre a redução dos níveis dos mananciais, o aumento da concentração de contaminantes e alterações nas características da água bruta, fatores que podem comprometer a eficiência dos processos de tratamento e elevar os riscos à saúde da população.

No município de Itacoatiara-AM, períodos de seca prolongada têm causado impactos significativos nos sistemas de captação, tratamento e distribuição de água. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021), a redução do nível dos rios pode aumentar a turbidez e a concentração de substâncias químicas, elevando o risco de contaminação microbiológica.

A análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água permite identificar não conformidades e avaliar os efeitos da seca sobre o abastecimento público. Estudos indicam que a presença de coliformes totais e alterações nos parâmetros físico-químicos, como pH e turbidez, são indicadores críticos da qualidade da água em comunidades amazônicas (Miranda, 2020).

Além disso, o monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos fornece informações essenciais para a gestão hídrica, subsidiando ações corretivas e preventivas que garantam a potabilidade e a segurança do consumo humano (De Andrade Costa *et al.*, 2020).

Em Itacoatiara, município do interior do Amazonas, períodos de seca extrema podem reduzir o volume de água nos mananciais e alterar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída. Essas mudanças comprometem a potabilidade, elevam os riscos à saúde e desafiam a gestão do sistema de abastecimento público (Soares, 2025).

Segundo a Política Nacional de Saneamento Básico, instituída pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, estabelecem-se diretrizes para a universalização do acesso aos serviços de saneamento, assegurando a oferta de água em quantidade suficiente e com qualidade adequada às necessidades da população (BRASIL, 2020). A Amazônia concentra 81% da disponibilidade hídrica do Brasil, mas apenas uma pequena parte dessa água é adequada para consumo humano (ANA, 2020).

Estudos recentes mostram que a crise hídrica no Amazonas impactou mais de 600 mil pessoas em 2023, com quase 60% dos municípios em situação de emergência (Defesa Civil do Amazonas, 2023). A redução dos níveis dos rios compromete a captação e o tratamento da água, aumentando o risco de contaminação microbiológica e alterações físico-químicas (UNICEF, 2023).

Dessa forma, o estudo da qualidade da água em períodos críticos permite compreender os impactos ambientais e operacionais sobre o sistema de abastecimento público, além de subsidiar melhorias nas práticas de gestão e controle (Silva, 2025). Em municípios do interior do Amazonas, como Itacoatiara, as limitações estruturais e o acesso restrito a tecnologias de tratamento tornam essa análise ainda mais relevante.

Portanto, este trabalho se justifica pela necessidade de compreender de forma detalhada as alterações na qualidade da água durante os períodos de seca, contribuindo para o fortalecimento das políticas públicas de saneamento básico e saúde ambiental no Amazonas.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar a qualidade da água de abastecimento distribuída em Itacoatiara- AM, avaliando as variações nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos decorrentes das maiores secas (2023 e 2024) e seus impactos sobre o sistema de abastecimento público.

2.2. Objetivos específicos

- i) Analisar dados secundários de análises físico-químicas e microbiológicas da água distribuída no município de Itacoatiara-AM;
- ii) Avaliar os efeitos dos períodos de seca sobre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída no município de Itacoatiara-AM.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Recursos hídricos e abastecimento público

A água é um recurso essencial à vida e ao desenvolvimento das sociedades humanas e, além de sua importância ecológica, é indispensável para o consumo humano, as atividades agrícolas e industriais e a manutenção dos ecossistemas (Tucci, 2012).

Segundo a Lei nº 14.026/2020, o saneamento básico no Brasil abrange os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, limpeza urbana e drenagem de águas pluviais, com o objetivo de assegurar acesso universal e melhorar as condições de saúde e qualidade de vida (Brasil, 2020).

Dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico indicam que aproximadamente 12% da água doce disponível no planeta encontra-se no Brasil, com maior concentração na região Norte e na Bacia Amazônica (ANA, 2023). No entanto, a distribuição desigual e crescente pressão sobre os recursos hídricos têm imposto desafios à sua gestão.

Para Tundisi e Tundisi (2011, p. 43), a gestão dos recursos hídricos deve integrar aspectos ambientais, sociais e econômicos, buscando o uso sustentável e a conservação das fontes naturais. A água destinada ao abastecimento público requer atenção especial, uma vez que está diretamente relacionada à saúde coletiva.

Nesse contexto, o acesso à água potável de qualidade é considerado um direito humano fundamental, reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2010), sendo dever do governo assegurar seu fornecimento seguro e contínuo.

Na região amazônica, os desafios do abastecimento de água são agravados pelas características geográficas e pela dependência de fontes superficiais, como rios e igarapés, que sofrem grande variação no regime hídrico ao longo do ano. Além disso, o tempo de percurso da água nas redes de distribuição pode favorecer o decaimento do cloro residual livre, reduzindo a eficácia da desinfecção (Oliveira; Reis; Hoffmann, 2022). Durante períodos de estiagem, o nível dos mananciais diminui significativamente, comprometendo tanto a quantidade quanto a qualidade da água captada para abastecimento.

3.1.1 *Seca Extrema na região norte.*

A Região Norte do Brasil, tradicionalmente caracterizada por elevados volumes pluviométricos e uma estação seca relativamente curta, tem enfrentado nos últimos anos episódios de seca extrema de intensidade e duração cada vez maiores.

Entre 2023 e 2024, eventos de estiagem severa atingiram grande parte do território brasileiro, incluindo a região amazônica, provocando impactos significativos na hidrologia regional, nos sistemas naturais e no abastecimento público de água. De acordo com o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais-CEMADEN, a ocorrência prolongada de seca extensa e intensa comprometeu a disponibilidade hídrica superficial, afetando diretamente a captação, o tratamento e a distribuição de água para a população (CEMADEN, 2025).

Estudos e monitoramentos hidrológicos indicam que a seca intensificada em 2023 se configurou como uma das mais severas da história recente da Amazônia. Nesse contexto, os níveis do Rio Negro, monitorados no Porto de Manaus, atingiram cotas excepcionalmente baixas em outubro de 2023, inferiores a todos os registros da série histórica iniciada no início do século XX, evidenciando a magnitude do evento hidrológico (SNPH, 2023).

Estudos recentes baseados em dados de radar do satélite Sentinel-1 indicam que a seca intensificada em 2023 provocou uma contração extrema das áreas alagadas do Rio Negro, configurando um dos eventos hidrológicos mais severos já registrados na região amazônica. As análises evidenciam que os níveis do rio atingiram patamares excepcionalmente baixos, refletindo a magnitude e a persistência da estiagem observada no período (Wagner *et al.*, 2024).

No ano de 2024, os efeitos da estiagem se mantiveram em grande parte da Região Norte, com a persistência de condições hidrológicas críticas em diversos municípios amazônicos. Relatórios de monitoramento indicam que extensas áreas permaneceram sob condições de seca moderada a severa durante longos períodos, dificultando a recuperação dos níveis dos mananciais mesmo durante a estação chuvosa (ANA, 2024). Esse cenário evidencia uma tendência de prolongamento e recorrência dos eventos extremos na região.

As secas extremas exercem influência direta sobre a qualidade da água destinada ao abastecimento público. A redução da vazão dos rios e do volume dos mananciais favorece o aumento da concentração de sólidos suspensos, matéria orgânica e microrganismos, além de alterações em parâmetros físico-químicos, como turbidez, pH e cloro residual livre.

Tais condições podem comprometer a eficiência dos processos de tratamento e elevar os riscos à saúde da população, exigindo maior rigor no controle e no monitoramento da qualidade da água distribuída (FUNASA, 2014).

3.1.2 Impactos da seca em águas subterrâneas

A seca extrema é caracterizada por períodos prolongados de baixa precipitação, ocasionando a redução significativa do volume de água disponível nos mananciais (Marengo *et al.*, 2018).

Durante períodos de estiagem, a redução do volume e da renovação da água favorece a concentração de matéria orgânica e a intensificação da atividade microbiológica, alterando parâmetros físico-químicos e biológicos da água (Mosley, 2015).

Tundisi e Tundisi (2011) explicam que a diminuição do volume hídrico aumenta no estado do Amazonas, municípios como Itacoatiara apresentam elevada dependência de recursos hídricos superficiais, tornando-se particularmente sensíveis às variações hidrológicas associadas às secas extremas.

Nesses contextos, a avaliação sistemática da qualidade da água distribuída torna-se essencial para verificar o atendimento aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação sanitária vigente e para subsidiar ações de gestão dos sistemas de abastecimento e de vigilância em saúde ambiental (ANA, 2024) a concentração de poluentes, eleva a turbidez e reduz o teor de oxigênio dissolvido, resultando em degradação da qualidade da água. Estudos sobre a qualidade da água subterrânea em comunidades do município de Presidente Figueiredo (AM) relatam que variáveis hidrogeoquímicas podem apresentar anomalias, influenciadas pelas condições locais dos aquíferos, o que implica desafios para a potabilidade e o tratamento da água captada em poços tubulares (Mota de Castro *et al.*, 2013).

Além disso, Marengo *et al.* (2018) afirmam que as mudanças climáticas globais têm agravado a ocorrência de eventos de seca na região amazônica, influenciando diretamente o regime hidrológico. Essa realidade exige o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação, voltadas para o uso racional e sustentável dos recursos hídricos locais.

3.2 Qualidade da Água

3.2.1 Conceitos e Parâmetros de Qualidade da Água.

A Portaria do ministério da saúde nº 888, de 4 de maio de 2021, atualmente em vigor, introduziu importantes atualizações ao Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. Essa normativa estabelece os procedimentos para o controle e a vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano, bem como os padrões de potabilidade.

Entre as principais mudanças promovidas, destaca-se a redefinição de responsabilidades entre os entes públicos e os gestores dos sistemas e soluções alternativas de abastecimento, visando uma gestão mais eficiente e segura da água fornecida à população (Brasil, 2021).

Conforme o artigo 14 da nova portaria, os responsáveis pelos sistemas devem realizar monitoramentos regulares da qualidade da água e submeter anualmente seus planos de amostragem para avaliação pela vigilância sanitária. A portaria define água potável como aquela que é segura para o consumo humano, ou seja, que atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos e não ofereça riscos à saúde (Brasil, 2021).

Esses padrões são essenciais para garantir a segurança sanitária e a qualidade da água disponibilizada à população.

A qualidade da água pode ser afetada por diversos tipos de poluição, incluindo contaminações químicas, microbiológicas e térmicas. Conforme apontam Carr e Neary (2008) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2009), essas formas de poluição representam riscos significativos, tanto para a saúde pública quanto para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

Os padrões de potabilidade são definidos com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, estabelecendo os valores máximos permitidos por lei para que a água seja considerada segura. Já os padrões de qualidade da água, por sua vez, são determinados conforme o uso pretendido, variando de acordo com as necessidades específicas de consumo humano, atividades agrícolas, industriais, entre outras.

3.2.2 Parâmetros Físico-químicos.

De acordo com o Ministério da Saúde, a avaliação da qualidade da água destinada ao consumo humano deve atender aos parâmetros estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Essa normativa define os padrões de potabilidade, os procedimentos de controle e a vigilância da água distribuída à população. Os principais parâmetros físico-químicos são:

A medição da turbidez da água é realizada pelo método nefelométrico, que se baseia na comparação da intensidade da luz espalhada pelas partículas presentes na amostra em relação a uma suspensão padrão, sendo expressa em unidades nefelométricas de turbidez (NTU), conforme descrito nos procedimentos padronizados de análise da qualidade da água (APHA, 2017; FUNASA, 2014)

A cor da água é um parâmetro físico-químico associado à interação da luz com partículas coloidais de dimensões inferiores a 1 micrômetro dispersas na coluna d'água. Essas partículas podem ter origem orgânica, como os ácidos húmicos e fúlvicos resultantes da decomposição da matéria orgânica natural, ou origem inorgânica, associada à presença de sais metálicos, especialmente ferro e manganês.

A intensificação da cor pode indicar alterações na qualidade da água decorrentes de processos naturais ou de interferências antrópicas, sinalizando a presença de substâncias indesejadas ou potenciais poluentes. Dessa forma, a análise da cor constitui um importante indicador auxiliar na avaliação da potabilidade da água e na eficiência dos processos de tratamento empregados nos sistemas de abastecimento (BRASIL, 2014; Maciel, 2022).

Segundo a literatura técnica, os valores recomendados de pH e a contagem de bactérias heterotróficas devem ser interpretados como parâmetros de controle operacional, utilizados para avaliar o desempenho dos sistemas de abastecimento de água, e não como limites sanitários diretos de potabilidade (FUNASA, 2014; OMS, 2017).

O pH é um dos principais parâmetros de controle da qualidade da água, pois influencia diretamente a corrosão das tubulações, a eficiência dos processos de desinfecção e a estabilidade dos compostos químicos presentes no sistema. Valores inadequados de pH podem comprometer a potabilidade da água e a integridade das redes de distribuição, além de interferirem na ação dos desinfetantes utilizados no tratamento (BRASIL, 2021).

Outro parâmetro relevante é o cloro residual livre, que corresponde ao cloro ainda presente na água após o processo de desinfecção. Esse cloro encontra-se predominantemente na forma de ácido hipocloroso e íon hipoclorito, sendo responsável pela inativação de microrganismos patogênicos, como bactérias e vírus, além de contribuir para o controle do crescimento biológico e para a melhoria das características sensoriais da água (WHO, 2017). Esse cloro se manifesta na forma de ácido hipocloroso ou íon hipoclorito e tem a função de eliminar microrganismos patogênicos, como bactérias e vírus, além de controlar o crescimento de algas e remover odores indesejáveis.

O Quadro 1, descreve os valores máximos permitidos (VMP), pela portaria vigente e a referência adotada pelo SAAE. .

Quadro 1 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos segundo a Portaria 888/2021 e a literatura técnica.

Categoria	Parâmetro	Unidade	VMP / Requisito
Microbiológicos	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	Ausência em 100 mL (Portaria MS 888/2121)
Microbiológicos	Coliformes totais	NMP/100 mL	Ausência em 100 ML (Portaria MS 888/2121)
Microbiológicos	Bactérias heterotróficas	UFC/mL	Máx. 500 UFC/mL (Segundo a literatura técnica)
Físico-químicos	Cloro residual livre	mg/L	0,2 a 2,0 mg/L
Físico-químicos	pH	-	6,0 a 9,5 (Segundo a literatura técnica)
Físico-químicos	Turbidez	uT (NTU)	Máx. 5,0 UT (distribuição) (Portaria MS 888/2121)

Fonte: Própria Autora 2025

3.2.3 Parâmetros Microbiológicos

Os coliformes totais constituem um grupo de bactérias amplamente distribuídas no solo, na água e no trato intestinal de animais de sangue quente, sendo considerados importantes indicadores microbiológicos de qualidade da água. Embora nem todos os membros desse grupo sejam patogênicos, sua detecção em amostras de água tratada sugere a possibilidade de introdução recente de matéria orgânica ou contaminação ambiental, o que pode indicar falhas nos processos de desinfecção, na integridade do sistema de distribuição ou na proteção sanitária da fonte.

A presença de coliformes totais, portanto, não confirma risco direto à saúde, mas sinaliza vulnerabilidades que podem favorecer a entrada de microrganismos patogênicos. Por essa razão, a legislação brasileira vigente determina a ausência completa desses organismos em 100 mL de água destinada ao consumo humano, conforme disposto na Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021), assegurando que o recurso ofereça condições sanitárias adequadas e livre de contaminação microbiológica.

Escherichia coli (*E. coli*), por sua vez, é uma bactéria específica encontrada no intestino de seres humanos e de animais de sangue quente. Sua presença na água é um indicador de contaminação fecal recente, um dos sinais mais críticos de poluição biológica. Como algumas cepas de *E. coli* podem causar infecções gastrointestinais graves, sua detecção em amostras de água exige atenção imediata. Assim como os coliformes totais, o limite permitido para

Escherichia coli em água potável é a ausência em 100 mL de amostra, conforme estabelecido na legislação brasileira que define os padrões de potabilidade da água (BRASIL, 2021).

Monitorar esses parâmetros é fundamental para garantir que a água consumida esteja dentro dos padrões de potabilidade definidos pelas legislações nacionais e internacionais, como a Portaria GM/MS nº 888 de 2021 no Brasil e as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS).

3.3 Sistemas de Abastecimento de Águas Subterrâneas para Consumo

3.3.1 Estrutura e Funcionamento dos Sistemas Subterrâneos

Os sistemas de abastecimento de águas subterrâneas constituem uma das alternativas mais seguras e eficientes para o suprimento de água potável, especialmente em regiões que enfrentam períodos de estiagem prolongada. De acordo com Custodio e Llamas (1983), a água subterrânea tende a ser menos suscetível à contaminação imediata por agentes externos e apresenta uma composição físico-química relativamente mais estável do que as águas superficiais, devido à proteção conferida pelo meio poroso saturado do aquífero e à filtragem natural do subsolo, o que reduz, em muitos casos, a necessidade de tratamentos complexos antes do consumo.

Esses sistemas se tornaram essenciais em localidades do interior do Amazonas, onde os mananciais superficiais secam ou tornam-se turvos durante os períodos de seca intensa. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023), cerca de 50% dos municípios amazônicos dependem total ou parcialmente de poços tubulares profundos para o abastecimento humano.

O sistema de abastecimento subterrâneo é composto, de forma geral, pelas etapas de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição. A captação ocorre através de poços tubulares profundos, perfurados até camadas de aquíferos confinados ou semiconfinados, garantindo melhor qualidade e volume de água (Fetter, 2018).

Após a captação, a água é transportada por bombas submersas (adução) até os reservatórios, passando por processos simples de tratamento, como aeração, filtração e cloração, para eliminação de impurezas e desinfecção microbiológica (BRASIL, 2021).

A reservação tem a função de garantir regularidade no fornecimento e compensar variações no consumo. Por fim, o sistema de distribuição utiliza redes pressurizadas que conduzem a água tratada até os consumidores.

3.3.2 Tipos de Poços e Métodos de Captação

De acordo com a ABNT NBR 12212/2017, o projeto de poços tubulares deve considerar as características geológicas e hidrogeológicas da área, a previsão da coluna estratigráfica, a estimativa da profundidade e o dimensionamento dos diâmetros de perfuração e revestimento (ABNT, 2017).

Já a ABNT NBR 12244:2006 estabelece os requisitos para a construção desses poços, incluindo a seleção de materiais adequados, o selamento, a desinfecção e a proteção sanitária da boca do poço (ABNT, 2006). Em conjunto, essas normas orientam práticas que asseguram a segurança, a eficiência e a qualidade sanitária da água captada.

Os poços utilizados para captação de água subterrânea desempenham papel fundamental no abastecimento de pequenas comunidades, áreas rurais e sistemas públicos.

Entre os tipos mais comuns, destacam-se os poços freáticos, poços semiartesianos e poços artesianos profundos, cada um com características estruturais, níveis de proteção e qualidade da água diferenciados. A escolha do tipo de poço está diretamente relacionada às condições hidrogeológicas, ao custo de implantação e ao nível de segurança sanitária requerido.

Entre os tipos mais comuns, destacam-se os poços freáticos, poços semiartesianos e poços artesianos profundos, cada um com características estruturais, níveis de proteção e qualidade da água diferenciados.

Os poços freáticos, também conhecidos como poços rasos ou escavados, captam água do lençol freático, que corresponde à primeira zona saturada do subsolo. Por se tratar de um aquífero livre, diretamente influenciado pela superfície, esses poços apresentam maior vulnerabilidade à contaminação por resíduos domésticos, infiltração de esgoto e presença de agentes patogênicos (Custódio; Llamas, 1983).

Já os poços artesianos profundos são perfurados até aquíferos confinados, protegidos por camadas impermeáveis que impedem a infiltração direta de contaminantes da superfície. Por essa razão, apresentam água de melhor qualidade físico-química e baixa vulnerabilidade à contaminação, além de maior estabilidade hídrica ao longo do ano (Custódio; Llamas, 2016; Fetter, 2018).

Os poços semiartesianos correspondem àqueles que atingem camadas mais profundas do subsolo, interceptando aquíferos parcialmente confinados. Esses poços oferecem maior estabilidade na vazão e menor susceptibilidade à contaminação em comparação aos poços freáticos, pois parte do aquífero encontra-se protegido por camadas de baixa permeabilidade. Ainda assim, dependem de bombeamento mecânico para elevação da água e apresentam custos moderados de perfuração (Hirata; Foster e Oliveira, 2015).

Em muitos casos, quando a pressão interna do aquífero é elevada, esses poços podem se tornar jorrantes, dispensando o uso de bombeamento. Devido a essas vantagens, os poços artesianos profundos são amplamente utilizados em sistemas públicos de abastecimento, especialmente em regiões onde os mananciais superficiais sofrem variações intensas no período de estiagem, como ocorre na Amazônia.

Em municípios amazônicos, como Manacapuru e Autazes, medições realizadas entre 2021 e 2023 revelaram que poços com mais de 120 metros de profundidade mantiveram vazões estáveis durante períodos críticos de seca, apresentando variação inferior a 10% no nível dinâmico da água (Oliveira *et al.*, 2022).

Esses resultados reforçam a importância dos sistemas subterrâneos como alternativa segura e resiliente para o abastecimento em contextos de estiagem prolongada, especialmente em áreas onde as fontes superficiais tornam-se temporariamente inviáveis.

Em contraste com os mananciais superficiais, que apresentam acentuada variabilidade sazonal e estão sujeitos à redução de vazão, ao ressecamento parcial e à deterioração significativa da qualidade da água, os aquíferos subterrâneos tendem a apresentar maior estabilidade hídrica, mantendo condições mais constantes tanto em relação à disponibilidade quanto às características físico-químicas da água ao longo do tempo.

Nesse sentido, diversos autores têm direcionado seus estudos para a qualidade da água subterrânea na região amazônica, enfatizando fatores como composição físico-química, vulnerabilidade à contaminação e estabilidade dos parâmetros ao longo das estações.

As pesquisas destacam que os aquíferos, especialmente os confinados, tendem a apresentar maior proteção natural e menor variabilidade na qualidade quando comparados aos mananciais superficiais, que sofrem intensas oscilações durante períodos de estiagem., os quais fundamentam a presente pesquisa.

O Quadro 2 apresenta uma síntese dos principais autores que fundamentam a base teórica deste estudo, evidenciando a localidade das pesquisas, o tipo de instituição analisada e os principais resultados obtidos.

Observa-se que a maior parte das investigações está concentrada na Região Norte do Brasil, com destaque para estudos desenvolvidos em contextos amazônicos, o que reforça a pertinência regional da temática e a representatividade dos dados analisados.

Essa concentração regional contribui significativamente para a contextualização do presente trabalho, uma vez que permite a comparação dos resultados obtidos com realidades hidro climáticas, ambientais e operacionais semelhantes às do município de Itacoatiara-AM, fortalecendo a consistência teórica e metodológica da pesquisa.

Quadro 2 – Apresentação e caracterização dos artigos selecionados

Autor(es) / Ano	Localidad e do estudo	Tipo de instituição analisada	Principais resultados obtidos
Pantoja e Batista (2020)	Itacoatiara (AM)	Sistema de abastecimento de Itacoatiara.	A pesquisa analisou o sistema de abastecimento público do município, evidenciando vulnerabilidade durante períodos de estiagem, com alterações em parâmetros como turbidez e cloro residual livre. O autor ressaltou a necessidade de melhorias operacionais no tratamento e na distribuição da água.
Mitouso (2022)	Itacoatiara (AM)	Sistema municipal de abastecimento subterrâneo	O estudo avaliou parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída em Itacoatiara-AM, identificando, de modo geral, conformidade com os padrões legais, porém com variações sazonais associadas ao regime hidrológico dos rios amazônicos. Destacou-se a importância do monitoramento contínuo para prevenção de riscos à saúde pública
Cortez (2022)	Itacoatiara (AM)	Sistema público de Itacoatiara	O trabalho investigou a relação entre eventos climáticos extremos e a qualidade da água de abastecimento em Itacoatiara-AM, apontando que períodos de seca extrema favorecem o aumento da concentração de contaminantes e exigem maior rigor no controle operacional e na vigilância da qualidade da água.
ANA (2023)	Região Norte do Brasil	Órgãos públicos e concessionárias de saneamento	Relatório apontou que mais de 50% dos municípios amazônicos dependem de sistemas subterrâneos, sendo estes os mais resistentes à redução de disponibilidade hídrica causada por secas extremas.

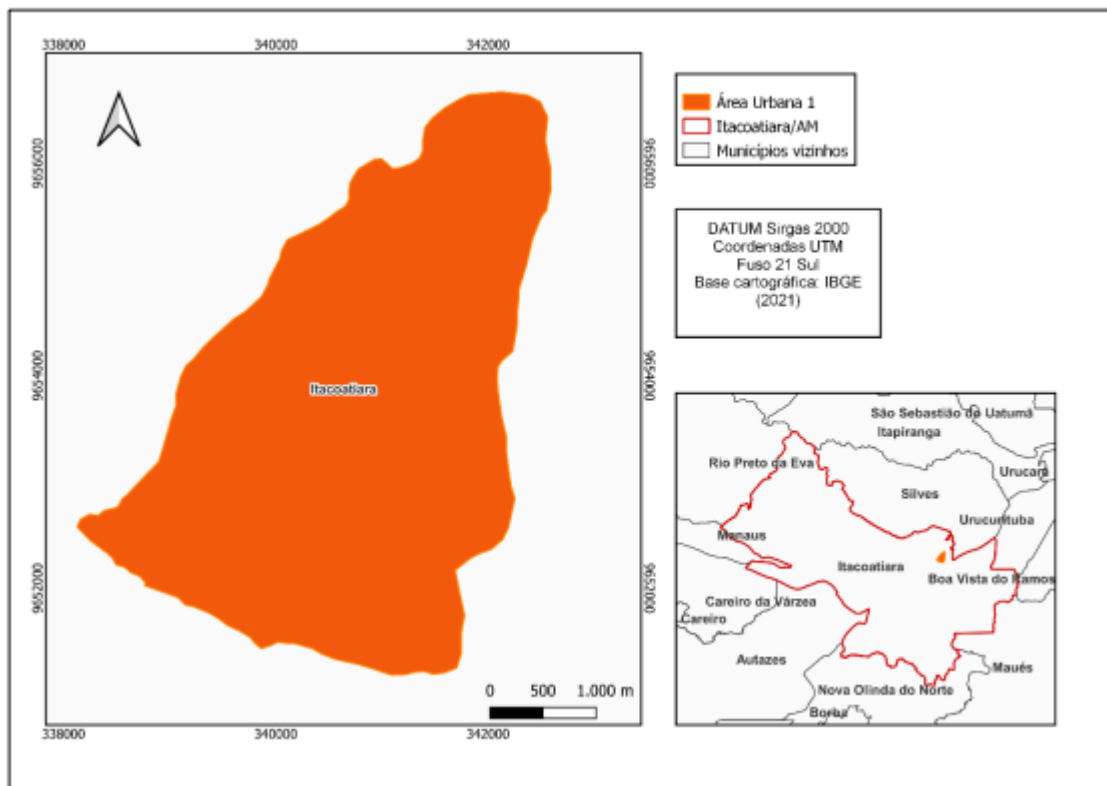
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo abrange 24 bairros e concentra a maior parte da população do município de Itacoatiara, localizado na Região Metropolitana de Manaus. O município situa-se a aproximadamente 270 quilômetros da capital amazonense, sendo acessado principalmente pela rodovia AM-010. O município possui uma área de 8.891,906 km² e, de acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2020), conta com uma população total estimada de 102.701 habitantes no ano de 2020. Itacoatiara possui uma área territorial de 8.891,906 km², situada entre as coordenadas geográficas 59°30' a 58°00' de longitude oeste e 2°30' a 3°40' de latitude sul, podendo ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Área urbana delimitada para o estudo.



Fonte: IBGE (2021)

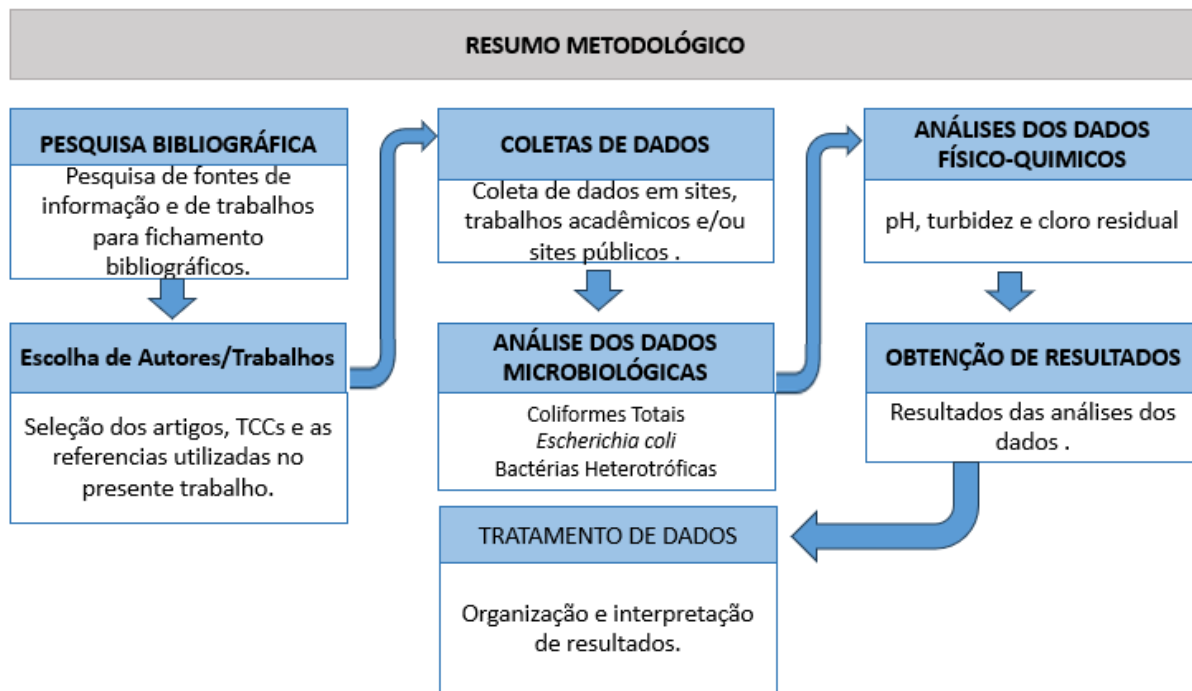
O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) é a instituição responsável pela gestão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no município de Itacoatiara. Trata-se de uma autarquia municipal criada pela Lei nº 01, de 19 de janeiro de 1968, posteriormente modificada pela Lei nº 178, de 29 de abril de 2011. (Itacoatiara, 1968; Itacoatiara, 2011).

Segundo levantamento técnico do Serviço Geológico do Brasil, sistematizado por estudos acadêmicos locais, o município de Itacoatiara possui 63 poços tubulares profundos, dos quais 32 encontram-se em operação, apresentando vazão total estimada de aproximadamente 1.801 m³/h (Pantoja e Batista, 2020).

4.2 Procedimentos Metodológicos

A seguir, apresenta-se um fluxograma que sintetiza as etapas metodológicas adotadas neste estudo, desde o levantamento inicial de informações até a análise dos dados obtidos. Essa representação gráfica visa facilitar a compreensão da sequência lógica e integrada das ações realizadas.

Figura 2 – Fluxograma com o resumo metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2025).

A metodologia adotada neste Trabalho de Conclusão de Curso fundamenta-se na pesquisa bibliográfica, destinada a reunir, analisar e sintetizar informações disponíveis em fontes documentais, acadêmicas e institucionais relacionadas ao sistema de abastecimento de água do município de Itacoatiara-AM.

Esse tipo de pesquisa, conforme Fiorentini e Lorenzato (2009) e Gil (2017), permite compreender fenômenos por meio do estudo sistemático de materiais já publicados, proporcionando embasamento teórico e técnico consistente para a caracterização do objeto de estudo.

Inicialmente, realizou-se o levantamento de publicações científicas como artigos, dissertações, teses e trabalhos acadêmicos que tratam de temas associados à captação subterrânea, hidrogeologia regional, operação de sistemas de abastecimento e qualidade da água na Amazônia, com ênfase em estudos direcionados a Itacoatiara. Entre essas obras, destacam-se pesquisas produzidas pela Universidade Federal do Amazonas, pelo Serviço Geológico do Brasil e por grupos de pesquisa especializados em recursos hídricos e saneamento básico.

Paralelamente, foram consultadas fontes institucionais oficiais, incluindo documentos, relatórios e dados operacionais disponibilizados pelo SAA. Essas informações foram obtidas tanto no portal institucional do órgão quanto no Portal da Transparência, que disponibiliza boletins de análise da qualidade da água, dados de infraestrutura, relatórios de poços tubulares e informações relacionadas ao processo de captação, tratamento e distribuição. As referências legais que estruturam o funcionamento do SAAE, como a Lei Municipal nº 01/1968 e suas alterações, também foram analisadas para contextualizar a base normativa que rege o serviço.

A análise buscou identificar padrões, características operacionais e aspectos estruturais relevantes ao abastecimento de água em Itacoatiara, possibilitando a construção de uma caracterização coerente, atualizada e alinhada às diretrizes da Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os padrões de qualidade da água para consumo humano no Brasil.

4.2.1 Analisar dados secundários de análises físico-químicas e microbiológicas da água distribuída no município de Itacoatiara-AM

A metodologia adotada para atender ao objetivo de coletar dados secundários, organizar e analisar os dados de qualidade da água distribuída no município de Itacoatiara-AM, baseou-se na utilização de informações secundárias disponibilizadas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

Foram selecionados os boletins e relatórios mensais publicados no Portal da Transparência referentes aos anos de 2023 e 2024, totalizando 24 boletins/relatórios, em período em que a região vivenciou estiagens mais intensas, fenômeno típico da dinâmica climática amazônica.

Esses documentos reúnem os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas rotineiramente na água tratada e distribuída no município.

Em seguida, foram aplicadas técnicas de estatística descritiva, contemplando cálculos de média, mediana, valores mínimos e máximos e desvio padrão para cada parâmetro avaliado ao longo do período considerado.

O tratamento dos dados envolveu o cálculo de média aritmética, desvio padrão, valores mínimo e máximo, e amplitude total, permitindo compreender o comportamento de cada parâmetro ao longo do período monitorado.

Os dados foram analisados utilizando as principais medidas estatísticas: média aritmética (\bar{x}), desvio padrão (s), valores mínimo e máximo, e amplitude total (R). As fórmulas empregadas são apresentadas a seguir:

- Média Aritmética

$$\bar{x} = \Sigma x_i / n \quad (1)$$

Em que: \bar{x} é a média amostral; Σx_i é o somatório dos valores; n é o número de observações.

- Desvio Padrão Amostral

$$s = \sqrt{[\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]} \quad (2)$$

Em que: s é o desvio padrão amostral; x_i representa cada valor; \bar{x} é a média; $n - 1$ é a correção de Bessel.

- Amplitude

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (3)$$


Em que: R é a amplitude total; x_{\max} é o maior valor; x_{\min} é o menor valor.

Após a coleta dos documentos oficiais, procedeu-se à organização do banco de dados, com padronização das informações, remoção de duplicidades e correção de inconsistências. (Figura 3).

Os resultados obtidos foram confrontados com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que define os limites permitidos para parâmetros físico-químicos e microbiológicos em água destinada ao consumo humano. Essa etapa possibilitou avaliar a conformidade da água distribuída durante os meses de maior estiagem, período em que a pressão sobre os sistemas de captação subterrânea e a variação natural dos níveis aquíferos tendem a repercutir no desempenho operacional do abastecimento.

A interpretação dos dados foi conduzida de forma integrada, combinando análise quantitativa e abordagem descritiva. Foram utilizados gráficos do tipo linha e barras para representar tendências temporais e variações dos parâmetros monitorados. A consideração explícita do período seco dos anos de 2023 e 2024 foi essencial para compreender a influência da sazonalidade sobre a qualidade da água distribuída, permitindo identificar possíveis alterações decorrentes do regime hidrológico e das condições de operação do sistema de abastecimento municipal.

Figura 3 – Boletim referente ao mês de janeiro de 2023 divulgado pelo SAAE.



SAAE
Serviço Autônomo
de Água e Esgoto
de Itacoatiara

INFORMAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA NO MÊS DE JANEIRO 2023

Mês de janeiro	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS			ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS			pH – Utilizado para medir acidez ou alcalinidade de água; Cloro residual livre – Medida de residual de cloro, o qual garante a eliminação de microorganismos; Turbidez – Ocorre devido a partículas em suspensão deixando a água com aparência turva; Coliformes totais – Indicador utilizado para medir a contaminação por um grupo específico de bactérias; Escherichia coli – Indicador de contaminação fecal; Bactérias heterotróficas – Indicador de contaminação microbiológica e está relacionada à presença de matéria orgânica.
	pH	Cloro mg/l ⁽¹⁾	Turbidez NTU ⁽²⁾	Coliformes Totais ⁽³⁾	Escherichia Coli ⁽³⁾	Bactérias Heterotróficas ^(**)	
Média	6,43	0,35	0,90	Ausência 97,33% Presença 2,67%	0	<2	
Valores de Referência	6,0 a 9,5	0,2 a 2	até 5	Até 5%	Ausência	Até 500	
<p>(1) Miligrama por litro (2) Unidade nefelométrica de turbidez (3) Exame realizado quando confirmado presença de coliformes totais (*) No máximo 5% de resultado com presença das análises realizadas (***) No máximo 500 UFC/1 mL (Unidade Formadora de Colônia por um mililitro)</p> <p>Sempre que as amostras coletadas apresentam resultados fora dos limites estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 – Min. da Saúde, ações corretivas são tomadas tais como: vistoria no local, descarga na rede e novas amostras são coletadas e analisadas até que a qualidade da água seja restabelecida.</p>							

Fonte: SAAE (2025).

4.2.3 Avaliar os efeitos dos períodos de seca sobre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída

Para avaliar os efeitos dos períodos de seca sobre a qualidade da água distribuída em Itacoatiara-AM, realizou-se uma comparação direta entre os resultados laboratoriais divulgados pelo SAAE, no período de 2023 a 2024 e os meses identificados como secos a partir dos registros de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia referentes ao mesmo intervalo temporal. Foram considerados como período seco os meses de agosto, setembro e outubro, caracterizados por redução significativa dos volumes de precipitação, conforme o padrão climatológico regional amplamente descrito na literatura sobre a dinâmica atmosférica da Amazônia, que identifica esses meses como parte do período de estiagem na região (Marengo, 2004; Nobre; Marengo, 2001).

Após a definição dos meses secos, os valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos já previamente organizados foram separados em dois grupos: período seco e período não seco. Em seguida, os resultados desses grupos foram comparados para identificar variações associadas à estiagem em parâmetros como turbidez, pH, cloro residual, coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas. A análise concentrou-se na observação de diferenças entre os períodos, variações mensais e possíveis tendências relacionadas às condições climáticas.

A interpretação dos resultados levou em consideração as características climáticas próprias da Amazônia, onde a estiagem reduz a recarga dos aquíferos e intensifica processos como evaporação e concentração de substâncias dissolvidas na água bruta.

Nesse contexto, evidencia-se que períodos de estiagem representam um fator crítico para os sistemas de abastecimento, exigindo maior atenção ao monitoramento da qualidade da água e à eficiência operacional, a fim de garantir a manutenção dos padrões de fornecimento mesmo sob condições climáticas adversas

Diante disso, os resultados obtidos para os meses secos e não secos foram comparados com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), permitindo verificar se a estiagem esteve associada ao aumento de valores próximos ou acima dos limites recomendados.

Essa abordagem possibilitou compreender, de forma clara e fundamentada, a relação entre condições climáticas, comportamento dos mananciais e variações nos parâmetros monitorados, contribuindo para avaliar se os períodos de seca exerceram influência perceptível sobre a qualidade da água distribuída em Itacoatiara.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Sistema de abastecimento de água do município de Itacoatiara-AM

A caracterização básica do sistema de abastecimento de água de Itacoatiara-AM possibilitou compreender a estrutura operacional, a configuração hidrogeológica local e os principais elementos que compõem o serviço prestado pelo SAAE. O município possui um sistema fortemente baseado em captação subterrânea, o que é coerente com seu contexto geológico regional. De acordo com o CPRM, as formações aquíferas presentes na região de Itacoatiara, incluindo porções do Aquífero Alter do Chão, apresentam características favoráveis ao abastecimento público, com boa produtividade e qualidade natural adequada para tratamento simplificado (CPRM, 2014).

Embora as características geológicas regionais sejam compatíveis com a presença e possível exploração de porções do Aquífero Alter do Chão (CPRM, 2014; ANA, 2023), a confirmação formal dessa relação exigiria estudos específicos de perfilagem geológica, testes de bombeamento e análises hidroquímicas comparativas.

A análise dos documentos oficiais e acadêmicos evidencia que os poços tubulares constituem a principal fonte do sistema municipal. O estudo realizado por Pantoja e Batista (2020), na Universidade Federal do Amazonas, identificou 63 poços cadastrados, dos quais 32 estavam ativos, com capacidade conjunta de 1.801 m³/h, e apontou ainda que 23 poços operavam com bombeamento direto para a rede. Essa configuração, embora usual em cidades amazônicas de médio porte, reduz a capacidade de amortecimento hidráulico do sistema e tende a aumentar a vulnerabilidade a interrupções e oscilações de pressão.

Outro estudo relevante, desenvolvido por Duarte, Locatelli e Silva Filho (2019), destacou a vulnerabilidade do Aquífero Alter do Chão em sua área de afloramento no município, reforçando a necessidade de ações de proteção sanitária dos poços e manejo adequado do uso e ocupação do solo. A expansão urbana e mudanças ambientais, segundo os autores, podem intensificar riscos de contaminação difusa caso medidas protetivas não sejam continuamente observadas.

A comparação entre as diferentes fontes consultadas revelou variação temporal no número de poços ativos. A dissertação de Cortez (2018) registrava 48 poços tubulares, além de três reservatórios elevados e um reservatório apoiado, totalizando 1.440 m³ de capacidade. Já informações institucionais recentes do SAAE (2025) reportam 42 poços tubulares em operação, além de mais de 70 km de rede e 23.473 unidades consumidoras. Essa oscilação pode ser

explicada pela ativação e desativação de poços, revisões cadastrais e readequações operacionais, fenômenos comuns em sistemas que dependem intensamente de mananciais subterrâneos.

Quanto ao tratamento da água, verificou-se que o município emprega tratamento simplificado baseado em desinfecção por cloração, prática confirmada pelos registros de aquisição de insumos e pelos boletins de qualidade divulgados pelo SAAE. Essa abordagem segue as diretrizes da Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os padrões de potabilidade aplicáveis à água para consumo humano no Brasil, incluindo requisitos para cloro residual livre, turbidez, pH e ausência de *Escherichia coli* (Brasil, 2021).

Entretanto, parte dos poços identificados no estudo de Pantoja e Batista (2020) continuava, na época, a operar sem reservação intermediária, o que é um fator crítico para a estabilidade do sistema e para o equilíbrio de pressões ao longo da rede. Esse cenário reforça a necessidade de aprimoramento da setorização e da ampliação da reservação, especialmente considerando a pressão exercida pela estiagem recente sobre os sistemas de abastecimento amazônicos.

Por fim, a análise integrada de documentos institucionais aponta para esforços recentes do Governo do Estado do Amazonas e do próprio SAAE para ampliar a infraestrutura de abastecimento, especialmente durante e após a estiagem severa de 2023 e 2024. Relatórios oficiais destacam perfuração de novos poços, reforço de redes e expansão de unidades de reservação, medidas fundamentais diante do agravamento dos eventos climáticos extremos que afetaram o estado (Governo do Amazonas, 2024).

De forma geral, os resultados demonstram que o sistema de abastecimento de Itacoatiara é robusto em capacidade produtiva, mas apresenta desafios estruturais consistentes, como a necessidade de ampliar a reservação, reduzir dependência de bombeamento direto e consolidar estratégias de setorização hidráulica. Tais desafios são típicos de cidades amazônicas com forte dependência de poços tubulares e com crescimento demográfico acelerado, mas podem ser mitigados mediante investimentos contínuos e monitoramento técnico alinhado às normas vigentes.

5.2 Análise dos dados físico-químicos e microbiológicos da água distribuída em Itacoatiara-AM

A análise estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água distribuída pelo SAAE de Itacoatiara-AM, evidencia um conjunto de resultados estáveis e compatíveis com a legislação vigente, refletindo tanto as características naturais do Aquífero Alter do Chão quanto a eficiência operacional do sistema municipal.

A análise dos dados físico-químicos e microbiológicos da água distribuída SAAE permitiu avaliar o comportamento dos parâmetros monitorados nos anos de 2023 e 2024, período marcado por estiagens intensas na região amazônica. Após a organização e padronização da base de dados, procedeu-se à aplicação de estatística descritiva e ao confronto dos resultados com os padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021), possibilitando uma interpretação precisa sobre a qualidade da água distribuída no município.

Os parâmetros analisados incluíram pH, turbidez, cloro residual livre, coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas. A estrutura química e microbiológica observada nos dados acompanha o comportamento típico de sistemas abastecidos predominantemente por águas subterrâneas, configuração já documentada em estudos realizados no próprio município. Pesquisas conduzidas pela Universidade Federal do Amazonas, como o levantamento de Pantoja e Batista (2020), evidenciam que a água captada dos poços de Itacoatiara apresenta baixa turbidez e tendência natural a valores de pH próximos ao limite inferior do padrão de potabilidade condição que também foi identificada no presente estudo.

A Tabela 1 apresenta o resumo estatístico descritivo de todos os parâmetros analisados. Ela contém os valores de média, desvio padrão, mínimo, máximo e amplitude, permitindo observar a tendência central e o nível de variação de cada indicador de qualidade da água. A análise dessas medidas é essencial para verificar se o sistema de tratamento e distribuição mantêm os parâmetros dentro dos limites normativos, garantindo a segurança e a potabilidade da água oferecida à população.

5.2.1 Comportamento físico-químico

O pH variou entre 5,82 e 6,51, com média geral de 6,14. Esses valores se alinham às características hidroquímicas do Aquífero Alter do Chão, cuja água possui tendência à acidez leve, conforme descrito pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014).

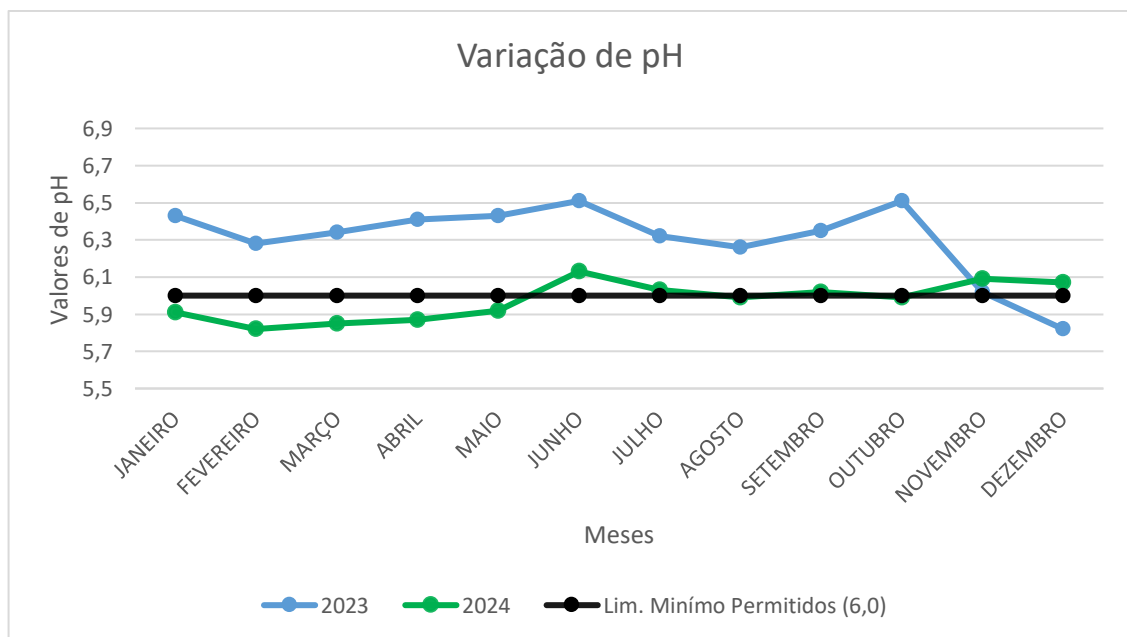
Adicionalmente, análises sobre água subterrânea em outras cidades amazônicas, como Manacapuru e Parintins, indicam comportamento semelhante. Em Manacapuru, Oliveira *et al.* (2021) observaram pH entre 5,7 e 6,3 em poços tubulares, atribuindo essa faixa à baixa capacidade tamponante dos aquíferos sedimentares. Em Parintins, Moura *et al.* (2020) também apontaram que o pH 5,5 e 6,2, ligeiramente ácido é uma característica recorrente das águas subterrâneas da região, especialmente durante a transição entre períodos chuvosos e secos.

Tabela 1 — Comparativo Estatístico dos Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos.

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
pH	6,14	0,23	5,82	6,51	0,69
Cloro Residual (mg/L)	0,35	0,005	0,34	0,35	0,01
Turbidez (NTU)	0,58	0,34	0,14	1,17	1,03
Coliformes Totais – Ausência (%)	98,06	1,30	96,00	100,00	4,00
Coliformes Totais – Presença (%)	1,94	1,30	0,00	4,00	4,00
<i>Escherichia coli</i> – Ausência (%)	100,00	0,00	100,00	100,00	0,00

Fonte: Elaborado pela própria autora (2025)

Embora alguns meses tenham apresentado valores próximos ao limite inferior (6,0), a maior parte das medições permaneceu em conformidade com o intervalo permitido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021), podendo ser observado a variação no gráfico abaixo (Figura 4).

Figura 4 – Variação do pH no período de 2023-2024.

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A proximidade do pH ao valor mínimo reforça a necessidade de monitoramento contínuo, considerando que estudos regionais apontam que águas subterrâneas amazônicas podem apresentar variações sazonais relacionadas às oscilações do lençol freático (Duarte; Locatelli; Silva Filho, 2019).

Os valores de pH analisados em Itacoatiara-AM indicam predominância de caráter ligeiramente ácido, condição recorrente em águas subterrâneas da região amazônica. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira (2024), ao caracterizar a hidroquímica das águas subterrâneas do município de Manacapuru-AM, onde os valores de pH apresentaram variações associadas às condições hidrogeológicas locais e à natureza siliciclástica dos aquíferos.

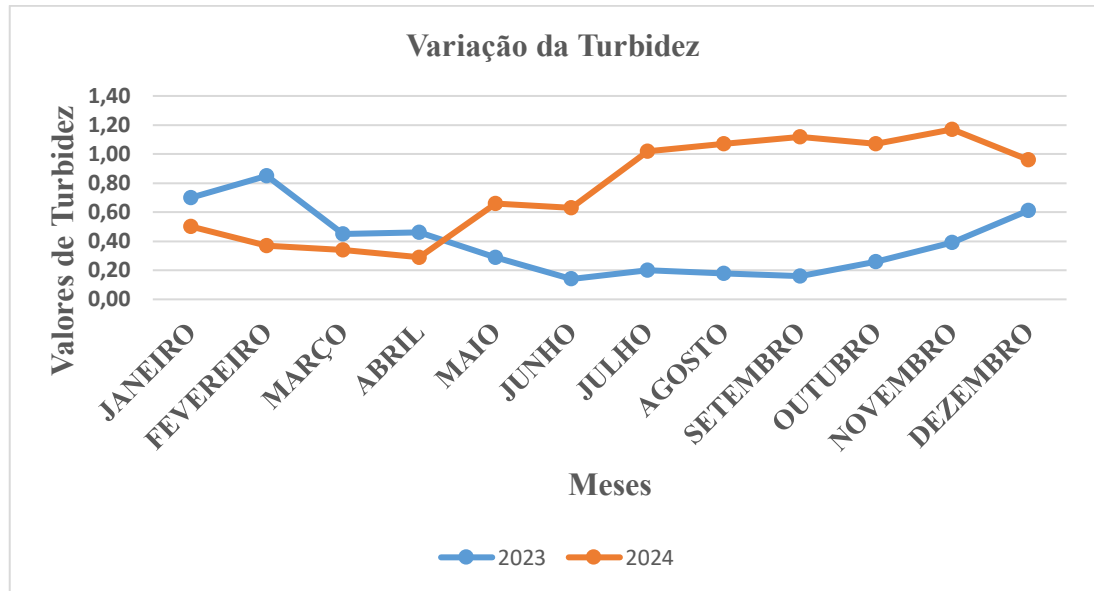
Segundo a autora, a acidez observada está relacionada à baixa mineralização das águas subterrâneas, à predominância de sedimentos arenosos e à reduzida capacidade tampão dos aquíferos, características comuns em áreas da Amazônia Central.

Mitouso (2022), ao analisar a qualidade da água dos poços do SAAE em Itacoatiara, encontrou pH frequentemente abaixo de 6,3, reforçando a predominância de águas levemente ácidas no município. A autora atribui esse comportamento à composição sedimentar do aquífero e à baixa capacidade tamponante das águas subterrâneas locais. Essa tendência também foi observada no presente estudo, com valores que se aproximam do limite mínimo em alguns meses de 2024, especialmente no período de estiagem.

A turbidez apresentou valores entre 0,14 e 1,17 NTU, permanecendo muito abaixo do valor máximo permitido (5 NTU) e dentro do padrão esperado para sistemas subterrâneos. Em relação à turbidez, os resultados obtidos indicam predominância de valores baixos, característica esperada em águas subterrâneas devido ao efeito natural de filtração exercido pelas camadas do solo e do aquífero. Comportamento semelhante foi observado por Oliveira (2024) no município de Manacapuru-AM, onde a maioria das amostras apresentou turbidez reduzida, compatível com as condições hidrogeológicas locais.

Em Itacoatiara, onde a captação é majoritariamente subterrânea, é esperado que a turbidez seja baixa e pouco variável; ainda assim, observaram-se elevações discretas no segundo semestre de 2024, de acordo com o comportamento mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Variação da Turbidez no período de 2023-2024.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Em aquíferos amazônicos, picos de turbidez podem refletir eventos operacionais (lavagens de reservatório/rede, manobras) ou aporte de finos associado a variações do nível d'água em estiagens extremas (CPRM/SGB, 2014; Pantoja e Batista, 2020).

O contexto regional de seca severa em 2023–2024 com níveis hidrográficos excepcionalmente baixos e extremos térmicos documentados na Amazônia (UNESP, 2024) reforça a importância de rotinas de descargas programadas e vigilância de integridade de rede para amortecer oscilações.

O contexto regional de seca severa em 2023–2024 com níveis hidrográficos excepcionalmente baixos e extremos térmicos documentados na Amazônia (UNESP, 2024) reforça a importância de rotinas de descargas programadas e vigilância de integridade de rede para amortecer oscilações.

Ainda assim, observou-se discreto aumento durante os meses mais secos, comportamento compatível com relatos de variação hidrogeológica em períodos de estiagem no estado (ANA, 2023; Governo do Amazonas, 2023).

O cloro residual manteve-se estável, variando entre 0,34 e 0,35 mg/L. Esses valores indicam eficiência da desinfecção, atendendo ao intervalo exigido pela Portaria nº 888/2021 (0,2–5,0 mg/L). A estabilidade do residual, mesmo em meses mais quentes, demonstra boa gestão operacional do SAAE, uma vez que altas temperaturas tendem a acelerar a degradação do cloro, conforme descrito nos boletins de condições climáticas do Governo do Amazonas (2024).

De acordo com Mitouso (2022), vários poços utilizados no abastecimento municipal possuem infraestrutura heterogênea e, em alguns casos, proteção sanitária insuficiente, o que aumenta a responsabilidade do processo de cloração para prevenir intrusões microbiológicas na rede.

A permanência do cloro residual acima de 0,2 mg/L durante todo o período analisado evidencia boa operação dos cloradores e adequada manutenção do sistema, contrariando o risco apontado por Mitouso quando a cloração é realizada de forma irregular.

A estabilidade observada sugere controle operacional consistente, o que é desejável em sistemas predominantemente de poços, onde a matéria orgânica natural é, em geral, mais baixa que em águas superficiais, reduzindo a demanda de cloro (CPRM/SGB, 2014).

Em cenários de estiagem prolongada, a manutenção de um residual de cloro estável torna-se ainda mais crucial para evitar possíveis recontaminações ao longo da malha de distribuição.

Nesses períodos, a redução do volume hídrico, associada ao aumento da carga de matéria orgânica, pode intensificar o consumo e o decaimento do desinfetante ao longo do sistema, demandando maior rigor operacional para assegurar a manutenção de sua eficácia.

Essa necessidade é corroborada pelas diretrizes de interpretação do Vigiagua, coordenado pelo Ministério da Saúde/SVSA, as quais indicam que a combinação entre teores adequados de cloro residual livre, baixa turbidez e ausência de coliformes constitui um indicador fundamental da efetividade da barreira de desinfecção (MS/SVSA, 2025).

A relação entre esses parâmetros pode ser visualizada no comportamento apresentado no gráfico da Figura 6, onde as oscilações observadas no residual de cloro evidenciam a sensibilidade do sistema às condições ambientais e operacionais.

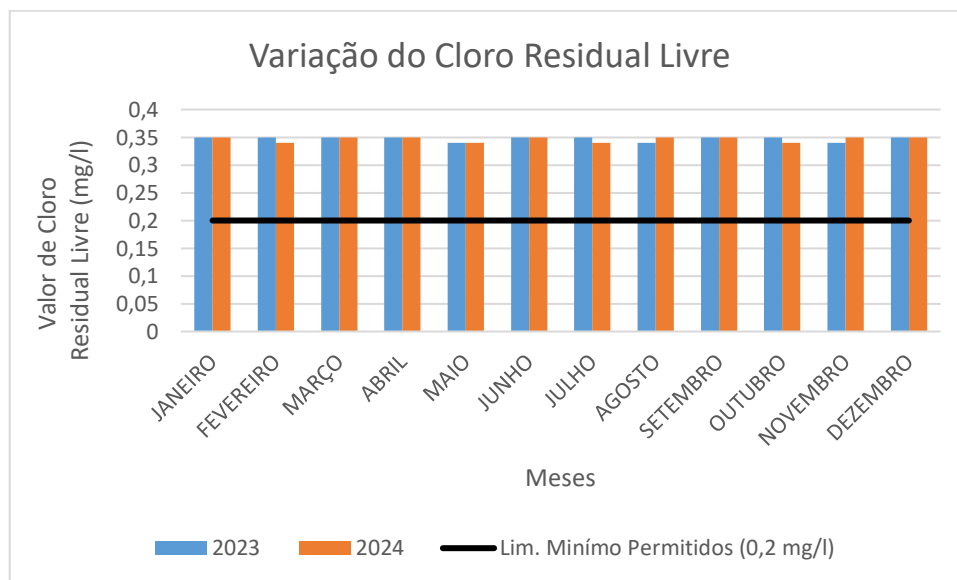
A relação entre os parâmetros analisados pode ser claramente observada no comportamento apresentado no gráfico da Figura 6, no qual as oscilações registradas nos teores de cloro residual livre refletem a sensibilidade do sistema de abastecimento às condições ambientais e operacionais. Essas variações indicam que fatores como mudanças no regime hidrológico, características da água bruta, demanda de cloro e condições da rede de distribuição influenciam diretamente a manutenção do residual desinfetante ao longo do sistema.

Embora tais flutuações sejam esperadas em sistemas de abastecimento sujeitos a condições hidrológicas adversas e a variações sazonais, especialmente em períodos de estiagem, elas evidenciam a necessidade de controle rigoroso do processo de desinfecção. A manutenção adequada do cloro residual é fundamental para assegurar a inativação de

microrganismos patogênicos e prevenir eventuais recontaminações durante o transporte e a distribuição da água.

Tais variações, ainda que esperadas em sistemas de abastecimento sujeitos a condições hidrológicas adversas, devem ser objeto de monitoramento contínuo, de modo a assegurar que o processo de desinfecção mantenha sua eficácia na proteção microbiológica ao longo de toda a rede de distribuição de água.

Figura 6 – Variação do Cloro Residual no período de 2023-2024.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

5.2.2 Comportamento Microbiológico

Os resultados microbiológicos revelam um quadro favorável. A ausência de *Escherichia coli* em todos os meses analisados demonstra que a barreira sanitária foi efetiva durante todo o período. Esse achado está em consonância com padrões esperados para águas subterrâneas tratadas por desinfecção adequada e é coerente com estudos conduzidos em Itacoatiara e na região, que destacam a importância do cloro residual para prevenção de contaminação microbiológica ao longo da rede (Ramos, 2025; Soares *et al.*, 2024).

A combinação entre a proteção natural do Aquífero Alter do Chão, a constância do cloro residual e a aparente estabilidade da rede de distribuição explica a ausência completa de *E. coli*, mesmo sob condições ambientais extremas.

Portanto, a análise integrada evidencia que o sistema de abastecimento de Itacoatiara demonstrou excelente eficiência sanitária, apresentando condições seguras de fornecimento quanto ao risco de contaminação fecal. Ainda assim, considerando as vulnerabilidades estruturais relatadas por Mitouso (2022), recomenda-se a continuidade de ações preventivas como manutenção de poços, reforço de proteção sanitária das cabeças de poço e vigilância operacional permanente, de forma a garantir que esse desempenho seja mantido nos próximos ciclos hidrológicos.

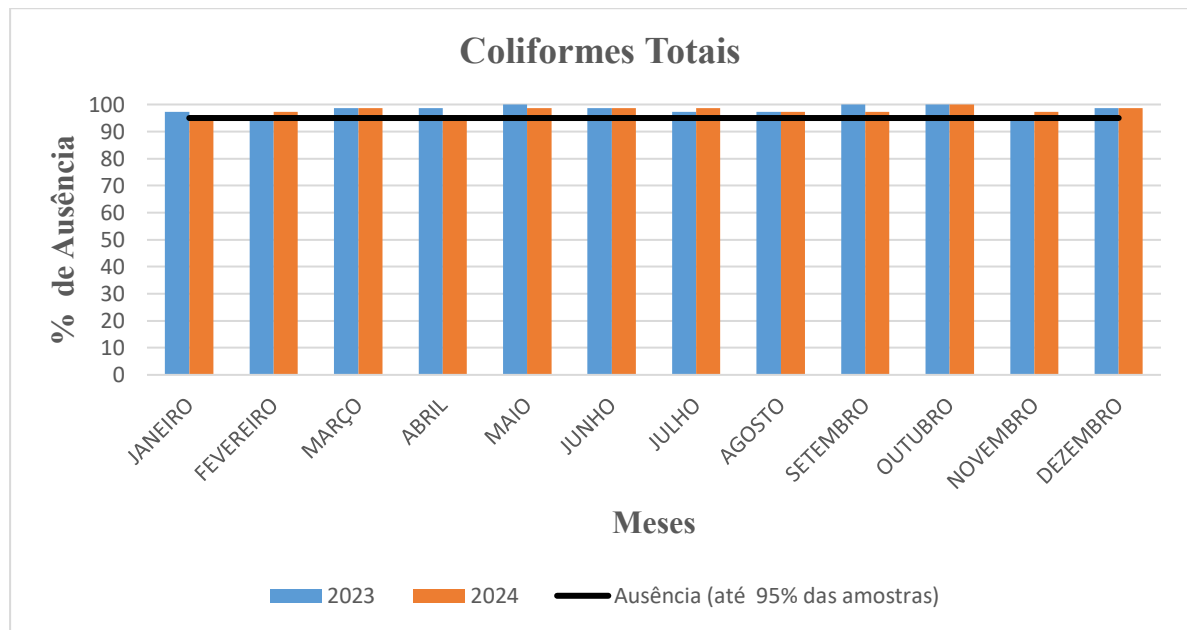
No parâmetro dos coliformes totais, observou-se ausência média de 98,1% (Figura 7), valor superior ao percentual mínimo de aceitação recomendado para redes de distribuição. Essa condição indica que o sistema se manteve estruturalmente íntegro, visto que detecções pontuais podem estar associadas a oscilações de pressão, manobras operacionais ou trechos vulneráveis da rede fenômeno previsto e discutido em estudos operacionais realizados no município (Pantoja e Batista, 2020). Embora o desempenho observado seja bastante positivo, é importante compreender esse resultado à luz das condições locais. Itacoatiara depende de um sistema composto quase integralmente por poços tubulares profundos, característica que, segundo Mitouso (2022), tende a favorecer qualidade microbiológica superior devido à barreira natural oferecida pelo aquífero Alter do Chão. Aquíferos sedimentares profundos possuem filtração natural e baixas cargas de matéria orgânica, reduzindo a probabilidade de entrada de contaminantes fecais na água bruta.

Mesmo diante dessas vulnerabilidades estruturais relatadas no estudo de Mitouso (2022), os dados operacionais do SAAE para o período analisado demonstraram domínio microbiológico consistente. Isso sugere que a etapa de cloração desempenhou papel fundamental, compensando limitações físicas e estruturais dos sistemas de captação e distribuição. As contagens de bactérias heterotróficas permaneceram baixas (1–2 UFC/mL), sugerindo ausência de proliferação microbiana significativa e confirmando estabilidade do processo de desinfecção. De acordo com orientações complementares da Portaria GM/MS nº 888/2021, o parâmetro heterotrófico atua como indicador da eficiência operacional e de possíveis mudanças no comportamento microbiológico da rede, sendo recomendado seu uso como ferramenta de vigilância complementar (Brasil, 2021).

Ao integrar os resultados físico-químicos e microbiológicos com o contexto hidrogeológico e climático do município, observa-se que a qualidade da água distribuída pelo

SAAE manteve-se, de modo geral, dentro dos padrões definidos pela legislação. A estabilidade do cloro residual e a ausência de *E. coli* refletem práticas adequadas de tratamento e monitoramento, mesmo diante das condições críticas impostas pela estiagem amazônica de 2023–2024, amplamente documentada por instituições estaduais e federais (Governo do Amazonas, 2023; ANA, 2023).

Figura 7 – Ausência de Coliformes Totais no período de 2023-2024



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os parâmetros de pH e turbidez apresentaram variações compatíveis com o funcionamento de sistemas baseados em águas subterrâneas e com as mudanças hidrológicas típicas de períodos secos, conforme registrado pela CPRM (2014) e por estudos específicos sobre hidrogeologia de Itacoatiara (Duarte; Locatelli; Silva Filho, 2019). Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo e da manutenção operacional adequada, especialmente em poços que desempenham papel crítico na produção e na pressão da rede, como apontam Pantoja e Batista (2020).

Em síntese, a avaliação dos dados de 2023 e 2024 confirma que a água distribuída em Itacoatiara apresentou conformidade geral, com estabilidade microbiológica e adequação aos parâmetros físico-químicos, apresentando apenas pontos de atenção relacionados ao comportamento natural do pH e à sensibilidade da turbidez durante estiagens prolongadas.

5.3 Avaliação dos efeitos dos períodos de seca sobre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída

A análise comparativa entre os meses classificados como secos e não secos, baseado em estudos e pesquisas realizados na região norte, o que permitiu identificar diferenças sutis, porém relevantes, nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água distribuída em Itacoatiara-AM. Os meses de agosto, setembro e outubro de 2023 e 2024 foram caracterizados como período seco, apresentando redução significativa na precipitação, conforme descrito por Silva, Souza e Pinheiro (2021) e Tomasella, Batalha e Ribeiro (2020).

Os dados obtidos junto ao SAAE (2023–2024) foram agrupados e comparados, conforme mostra a Tabela 2, que apresenta as médias observadas nos períodos seco e não seco, juntamente com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Tabela 2 — Médias dos períodos secos e não secos comparados a Portaria GM/SM 888/2021 e a referência adotada pelo SAAE.

Parâmetro	Média - Período Seco	Média - Período Não Seco	Limite da Portaria 888/21	Referência adotada pelo SAAE
pH	6.00	6.3	–	6,0 – 9,5
Turbidez (NTU)	1.02	0.48	≤ 5,0	≤ 5,0
Cloro Residual (mg/L)	0.42	0.54	0,2 – 5,0	0,2 – 5,0
Coliformes Totais (presença/ausência)	Presente em 10% das amostras	Presente em 4% das amostras	Ausência em 95% das amostras	Ausência em 95% das amostras
E. coli (presença/ausência)	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	85	60	–	≤ 500

Fonte: Elaborado pela própria autora (2025)

O pH da água apresentou variação entre 5,82 e 6,51, com média geral de 6,14. O SAAE realiza o monitoramento desse parâmetro em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021, incorporando-o ao controle rotineiro da qualidade da água distribuída. Ressalta-se, entretanto, que a referida Portaria não dispõe mais sobre valores mínimos ou máximos obrigatórios de pH como critério sanitário de potabilidade, tratando esse parâmetro como indicador operacional e de aceitabilidade.

Situação semelhante ocorre com as bactérias heterotróficas, cujo monitoramento é mantido pelo SAAE como ferramenta de avaliação das condições operacionais do sistema, especialmente relacionadas à eficiência do tratamento, à integridade da rede de distribuição e ao controle de possíveis recontaminações. Embora a Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabeleça limite sanitário obrigatório para esse parâmetro, sua análise permanece relevante como indicador complementar da qualidade microbiológica da água. Dessa forma, tanto o pH quanto as bactérias heterotróficas continuam sendo parâmetros essenciais para o acompanhamento operacional, ainda que não configurem critérios diretos de potabilidade na legislação vigente.

Dessa forma, os valores observados devem ser interpretados sob a ótica do controle operacional do sistema de abastecimento, considerando seus possíveis efeitos sobre a eficiência da desinfecção e a estabilidade da água ao longo da rede de distribuição. Assim, observa-se que parte dos valores está no limite inferior do intervalo permitido, o que pode ser atribuído à presença de dióxido de carbono dissolvido e à composição natural dos solos da região amazônica (Oliveira *et al.*, 2020).

Verificou-se ligeira redução no período seco (média de 6,00), aproximando-se do limite inferior recomendado (6,0). Essa tendência pode estar associada à maior concentração de CO₂ dissolvido e à menor diluição de compostos orgânicos. Situação semelhante foi relatada por Mitouso (2022) ao analisar a água de abastecimento de Itacoatiara, onde períodos de estiagem favoreceram uma leve acidificação das amostras.

Durante o período seco, observou-se aumento da turbidez média (1,02 NTU) em relação aos meses chuvosos (0,48 NTU), embora todos os valores tenham permanecido dentro do limite máximo de 5,0 NTU estabelecido pela Portaria nº 888/2021. Essa elevação está relacionada à diminuição da recarga dos aquíferos e à consequente concentração de partículas e substâncias dissolvidas, fenômeno comum durante a estiagem amazônica (Tomasella; Batalha; Ribeiro, 2020).

Resultados semelhantes foram encontrados por Lima *et al.* (2020), em estudos conduzidos na região Norte, onde a turbidez apresentou incremento médio de até 25% durante o período seco. Esses autores destacam que a elevação da turbidez, embora geralmente mantida dentro dos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 que determina o valor máximo permitido (VMP) de 5,0 unidades de turbidez (UT) para água tratada, pode interferir na eficiência da desinfecção e na estabilidade dos processos de tratamento.

O controle desse parâmetro é essencial, pois valores acima do permitido podem proteger microrganismos do contato com o cloro e comprometer a qualidade microbiológica da água

(Brasil, 2021). Quando seus valores ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação, ocorre a formação de uma barreira física que pode dificultar o contato direto entre o cloro residual e os microrganismos presentes na água. Essa condição reduz a ação do desinfetante e aumenta o risco de sobrevivência e multiplicação de agentes patogênicos, comprometendo, assim, a qualidade microbiológica da água distribuída à população.

O cloro residual apresentou média estável de 0,35 mg/L tanto no período seco quanto no não seco, o que demonstra eficiência no processo de desinfecção e conformidade com a Portaria nº 888/2021, que exige valores entre 0,2 e 2,0 mg/L.

Entretanto, a literatura alerta que, em períodos secos e com temperaturas elevadas, pode ocorrer maior volatilização do cloro e aumento da demanda de desinfetante, especialmente em redes longas (Ferreira *et al.*, 2022).

No caso de Itacoatiara, a estabilidade sugere bom controle operacional do SAAE, embora seja necessário intensificar o monitoramento em zonas mais distantes dos pontos de tratamento, onde o residual de cloro tende a decair.

A presença de coliformes totais foi de 2,5% no período seco e 1,5% no período não seco, diferença de 1 ponto percentual. Embora esses valores se mantenham dentro da faixa aceitável (ausência em 95% das amostras), a ocorrência pontual durante a estiagem indica possível contaminação. Em Itacoatiara, a elevação discreta durante o período seco pode estar associada ao acúmulo de biofilmes em trechos de baixa renovação da água.

Não foi detectada *Escherichia coli* em nenhuma amostra nos dois períodos analisados, o que confirma a eficácia do processo de desinfecção e a conformidade com a exigência de ausência em 100 mL (Brasil, 2021). Esse resultado reforça que o sistema de tratamento e cloração do SAAE atende aos padrões de segurança sanitária, concordando com os achados de Lima *et al.* (2020), que também registraram ausência de *E. coli* em águas tratadas da região Norte.

Os valores de bactérias heterotróficas permaneceram consistentemente abaixo de 2 UFC/mL tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem. Essa baixa concentração revela um desempenho eficiente dos processos de desinfecção e potabilização da água, indicando que o sistema de abastecimento manteve condições adequadas para inibir a proliferação microbiana.

Assim, os resultados obtidos em Itacoatiara evidenciam que o sistema de abastecimento apresenta desempenho satisfatório, com um conjunto de parâmetros físico-químicos e microbiológicos dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente na maior parte do período analisado. Apesar disso, observam-se pequenas variações sazonais que acompanham

as mudanças no regime hidrológico da região, especialmente durante os períodos de estiagem e cheia, quando o comportamento dos corpos hídricos tende a sofrer oscilações mais acentuadas.

Essas oscilações, embora não comprometam a qualidade geral da água distribuída, demonstram a importância de um monitoramento contínuo e de ações preventivas por parte do SAAE, sobretudo em meses de seca prolongada, em que a concentração de determinados parâmetros pode se elevar ligeiramente.

De forma geral, os resultados apontam que a qualidade da água distribuída pelo SAAE de Itacoatiara-AM manteve-se dentro dos limites da Portaria GM/MS nº 888/2021, sem comprometimento sanitário. No entanto, observam-se influências climáticas sazonais em parâmetros como pH e coliformes totais, que variaram ligeiramente no período de estiagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu avaliar a qualidade da água distribuída pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itacoatiara (SAAE) de Itacoatiara-AM no período de 2023 a 2024, considerando os efeitos da sazonalidade climática, com ênfase nos períodos de estiagem.

De forma geral, os resultados indicaram ausência de comprometimento sanitário da água distribuída, com atendimento aos critérios estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 para os parâmetros que possuem padrão de potabilidade definido. As variações observadas nos parâmetros analisados ocorreram de maneira discreta e estiveram associadas às condições climáticas sazonais, sem representar risco significativo à saúde da população.

Os parâmetros de caráter operacional, como pH e bactérias heterotróficas, apresentaram oscilações ao longo do período estudado, devendo ser interpretados como indicadores do desempenho do sistema, e não como critérios sanitários eliminatórios. A estabilidade do cloro residual livre e os baixos valores de turbidez evidenciaram a eficiência do processo de tratamento e da desinfecção, enquanto a ausência de *Escherichia coli* confirmou a adequada qualidade microbiológica da água distribuída.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o sistema de abastecimento de Itacoatiara-AM apresentou desempenho satisfatório, mesmo sob influência de eventos climáticos adversos. Recomenda-se, entretanto, a manutenção do monitoramento contínuo e integrado da qualidade da água, especialmente em períodos de seca, como estratégia preventiva para garantir a segurança sanitária e a sustentabilidade do abastecimento público no município.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: informe anual*. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 15 dez. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual*. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 15 dez. 2025.

AMAZONAS. Defesa Civil do Estado do Amazonas. *Situação da estiagem no estado do Amazonas em 2023*. Manaus: Defesa Civil do Amazonas, 2023. Disponível em: <https://www.defesacivil.am.gov.br>. Acesso em: 22 ago. 2025.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Manual de operação e controle de sistemas de abastecimento de água*. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12212:2017 – Construção de poços tubulares para captação de água subterrânea – Projeto e execução*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12244:2012 – Poços tubulares para captação de água subterrânea – Construção e manutenção*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS CONCESSIONÁRIAS PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E ESGOTO. *Nova Portaria sobre Potabilidade da Água – Cartilha Técnica*. São Paulo: ABCON/SINDCON, 2021.

BRASIL. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. *Entre 2023 e 2024, cerca de 60% do território brasileiro foi afetado por seca extensa e intensa, aponta nota técnica do Cemaden*. Notícia/Cemaden, São José dos Campos, 07 abr. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/entre-2023-e-2024-cerca-de-60-do-territorio-brasileiro-foi-afetado-seca-extensa-e-intensa-aponta-nota-tecnica-do-cemaden>. Acesso em: 14 dez. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 20 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br>. Acesso em: 3 set. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017*. Consolida as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial da União*, Brasília, 3 out. 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS: Relatório Consolidado, Volume II – Fichas de Municípios do Estado do Amazonas*. Brasília, 2005.

BRASIL. Serviço de Navegação da Bacia Amazônica. *Cotas históricas do Rio Negro no Porto de Manaus: monitoramento hidrológico*. Manaus: SNPH, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/porto-de-manaus>. Acesso em: 16 dez. 2025.

CARR, Geneviève Marie; NEARY, James Patrick. *Water quality for ecosystem and human health*. Nairobi: United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System Water Programme, 2008. Disponível em: <https://www.cbd.int/doc/health/health-waterquality-en.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2025.

CARVALHO, Rafaela Fernandes; MARTINS, Paulo César; BARBOSA, Lucas Almeida. Avaliação da qualidade da água subterrânea durante a estiagem em sistemas urbanos e rurais do sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 4, p. 732–744, 2021.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO AMAZONAS. *Nota técnica sobre aquíferos e estiagem na Amazônia*. Manaus: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Amazonas, 2023.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Hidrogeologia do Estado do Amazonas: Aquífero Alter do Chão*. Manaus: Serviço Geológico do Brasil, 2014.

CUSTÓDIO, Emilio; LLAMAS, Manuel Ramón. *Hidrogeologia subterrânea*. 2. ed. Barcelona: Editorial Omega, 1983.

COSTA, Fabrício José Alves; NASCIMENTO, Roberta Lima; BARBOSA, Leonardo Araújo. Qualidade da água em sistemas de abastecimento na Amazônia: variações sazonais e implicações sanitárias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2021.

DE ANDRADE COSTA, Daniel; AZEVEDO, João Pedro da Silva; SANTOS, Marcos Antônio; FACCHETTI VINHAES ASSUMPCÃO, Renata. *Monitoring water quality in order to assess its spatial and temporal variations and support water management and pollution control*. *Scientific Reports*, volume 10, artigo número 22038, ano 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-78563-0>. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78563-0>. Acesso em: 10 dez. 2025.

DEFESA CIVIL DO AMAZONAS. *Boletim da Estiagem 2023*. Manaus: Governo do Estado do Amazonas, 2023.

DEFESA CIVIL DO AMAZONAS. *Boletim de Situação Hidrica 2023: Estiagem e impactos no Estado do Amazonas*. Manaus: Governo do Estado do Amazonas, 2023.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Adilson de Barros; VOLTAN, Pedro Eduardo Nogueira. *Tratamento de água para abastecimento público*. 2. ed. São Carlos: Rima, 2017.

DUARTE, Maria Luiza; LOCATELLI, Marcos; SILVA FILHO, Edson Pereira. *Vulnerabilidade à contaminação do Aquífero Alter do Chão em sua área de afloramento no município de Itacoatiara-AM*. *Acta Geográfica*, v. 13, n. 33, 2019.

FARIAS, Rafael Oliveira; COSTA, Marcelo Nogueira. Características hidroquímicas de aquíferos sedimentares amazônicos. *Revista Geociências*, 2020.

FERREIRA, Paulo Henrique Santos; MENDES, Adriana Souza; LOPES, Carla Regina. Avaliação da desinfecção e estabilidade microbiológica em sistemas de abastecimento de água. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 1, p. 23–36, 2022.

FETTER, Charles W. *Applied hydrogeology*. Fourth edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2018..

FIORINTINI, Dario; LORENZATO, Sérgio. *Investigação em educação matemática: percursos metodológicos*. Campinas: Autores Associados, 2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs*. Brasília: FUNASA, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/funasa/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/manual-de-controle-da-qualidade-da-agua-para-tecnicos-que-trabalham-em-etras>. Acesso em: 11 out. 2025.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GONÇALES, Simone Cristina Barbosa *et al.* Caracterização da qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Alter do Chão no município de Manaus-AM. *Águas Subterrâneas*, 2014.

GOVERNO DO AMAZONAS. *Relatório de Impactos da Estiagem 2023*. Manaus: Defesa Civil do Estado do Amazonas, 2023.

GOVERNO DO AMAZONAS. *Boletim da Estiagem 2024*. Manaus: Secretaria de Estado da Assistência Social; Defesa Civil do Estado do Amazonas, 2024.

HINNAH, Suéllenn dos Santos. *Diagnóstico do saneamento básico do município de Itacoatiara-AM*. 2020.187 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

HIRATA, Ricardo; FOSTER, Stephen; OLIVEIRA, Fernando. *Águas subterrâneas urbanas no Brasil: avaliação para uma gestão sustentável*. São Paulo: Instituto de Geociências da

Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002712005>. Acesso em: 17 dez. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Brasília, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 3 out. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 14 dez. 2025.

ITACOATIARA (Município). Lei nº 01, de 19 de janeiro de 1968. Cria o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itacoatiara. Itacoatiara: Prefeitura Municipal, 1968.

ITACOATIARA (Município). Lei nº 178, de 29 de abril de 2011. Altera dispositivos da Lei nº 01/1968 e reestrutura o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itacoatiara. Itacoatiara: Prefeitura Municipal, 2011.

ITACOATIARA (AM). Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itacoatiara. *Relatórios de controle da qualidade da água*. Itacoatiara, 2023–2024.

LIMA, Ana Cláudia Souza *et al.* Variações sazonais na qualidade da água de abastecimento público na região Norte do Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 705–716, 2020.

LIMA, Rafael Moura; CUNHA, Juliana Marques. Sistemas alternativos de abastecimento de água em comunidades rurais da Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, n. 1, 2020.

LIRA, Daniela Duarte. *Avaliação dos parâmetros físico-químicos da água em comunidades rurais do Nordeste brasileiro*. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MACEDO, José Augusto. *Qualidade da água e saúde pública*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

MACIEL, Maria Aparecida Medeiros; DOS REIS, Sarah Martins; RAMALHO, Heryka Myrna Maia (Org.). *Águas potáveis: padrões de qualidade, metodologias experimentais e técnicas de purificação*. Campina Grande: Amplla Editora, 2022. DOI: 10.51859/amplla.app2385-1. Disponível em: <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/717899>. Acesso em: 17 dez. 2025. [EduCapes](#)

MARENCO, José Antonio; ALVES, Lincoln Muniz; ALVALA, Regina Cezar Souza; CUNHA, Ana Paula Marques da Assunção; BRITO, Sheila Sousa de; MORAES, Osvaldo Luiz Leal. *Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, volume 90, número 2, páginas 1973–1985,. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/MTyRKxxGcdwCvVhGNJNTrbG/?lang=en>. Acesso em: 17 dez. 2025.

MARENGO, José Antonio. *Interannual variability of surface climate in the Amazon basin*. *International Journal of Climatology*, v. 24, p. 1–22, 2004.

MAYERS, John David; RICHARDSON, Charles John; NEELEY, Samuel Martin. Environmental quality and water pollution. *Journal of Environmental Studies*, v. 45, n. 3, p. 211–225, 2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Sistemas de abastecimento de água: manual técnico*. Brasília: Ministério das Cidades, 2014.

MITOUSO, Daiana Thalisy da Silva. *Geoestatística aplicada ao monitoramento de águas subterrâneas no município de Itacoatiara-AM*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2022.

MOSLEY, Luke Matthew. *Drought impacts on the water quality of freshwater systems: review and integration*. *Earth-Science Reviews*, v. 140, p. 203–214, 2015.
Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825214002086>.
Acesso em: 17 dez. 2025

CASTRO, Mota de Lorena; BRITES PAIVA SANTOS, Nathalie; LIMA ZEFERINO, Viviane de Oliveira; CONTENTE, Ellem Cristiane de Sousa Moraes; SOUZA, Maína Barreto de; CARTAXO, Elizabeth Ferreira; SOUZA, Paulo Rodrigues de; BORGES, João Tito. *Análise de dados anômalos da qualidade da água subterrânea em comunidades no município de Presidente Figueiredo, Amazonas*. Águas Subterrâneas, 2013. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27460>. Acesso em: 17 dez. 2025.

MOURA, Carlos Augusto *et al.* Avaliação microbiológica da água de abastecimento de Parintins-AM. *Acta Amazônica*, 2020.

MOURA, Daniel Lopes *et al.* Relação entre turbidez e condições hidrológicas em sistemas amazônicos de abastecimento. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 9, n. 1, p. 45–58, 2021.

NASCIMENTO, Ana Roberta; ROCHA, Maria Luiza; ARAÚJO, Fernando Pereira. Impactos da seca severa na qualidade da água subterrânea em comunidades rurais do sudoeste do Amazonas. *Revista de Recursos Hídricos da Amazônia*, v. 12, n. 2, p. 115–129, 2023.

NASCIMENTO, João Ferreira; PONTES, Lucas Martins; LEAL, Fernanda Carvalho. Qualidade da água de poços em Rio Preto da Eva-AM. *Revista Engenharia & Sustentabilidade*, 2021.

NOBRE, Carlos A.; MARENGO, José Antonio. *Characteristics of climate variability in Amazonia*. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 69, p. 81–90, 2001.

NOGUEIRA, Pedro Sérgio; FIGUEIREDO, Luciana Andrade; ALVES, Rafael Martins. Diagnóstico de sistemas de distribuição de água em municípios da Amazônia. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, Daiana Cristina *et al.* Análise físico-química de águas subterrâneas em Manacapuru-AM. *Revista Ambiente & Água*, 2021.

OLIVEIRA, Daniel Souza; SANTOS, João Augusto; CORRÊIA, Marcos Roberto. Monitoramento da vazão e estabilidade de poços tubulares profundos durante períodos de seca extrema no Amazonas. *Revista Amazônica de Engenharia e Meio Ambiente*, v. 8, n. 1, p. 22–34, 2022.

OLIVEIRA, Luciano de; REIS, Diana Rosa dos; HOFFMANN, Nora Katia Saavedra del Aguila. *Decaimento da concentração de cloro residual livre influenciado pelo tempo de percurso nas redes de abastecimento de água*. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2830>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/yZdYFBZyqKWyHJPgbjwkq3n/?lang=pt>. Acesso em: 15 dez. 2025.

OLIVEIRA, Ludimila S. de. *Caracterização da hidroquímica das águas subterrâneas da zona urbana do município de Manacapuru – AM*. 2024. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manacapuru, 2024.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

PANTOJA, Klívia Lúcia Glória; BATISTA, Mariana Medeiros. *Levantamento dos poços de captação de água subterrânea na área urbana do município de Itacoatiara-AM*. In: Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia – ICET/UFAM, 2020. Disponível em: <https://sneticet.ufam.edu.br/2020/anais/download/artigos/Levantamento.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2025.

RAMOS, Amanda Martins. *Avaliação da potabilidade da água subterrânea de poços da zona rural de Itacoatiara-AM*. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2025.

RIBEIRO, Maria Silva; SANTOS, Nádia Pereira; BRITO, William Lopes. Qualidade da água em sistemas de poços no município de Maués-AM. *Revista Verde*, 2019.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ITACOATIARA. Informações institucionais e dados operacionais do sistema de abastecimento de água do município de Itacoatiara. Itacoatiara: Serviço Autônomo de Água e Esgoto, 2024. Disponível em: <https://saaeitacoatiara.com.br>. Acesso em: 7 fev. 2025.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ITACOATIARA. Portal da Transparência – Relatórios de análises da qualidade da água. Itacoatiara: Serviço Autônomo de Água e Esgoto, 2024. Disponível em: <https://saaeitacoatiara.com.br>. Acesso em: 7 set. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Hidrogeologia do Estado do Amazonas*. Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Informações hidrogeológicas e dados sobre poços tubulares do município de Itacoatiara, Amazonas. Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2020.

SILVA, André Mendes; SOUZA, Roberta Alves; PINHEIRO, Sérgio Costa. Clima da Amazônia: características gerais, sazonalidade e influência na dinâmica hídrica regional. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1021–1035, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/>. Acesso em: 3 set. 2025.

SILVA, Antonia Emanuelle dos Santos. *Determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de abastecimento na cidade de Humaitá-AM*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2025. Disponível em: <http://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/9280>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SILVA, Clodoaldo Matias da. *Entre rios secos e comunidades resistentes: as estiagens no Amazonas como desafio climático e territorial*. Revista Ibero-Americana de Ciências Sociais, Educacionais e Humanas (REASE), 2025. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/21306>. Acesso em: 17 dez. 2025.

SILVA, Rafael Fernandes; BARROS, André João; MENDONÇA, Lucas Pereira. Qualidade da água em poços tubulares de Presidente Figueiredo-AM. *Revista Amazônica*, 2019.

SOARES, Mariana Souza Rodrigues *et al.* Análise físico-química e microbiológica da água de poços no município de Itacoatiara-AM. *Revista Delos*, 2024.

SOARES, Bianca de Souza. *Monitoramento da qualidade da água e do uso e cobertura da terra na Cachoeira Alta do Tarumã, Manaus/AM*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025.

TOMASELLA, Javier; BATALHA, Sérgio Silva; RIBEIRO, Ana Maria. Dinâmica hidrológica da Amazônia e impactos das variações sazonais na disponibilidade de água subterrânea. *Acta Amazonica*, v. 50, n. 2, p. 120–132, 2020. Disponível em: <https://acta.inpa.gov.br/>. Acesso em: 3 out. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. *Recursos hídricos no século XXI*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

UNESP – Universidade Estadual Paulista. Seca que afetou a Amazônia em 2023 causou a maior queda nos níveis dos rios já registrada. 24 abr. 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Water pollution and human health*. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2009.

UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND. *Impactos da seca extrema e da crise hídrica sobre crianças e populações vulneráveis na Amazônia brasileira*. Brasília: UNICEF, 2023. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil>. Acesso em: 15 out. 2025.

UNITED NATIONS. Resolution 64/292, de 28 de julho de 2010. The human right to water and sanitation. *General Assembly*. New York, 2010. Disponível em: <https://undocs.org/A/RES/64/292>. Acesso em: 11 ago.2025.

WAGNER, Fabien Hubert; FAVRICHON, Samuel; DALAGNOL, Ricardo; HIRYE, Mayumi C. M.; MULLISSA, Adugna G.; SAATCHI, Sassan. *Amazon's 2023 drought: Sentinel-1 reveals extreme Rio Negro River contraction*. 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2401.16393>. Acesso em: 28 nov. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*. 4. ed. Geneva: World Health Organization, 2017. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 17 dez. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*. 4th ed. Geneva: World Health Organization, 2022.

XAVIER, Carla Lúcia Souza; ALMEIDA, Rafael Costa Souza; TORRES, Daniel Pereira. Monitoramento microbiológico da água em comunidades amazônicas durante o período de seca extrema. *Revista de Saúde Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 78–91, 2022.

YAMAGUCHI, Márcia Umeda *et al.* Avaliação da eficiência da cloração na desinfecção da água para consumo humano. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 243–252, 2013.