

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

CARLOS EDUARDO LEITE DA SILVA VAZ

**IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE FILTRO DE SEDIMENTOS EM
RESIDÊNCIAS PARA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS NA REGIÃO DE
PALMAS TOCANTINS**

**PALMAS
2026**

CARLOS EDUARDO LEITE DA SILVA VAZ

**IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE FILTRO DE SEDIMENTOS EM
RESIDÊNCIAS PARA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS NA REGIÃO DE
PALMAS TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil pelo Instituto Federal
do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Me. Adriana Soraya
Alexandria Monteiro

**PALMAS
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

V393i Vaz, Carlos Eduardo Leite da Silva
Importância da utilização de filtro de sedimentos em residências
para remoção de ferro e manganês na região de Palmas Tocantins /
Carlos Eduardo Leite da Silva Vaz. – Palmas, TO, 2026.
50 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2026.

Orientadora: Ma. Adriana Soraya Alexandria Monteiro
Coorientador: Dr. Giulliano Guimarães Silva

1. Filtro de sedimentos. 2. Água subterrânea. 3. Ferro e
Manganês. I. Monteiro, Adriana Soraya Alexandria. II. Silva, Giulliano
Guimarães. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARLOS EDUARDO LEITE DA SILVA VAZ

IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DE FILTRO DE SEDIMENTOS EM RESIDÊNCIAS PARA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS NA REGIÃO DE PALMAS TOCANTINS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso
de Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 12/05/2026

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 ADRIANA SORAYA ALEXANDRIA MONTEIRO
Data: 25/05/2026 11:37:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro

Orientadora

Documento assinado digitalmente
 GIULLIANO GUIMARAES SILVA
Data: 25/05/2026 13:44:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Giulliano Guimarães Silva

Coorientador

Documento assinado digitalmente
 MICHELLE LUDMILA GUEDES DOS SANTOS
Data: 25/05/2026 17:51:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Michelle Ludmila Guedes dos Santos

Avaliadora

Documento assinado digitalmente
 OCTAVIANO SIDNEI FURTADO
Data: 26/05/2026 09:20:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Octaviano Sidnei Furtado

Avaliador

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a importância da utilização de filtro de sedimentos em residências para remoção de ferro e manganês na região de Palmas, Tocantins, por meio do acompanhamento de duas residências localizadas no Condomínio Aldeia do Sol. O sistema analisado é composto por tanque em FRP, válvula automática, bomba dosadora de cloro e leito filtrante constituído por camadas de areia quartzosa e zeólita comercial. A pesquisa possui caráter experimental, quantitativo e aplicado, com comparação dos resultados laboratoriais obtidos antes e após a filtração. Na Residência 01, verificou-se redução de ferro de 2,40 mg/L para 0,11 mg/L, manganês de 0,236 mg/L para 0,140 mg/L, turbidez de 59,80 uT para 1,07 uT e cor aparente de 283 uH para 7 uH. Na Residência 02, os resultados também demonstraram desempenho satisfatório, com redução de ferro de 1,97 mg/L para 0,02 mg/L, manganês de 0,112 mg/L para 0,017 mg/L, turbidez de 1,19 uT para 0,17 uT e cor aparente de 27 uH para 0 uH. Os resultados indicaram melhoria significativa da qualidade da água tratada, com enquadramento satisfatório da maior parte dos parâmetros analisados frente aos padrões de referência da Portaria GM/MS nº 888/2021. Conclui-se que o sistema filtrante avaliado apresentou desempenho positivo na remoção de ferro, manganês, turbidez e cor aparente, contribuindo para a melhoria da qualidade da água e para a proteção das instalações hidráulicas residenciais, embora o manganês da Residência 01 ainda demande acompanhamento técnico quanto ao desempenho do tratamento.

Palavras-chave: Filtro de sedimentos. Ferro. Manganês. Água subterrânea. Zeólita. Palmas-TO.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the importance of using sediment filters in residences for the removal of iron and manganese in the region of Palmas, Tocantins, through the monitoring of two residences located in Condomínio Aldeia do Sol. The analyzed system consists of an FRP tank, automatic valve, chlorine dosing pump, and a filter bed composed of quartz sand and commercial zeolite layers. The research is experimental, quantitative, and applied, comparing laboratory results obtained before and after filtration. In Residence 01, iron was reduced from 2.40 mg/L to 0.11 mg/L, manganese from 0.236 mg/L to 0.140 mg/L, turbidity from 59.80 NTU to 1.07 NTU, and apparent color from 283 HU to 7 HU. In Residence 02, the results also showed satisfactory performance, with iron reduced from 1.97 mg/L to 0.02 mg/L, manganese from 0.112 mg/L to 0.017 mg/L, turbidity from 1.19 NTU to 0.17 NTU, and apparent color from 27 HU to 0 HU. The results indicated a significant improvement in the quality of the treated water, with satisfactory compliance of most analyzed parameters according to the reference standards established by Ordinance GM/MS No. 888/2021. It is concluded that the evaluated filtration system showed positive performance in removing iron, manganese, turbidity, and apparent color, contributing to water quality improvement and the protection of residential hydraulic installations, although manganese in Residence 01 still requires technical monitoring regarding treatment performance.

Keywords: Sediment filter. Iron. Manganese. Groundwater. Zeolite. Palmas-TO.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Cores do manganês de acordo com seu estado de oxidação.....	16
Figura 02 - Esquema do funcionamento de um filtro de sedimentos com meio filtrante	17
Figura 03 - Deposição de ferro em equipamento de filtração.....	23
Figura 04 – Localização dos pontos de coleta para estudo.....	26
Figura 05 - Materiais granulares utilizados na composição do leito filtrante.....	28
Figura 06 - Faixas granulométricas dos materiais quartzosos empregados no sistema filtrante	28
Figura 07 - Representação de cor e granulometria zeólita comercial.....	29
Figura 08 - Filtro FRP com válvula automática e bomba dosadora de cloro	30
Figura 09 - Distribuição de água na válvula do filtro.....	30
Figura 10 - Amostra de água antes e após filtração da residência 01.....	33
Figura 11 - Amostra de água antes e após filtração da residência 02.....	33
Figura 12 - Registros visuais da entrada de água bruta no sistema filtrante da Residência 01, com presença de coloração acastanhada e material ferruginoso depositado na tubulação	42
Figura 13 - Registros visuais da saída de água após a filtração na Residência 01, indicando aspecto claro e sem presença de incrustações	42
Figura 14 - Registros visuais da entrada de água bruta no sistema filtrante da Residência 02, com presença de coloração clara e material ferruginoso depositado na tubulação.....	43
Figura 15 - Registros visuais da saída de água após a filtração na Residência 02, indicando aspecto claro e sem presença de incrustações	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Parâmetros de Potabilidade da Água	14
Tabela 02 - Características da Zeólita Comercial	20
Tabela 03 - Caracterização dos pontos amostrais	36
Tabela 04 - Resultados laboratoriais antes da filtração	37
Tabela 05 - Resultados laboratoriais após a filtração	39
Tabela 06 - Eficiência de remoção e situação após a filtração nas Residências 01 e 02	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APHA – American Public Health Association

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CAS – Chemical Abstracts Service

C_0 – Concentração inicial do parâmetro na água bruta

C_f – Concentração final do parâmetro após a filtração

E. coli – Escherichia coli

FRP – Fiberglass Reinforced Plastic

GM/MS – Gabinete do Ministro / Ministério da Saúde

IFTO – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

mg/L – Miligrama por litro

mL/h – Mililitro por hora

NBR – Norma Brasileira

OMS – Organização Mundial da Saúde

pH – Potencial hidrogeniônico

PSI – Pound-force per square inch

PVC – Policloreto de vinila

SMEWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

UC – Unidade de cor

uH – Unidade Hazen

USEPA – United States Environmental Protection Agency

uT – Unidade de turbidez

VMP – Valor Máximo Permitido

WHO – World Health Organization

WQL – WQL Laboratório de Análises Ambientais

$\mu\text{S/cm}$ – Microsiemens por centímetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. PROBLEMA DE PESQUISA	9
3. JUSTIFICATIVA.....	10
4. OBJETIVOS.....	11
4.1 Objetivo Geral.....	11
4.2 Objetivos Específicos	12
5. REVISÃO DE LITERATURA	12
5.1 Qualidade da água para consumo humano	12
5.1.1 Características da qualidade da água para consumo humano.....	12
5.1.2 Parâmetros indicadores de qualidade da água	13
5.2 Ferro e manganês na água subterrânea.....	14
5.2.1 Origem e características gerais do ferro na água.....	14
5.2.2 Origem e características gerais do manganês na água	15
5.3 Filtros de sedimentos e suas características	16
5.3.1 Princípios de funcionamento dos filtros de sedimentos.....	16
5.3.2 Filtro de areia	17
5.3.3 Filtro de zeólita	19
5.4 Impactos da presença de ferro e manganês na saúde pública.....	21
5.4.1 Impactos da presença de ferro na saúde pública.....	21
5.4.2 Impactos da presença de manganês na saúde pública	22
5.5 Consequências técnicas do ferro e manganês nas instalações hidráulicas	23
5.5.1 Sedimentação de ferro e manganês nas tubulações	23
5.5.2 Impactos em Piscinas e Sistemas de Aquecimento	24
6. METODOLOGIA	25
6.1 Tipo de pesquisa	25
6.2 Área de estudo	25
6.3 Critérios de seleção dos pontos amostrais	26
6.4 Sistema filtrante adotado.....	27
6.5 Instalação e operação do filtro.....	29
6.5.1 Manutenção e tempo de troca do leito filtrante	31
6.6 Coleta e preservação das amostras	32
6.7 Parâmetros e análises laboratoriais	34
6.8 Tratamento e análise dos dados.....	34
6.9 Limitações da pesquisa.....	35
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
7.1 Caracterização dos pontos e das amostras.....	35
7.2 Resultados antes da filtração.....	36
7.3 Resultados após a filtração.....	37
7.4 Eficiência de remoção e enquadramento frente aos padrões de referência.....	39
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
8.1 Trabalhos futuros	45
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água com qualidade adequada é um dos principais desafios enfrentados por comunidades urbanas e rurais, especialmente em locais onde a utilização de águas subterrâneas ocorre por meio de poços tubulares profundos e soluções alternativas de abastecimento. No município de Palmas-TO, estudos técnicos sobre recursos hídricos indicam a existência de concentração significativa de poços e a exploração de sistemas aquíferos por meio de poços tubulares profundos. Além disso, análises realizadas em água proveniente de poço em condomínio rural de Palmas demonstraram desconformidades em parâmetros como turbidez, cor, manganês, coliformes e *Escherichia coli*, reforçando a importância do monitoramento e do tratamento adequado da água utilizada em residências (PALMAS, 2017; PAULINO, 2016). Nesse contexto, a presença de ferro e manganês pode gerar problemas estéticos, operacionais e sanitários, comprometendo a aceitação da água e a durabilidade das instalações hidráulicas.

A utilização de sistemas filtrantes residenciais pressurizados surge como alternativa viável para mitigar esses problemas, especialmente quando associados a meios filtrantes com maior capacidade de adsorção e troca iônica. Entre as soluções aplicáveis, destacam-se os filtros em tanque com leito de zeólita comercial, capazes de atuar na retenção de partículas e na remoção de ferro e manganês, sobretudo quando associados a condições adequadas de operação. Dessa forma, o presente trabalho propõe a avaliação de um filtro residencial em tanque FRP com zeólita comercial, buscando verificar seu desempenho em condições reais de uso e sua contribuição para a melhoria da qualidade da água na região de Palmas.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Na região de Palmas-TO, é comum que residências utilizem água proveniente de poços tubulares profundos ou, em alguns casos, realizem captação direta de cursos d'água como córregos e rios. Essa prática visa, em grande parte, reduzir os custos com a concessionária de abastecimento e buscar maior autonomia. No entanto, diversas análises demonstram a presença significativa de ferro e manganês nesses recursos hídricos, elementos que, quando em excesso, podem comprometer tanto a potabilidade da água quanto a durabilidade das instalações hidráulicas.

Diante desse contexto, observa-se que muitos moradores fazem uso dessa água sem qualquer tipo de tratamento, especialmente sem a adoção de sistemas simples e acessíveis como filtros de sedimentos. Isso levanta uma preocupação quanto à segurança sanitária e técnica da água consumida ou utilizada cotidianamente. Desta forma, questiona-se: A utilização de água proveniente de poços tubulares profundos ou captação superficial, sem o uso de filtros de sedimentos, é segura para a saúde humana e para a integridade das instalações hidráulicas residenciais na região de Palmas-TO?

3. JUSTIFICATIVA

A escolha por estudar a eficiência de um filtro residencial pressurizado em tanque FRP com zeólita comercial na região de Palmas-TO justifica-se pelo contexto local de utilização de águas subterrâneas em residências, especialmente por meio de poços tubulares profundos e soluções alternativas de abastecimento. Em algumas situações, essas águas podem apresentar alterações de qualidade relacionadas à presença de ferro, manganês, cor aparente, turbidez, gosto metálico, sedimentos e formação de depósitos em peças hidrossanitárias, tubulações e equipamentos domésticos.

No município de Palmas, estudos relacionados à qualidade da água proveniente de poços demonstram a necessidade de monitoramento e tratamento adequado antes do uso doméstico e consumo humano. Paulino (2016), ao analisar água proveniente de poço em condomínio rural de Palmas-TO, identificou parâmetros em desconformidade, como turbidez, cor, manganês, coliformes e *Escherichia coli*, evidenciando que a utilização de água subterrânea sem tratamento pode comprometer a qualidade da água e exigir soluções técnicas compatíveis com a realidade residencial.

A presença de ferro e manganês em concentrações elevadas pode comprometer a aceitação sensorial da água, causar manchas em roupas, louças e peças sanitárias, provocar alterações de cor e sabor, favorecer a formação de incrustações e depósitos ferruginosos e reduzir a vida útil de equipamentos e instalações hidráulicas. Nesse sentido, Vistuba (2010) destaca que a remoção de ferro e manganês em águas de abastecimento pode ser realizada por meio de processos

de filtração adsortiva, sendo importante considerar as características da água bruta, o meio filtrante utilizado e as condições operacionais do sistema.

Além disso, a literatura técnica demonstra que materiais granulares e meios filtrantes como areia e zeólita podem contribuir para a remoção ou redução de metais presentes na água. Alves (2008), ao estudar a remoção de ferro em água de irrigação por meio de filtração em areia e zeólita, verificou que a associação desses materiais apresenta potencial de aplicação na redução de ferro, especialmente quando relacionada a processos de retenção, adsorção e filtração. De modo semelhante, Azevedo (2018) avaliou a utilização de filtro à base de zeólita em água subterrânea com ferro e manganês, demonstrando desempenho satisfatório quando o tratamento foi associado à oxidação química por cloro, precipitação e posterior filtração.

A zeólita comercial também apresenta relevância técnica para o presente estudo em razão de sua estrutura porosa e de suas propriedades de adsorção e troca iônica. Lopes (2024), ao avaliar a remoção de manganês de água de abastecimento empregando zeólita comercial, verificou desempenho positivo do material em ensaios de adsorção, indicando seu potencial como meio filtrante no tratamento de água. Dessa forma, a aplicação de zeólita em sistemas residenciais pode representar alternativa prática e tecnicamente viável para melhorar a qualidade da água em locais onde há presença de ferro e manganês.

Diante desse contexto, a presente pesquisa justifica-se por avaliar, em condições reais de uso residencial, o desempenho de um sistema filtrante composto por tanque em FRP, válvula automática, bomba dosadora de cloro, camadas de areia quartzosa e zeólita comercial. A análise comparativa antes e após a filtração em duas residências localizadas no Condomínio Aldeia do Sol, em Palmas-TO, permite verificar a eficiência do sistema na redução de ferro, manganês, turbidez e cor aparente, além de contribuir para a proteção das instalações hidráulicas e para a melhoria da qualidade da água utilizada pelos moradores.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência de um filtro residencial pressurizado em tanque FRP com zeólita comercial na remoção de ferro e manganês da água, com foco na região de

Palmas, Tocantins, verificando sua contribuição para a melhoria da qualidade da água e para a proteção das instalações hidráulicas residenciais.

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a qualidade da água bruta nos pontos selecionados, com determinação de ferro total, manganês, pH, turbidez e cor aparente;
- Descrever o sistema filtrante adotado no estudo, composto por tanque em FRP, cabeçote e leito filtrante de zeólita comercial;
- Comparar os resultados laboratoriais obtidos antes e após a filtração, calculando a eficiência de remoção dos parâmetros analisados;
- Verificar a conformidade dos resultados com os padrões de potabilidade aplicáveis à água para consumo humano;
- Discutir os efeitos da presença de ferro e manganês sobre o uso doméstico da água e sobre a durabilidade das instalações hidráulicas residenciais;
- Apresentar recomendações técnicas para aplicação, operação e manutenção do sistema filtrante em condições residenciais.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Qualidade da água para consumo humano

5.1.1 Características da qualidade da água para consumo humano

A qualidade da água para consumo humano é avaliada com base em parâmetros físicos, químicos, biológicos e radiológicos. Esses parâmetros visam garantir que a água não represente riscos à saúde e seja aceitável do ponto de vista estético. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017) e a Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde do Brasil são os principais referenciais utilizados para definir esses padrões.

Os parâmetros físicos, como cor, turbidez, sabor e odor, são importantes por influenciarem na aceitação do consumo da água. Embora não representem riscos diretos à saúde, alterações nesses aspectos podem indicar a presença de substâncias indesejáveis ou processos de contaminação (BRASIL, 2021).

Os parâmetros químicos incluem a concentração de elementos como ferro, manganês, nitrato, chumbo, mercúrio, entre outros. Por exemplo, a OMS recomenda

limites máximos de 0,3 mg/L para ferro e 0,1 mg/L para manganês (WHO, 2017), valores também adotados pela legislação brasileira. Esses metais, em concentrações elevadas, podem causar efeitos adversos à saúde e danos a equipamentos (USEPA, 2018).

A contaminação microbiológica é avaliada pela presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, indicadores de contaminação fecal. Segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, a água potável não pode conter nenhuma unidade formadora de colônia desses organismos em 100 mL de amostra, devido ao risco de doenças infecciosas (BRASIL, 2021; WHO, 2017).

Por fim, a água também deve ser isenta de substâncias radioativas em níveis que possam causar riscos à saúde ao longo do tempo, como definido pelas diretrizes da OMS e pelos limites da legislação brasileira (WHO, 2017; BRASIL, 2021).

5.1.2 Parâmetros indicadores de qualidade da água

A avaliação da qualidade da água para consumo humano é realizada com base em um conjunto de parâmetros físicos, químicos, biológicos e organolépticos, os quais indicam se a água está dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela legislação. Esses parâmetros têm como principal objetivo garantir que a água seja segura à saúde e aceitável ao consumo, tanto do ponto de vista sanitário quanto estético.

A Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde, estabelece os Valores Máximos Permitidos (VMP) para diversos compostos, conforme demonstrado na Tabela 01. Esses limites são baseados em estudos toxicológicos, risco cumulativo, efeitos agudos e diretrizes internacionais como as da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017).

Entre os parâmetros físicos, destacam-se a turbidez, cor aparente e sólidos dissolvidos totais. A turbidez elevada pode indicar a presença de matéria orgânica e microrganismos, comprometendo a eficácia da desinfecção. A cor, embora não represente necessariamente risco sanitário, pode prejudicar a aceitação da água (USEPA, 2018).

Os parâmetros químicos englobam elementos essenciais como ferro, manganês, cloreto, amônia e metais como alumínio e zinco. A presença desses elementos em concentrações acima do VMP pode causar alterações organolépticas

na água (gosto, cor e odor), além de efeitos nocivos à saúde em casos prolongados de exposição (WHO, 2017).

Já os parâmetros organolépticos, como gosto e odor, não indicam necessariamente risco direto, mas influenciam fortemente na percepção de qualidade por parte do consumidor. A intensidade máxima permitida para esses parâmetros é 6, conforme escala de referência estabelecida na legislação nacional.

Tabela 01 - Parâmetros de Potabilidade da Água

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP(¹)
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como N)	7664-41-7	mg/L	1,2
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente (²)		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,001
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,0003
Dureza total		mg/L	300
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor		Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,02
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais		mg/L	500
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,05
Turbidez (3)		uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5

Fonte: BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

5.2 Ferro e manganês na água subterrânea

5.2.1 Origem e características gerais do ferro na água

O ferro (Fe) é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, compondo aproximadamente 5% em massa. Em águas subterrâneas, a presença de ferro ocorre principalmente devido à dissolução de minerais ferrosos, como a siderita (FeCO_3), pirita (FeS_2), magnetita (Fe_3O_4) e hematita (Fe_2O_3), os quais se tornam solúveis em

ambientes redutores, onde há baixo potencial de oxirredução (redox) (Hem, 1985; Appelo e Postma, 2005).

A forma predominante em condições anóxicas é o íon ferroso (Fe^{2+}), que apresenta alta solubilidade. Sua mobilidade é favorecida em aquíferos confinados ou com grande atividade microbiana, como bactérias redutoras de ferro (ex: *Geobacter* spp.), que reduzem Fe(III) a Fe(II) como parte de seu metabolismo anaeróbico (Lovley et al., 2004).

Quando essas águas entram em contato com o oxigênio atmosférico, como no bombeamento ou na exposição à superfície, o Fe^{2+} é oxidado para Fe^{3+} , que forma precipitados de hidróxidos insolúveis, como Fe(OH)_3 , gerando coloração avermelhada e turbidez, além de contribuir para a obstrução de tubulações, manchamento de roupas e equipamentos domésticos (WHO, 2017). A oxidação pode ocorrer de forma abiótica ou ser catalisada por bactérias ferro-oxidantes, como *Gallionella* spp. e *Leptothrix* spp., especialmente em sistemas de abastecimento com aeração (USEPA, 2006).

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, o valor máximo permitido (VMP) para o ferro em água potável no Brasil é de 0,3 mg/L, estabelecido principalmente com base em parâmetros organolépticos e técnicos, pois concentrações acima desse valor não representam risco direto à saúde, mas comprometem a aceitação da água pelo consumidor (BRASIL, 2021; WHO, 2017).

5.2.2 Origem e características gerais do manganês na água

O manganês (Mn) é um elemento traço essencial à vida, porém, em concentrações elevadas, pode causar impactos estéticos e toxicológicos na água. Embora menos abundante que o ferro, o manganês está amplamente distribuído na crosta terrestre, com abundância média de cerca de 0,1%. Ele ocorre comumente em minerais como pirolusita (MnO_2), manganita (MnOOH), rodonita (MnSiO_3), braunita (Mn_2O_3) e em óxidos mistos com ferro (Appelo e Postma, 2005; Hem, 1985).

Em águas subterrâneas, a principal forma solúvel do manganês é Mn^{2+} , que se mobiliza facilmente em condições redutoras, semelhantes às do ferro. A redução de óxidos de Mn^{3+} e Mn^{4+} , promovida por condições de baixo Eh (potencial redox), leva à liberação do íon Mn^{2+} . A solubilidade do manganês aumenta significativamente em pH entre 6 e 8, comuns em aquíferos de regiões tropicais (Stumm e Morgan, 1996).

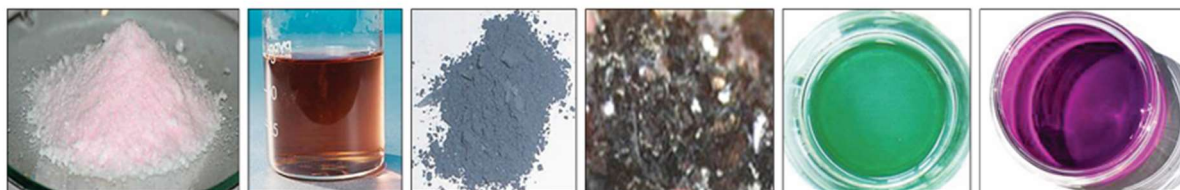
Assim como o ferro, o manganês pode ser oxidado na presença de oxigênio, formando precipitados de óxidos insolúveis (ex: MnO_2), que causam manchas pretas e gosto metálico na água, além de incrustações em sistemas de distribuição. Contudo, o processo de oxidação do manganês é mais lento do que o do ferro, exigindo maior tempo de residência ou o uso de catalisadores e agentes oxidantes (WHO, 2017; Knocke et al., 1991).

A presença de manganês acima de 0,1 mg/L, o limite estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, compromete a potabilidade da água por causar turbidez, gosto indesejado e acúmulo de depósitos em redes de distribuição. Além disso, estudos apontam potenciais efeitos neurotóxicos em exposições crônicas a concentrações elevadas, especialmente em crianças (USEPA, 2018; WHO, 2017).

O manganês, quando está em forma de metal puro, tem uma cor cinza. No entanto, ao passar por processos de oxidação, ele pode formar compostos com diferentes tonalidades (CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA DA 4ª REGIÃO, 2023). A Figura 1 mostra essas variações de cor que podem ocorrer.

As cores apresentadas, da esquerda para a direita, representam: sulfato de manganês (MnSO_4), uma solução do íon complexo $[\text{Mn}(\text{SO}_4)_2]^-$, em ácido sulfúrico (H_2SO_4) com concentração de 1 molar; dióxido de manganês (MnO_2); manganato de potássio (K_2MnO_4), em solução de hidróxido de potássio (KOH) a 1 molar; e permanganato de potássio (KMnO_4) (Rocha e Afonso, 2012, p. 103-105).

Figura 01 - Cores do manganês de acordo com seu estado de oxidação



Fonte: Rocha e Afonso (2012)

5.3 Filtros de sedimentos e suas características

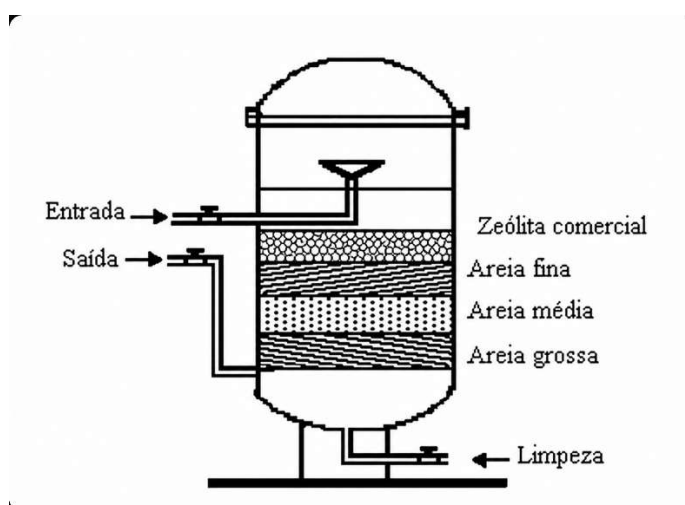
5.3.1 Princípios de funcionamento dos filtros de sedimentos

Os filtros de sedimentos atuam principalmente por meio de processos físicos que envolvem a retenção e separação de partículas sólidas suspensas na água, tais

como areia, argila, ferrugem e outros materiais em suspensão. O princípio básico do funcionamento desses filtros consiste na passagem da água através de um meio poroso, usualmente composto por areia, zeólita ou outros materiais granulados, que promovem a retenção das partículas sólidas em seu interior (Alves, 2008).

Durante a passagem da água pelo meio filtrante, partículas maiores que os poros do material são retidas por barreira física, enquanto partículas menores são removidas por processos de sedimentação, adsorção e intercâmbio iônico, dependendo da natureza do meio filtrante utilizado. A eficácia da filtração está associada às características granulométricas, à espessura do leito filtrante e à velocidade de filtração, que devem ser adequadas para garantir a remoção eficiente dos sedimentos e evitar a obstrução prematura do filtro (Alves, 2008). A figura 02 ilustra o esquema de funcionamento de um filtro de sedimentos com meio filtrante.

Figura 02 - Esquema do funcionamento de um filtro de sedimentos com meio filtrante



Fonte: Adaptado de Alves (2008).

5.3.2 Filtro de areia

O filtro de areia é um sistema de tratamento físico amplamente utilizado para a retenção de partículas em suspensão na água, como areia fina, argila, matéria orgânica, óxidos metálicos e outros materiais particulados. Trata-se de uma tecnologia de operação relativamente simples, com aplicação em sistemas de abastecimento,

irrigação, tratamento doméstico e processos de filtração complementar, podendo contribuir para a melhoria da qualidade da água quando dimensionado e operado adequadamente (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2002).

O funcionamento do filtro de areia ocorre pela passagem da água através de um leito granular, no qual as partículas são retidas por diferentes mecanismos, como peneiramento, sedimentação, interceptação, adsorção superficial e aderência às partículas do meio filtrante. A eficiência desse processo depende de fatores como a granulometria da areia, a espessura do leito, a velocidade de filtração, a qualidade da água bruta, a presença de partículas previamente oxidadas e a realização periódica de retrolavagens para remoção do material acumulado (ALVES, 2008).

Em sistemas destinados à remoção de ferro, a filtração em areia pode apresentar melhor desempenho quando associada a processos prévios de oxidação, como aeração ou cloração, pois o ferro dissolvido, geralmente presente na forma ferrosa (Fe^{2+}), pode ser convertido em formas insolúveis, como hidróxidos férricos, que são mais facilmente retidos no leito filtrante. Dessa forma, a areia atua principalmente na retenção física dos precipitados formados, contribuindo para a redução de turbidez, cor aparente e sedimentos associados ao ferro (MORUZZI; REALI, 2012; ALVES, 2008).

A utilização de filtros de areia também exige controle operacional adequado, uma vez que o acúmulo de partículas no leito pode provocar perda de carga, redução da vazão e necessidade de retrolavagem. Assim, a eficiência do filtro depende não apenas do material filtrante utilizado, mas também da manutenção periódica e da compatibilidade entre a granulometria do meio filtrante e as características da água bruta (ALVES, 2008).

Alves (2008), ao estudar a remoção de ferro em água de irrigação por meio de filtragem em areia e zeólita, verificou que a utilização de materiais granulares em proporções adequadas pode contribuir significativamente para a redução dos teores de ferro na água. O estudo demonstrou que a associação entre areia e zeólita apresenta potencial técnico para remoção de ferro, especialmente quando relacionada a processos de adsorção, retenção de partículas e contato da água com o meio filtrante (ALVES, 2008).

Azevedo (2018) também destaca a importância da camada suporte de areia em sistemas filtrantes com zeólita, como observado na solução alternativa Salta-z. Nesse

sistema, a areia exerce função estrutural e hidráulica, auxiliando na sustentação do leito filtrante, na distribuição do fluxo e na retenção de partículas, contribuindo para o desempenho geral do tratamento (AZEVEDO, 2018).

No presente estudo, o filtro analisado utiliza camadas de areia quartzosa com granulometrias distintas, dispostas de forma a favorecer a filtração progressiva da água. Essa configuração permite que partículas maiores sejam retidas nas camadas mais grossas, enquanto partículas menores e materiais em suspensão sejam removidos nas camadas de menor granulometria, atuando em conjunto com a dosagem de cloro, a formação de precipitados metálicos e a zeólita comercial utilizada como meio filtrante complementar (ALVES, 2008; AZEVEDO, 2018).

5.3.3 Filtro de zeólita

A zeólita é um material mineral de estrutura cristalina porosa, constituída essencialmente por aluminossilicatos hidratados, com cavidades e canais internos capazes de favorecer processos de adsorção, troca iônica e retenção de determinados íons presentes na água. Essas características tornam a zeólita um meio filtrante de interesse para o tratamento de águas contendo metais dissolvidos, como ferro e manganês, especialmente quando associada a condições adequadas de oxidação, tempo de contato, granulometria, pH e manutenção do sistema (RESENDE; MONTE, 2005; VISTUBA, 2010).

Segundo Resende e Monte (2005), as zeólitas apresentam estrutura formada por tetraedros interligados, com cavidades abertas normalmente ocupadas por moléculas de água e cátions extraestruturais. Essa configuração proporciona capacidade de troca catiônica e poder de adsorção, permitindo sua aplicação em diferentes áreas ambientais, incluindo o tratamento de águas com presença de metais e outros compostos indesejáveis (RESENDE; MONTE, 2005).

As características físicas e químicas das zeólitas, como diâmetro de poro, diâmetro de cavidade, superfície interna, capacidade de troca catiônica, capacidade de adsorção e estabilidade térmica, influenciam diretamente seu potencial de aplicação como meio filtrante. Esses parâmetros ajudam a explicar a capacidade da zeólita de interagir com íons presentes na água e de atuar em processos de adsorção e troca iônica, conforme apresentado na Tabela 02 (GIANNETTO, 1990).

Tabela 02 - Características da Zeólita Comercial

Característica	Valor
Diâmetro de poro	2 a 12 Å
Diâmetro de cavidade	6 a 12 Å
Superfície interna	centenas de m ² /g
Capacidade de troca catiônica	0 a 650 meq/100g
Capacidade de adsorção	< 0,35 cm ³ /g
Estabilidade térmica	de 200° até mais de 1000°C

Fonte: Giannetto (1990).

No tratamento de água, o princípio de funcionamento da zeólita está relacionado à sua capacidade de interação com íons presentes na solução. No caso do ferro e do manganês, a remoção pode ocorrer por mecanismos combinados, envolvendo adsorção, troca iônica, retenção de partículas e filtração de compostos precipitados, dependendo da forma química em que os metais se encontram na água e das condições operacionais do sistema (VISTUBA, 2010; LOPES, 2024).

A eficiência da zeólita pode ser potencializada quando associada a processos de pré-oxidação, como a cloração, pois parte do ferro e do manganês dissolvidos pode ser convertida em formas insolúveis e posteriormente retida no leito filtrante. Dessa forma, o desempenho do sistema não depende exclusivamente da troca iônica, mas também da combinação entre oxidação química, precipitação, retenção física e adsorção no meio filtrante (MORUZZI; REALI, 2012; AZEVEDO, 2018).

Azevedo (2018), ao avaliar a utilização de filtro artesanal à base de zeólita para remoção de ferro e manganês em água subterrânea na comunidade do Arara, no município de Careiro-AM, verificou desempenho expressivo do sistema quando a filtração foi precedida de oxidação química por cloro e precipitação dos metais. No estudo, a água bruta apresentava ferro total de 2,07 mg/L e manganês de 0,319 mg/L, sendo reduzidos, após o tratamento, para 0,01 mg/L e 0,042 mg/L, respectivamente (AZEVEDO, 2018).

Além dos resultados obtidos por Azevedo (2018), outros estudos também indicam o potencial técnico da zeólita associada à areia na remoção de ferro e manganês. Alves (2008) verificou que o uso de zeólitas misturadas à areia em proporção adequada mostrou-se tecnicamente viável para remoção de ferro bivalente, enquanto Vistuba (2010), em escala laboratorial, observou que filtros com zeólita e

areia apresentaram eficiência superior a 60% para ferro e 80% para manganês (ALVES, 2008; VISTUBA, 2010; AZEVEDO, 2018).

Lopes (2024), ao estudar a remoção de manganês de água de abastecimento empregando zeólita comercial, também verificou desempenho positivo desse material em ensaios de adsorção. Os resultados indicaram remoção eficiente de manganês, com potencial de uso da zeólita comercial como meio filtrante em sistemas de tratamento de água, especialmente quando observados fatores como concentração inicial do contaminante, tempo de contato, pH, temperatura e características físicas e químicas do material.

A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece os padrões de potabilidade e os valores máximos permitidos para parâmetros como ferro e manganês em água destinada ao consumo humano. Entretanto, a norma não determina uma tecnologia específica para remoção desses elementos, cabendo a escolha do sistema de tratamento às características da água bruta, à forma química dos metais presentes, ao pH, à presença de sólidos em suspensão, à dosagem de oxidante, ao tempo de contato, à frequência de retrolavagem e à eficiência do meio filtrante adotado (BRASIL, 2021).

Dessa forma, a zeólita comercial pode ser considerada uma alternativa técnica para compor sistemas residenciais de filtração, especialmente quando associada a camadas de areia quartzosa, materiais de suporte, dosagem de cloro e retrolavagem periódica. No presente estudo, sua utilização no leito filtrante tem como finalidade ampliar a capacidade de retenção e adsorção de ferro e manganês, contribuindo para a melhoria da qualidade da água em condições reais de uso residencial (VISTUBA, 2010; AZEVEDO, 2018; LOPES, 2024).

5.4 Impactos da presença de ferro e manganês na saúde pública

5.4.1 Impactos da presença de ferro na saúde pública

O ferro (Fe) é um elemento essencial ao metabolismo humano, principalmente por sua função na síntese da hemoglobina e no transporte de oxigênio no sangue. No entanto, sua presença em concentrações elevadas na água potável, acima de 0,3 mg/L, segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, pode causar problemas estéticos e operacionais, além de efeitos adversos indiretos à saúde (BRASIL, 2021; WHO, 2017).

Embora o ferro não seja considerado tóxico em concentrações típicas da água subterrânea, níveis elevados podem favorecer a proliferação de bactérias ferrosas, como *Gallionella spp.* e *Leptothrix spp.*, que se alimentam de ferro ferroso (Fe^{2+}) e formam biofilmes nas paredes de tubulações e reservatórios. Esses biofilmes representam um risco sanitário indireto, pois podem abrigar patógenos oportunistas e dificultar a desinfecção da água (WHO, 2017; USEPA, 2018).

Outro aspecto preocupante é que, em pessoas com distúrbios genéticos como a hemocromatose, uma doença caracterizada pelo acúmulo excessivo de ferro nos tecidos, o consumo de água com excesso de ferro pode intensificar os efeitos da doença, contribuindo para danos hepáticos, cardíacos e pancreáticos (ANDREWS, 1999).

Adicionalmente, a presença de ferro na água altera suas propriedades sensoriais, conferindo cor avermelhada, gosto metálico e turbidez. Isso frequentemente leva à rejeição da água para consumo humano, incentivando a busca por fontes alternativas muitas vezes não seguras (WHO, 2017).

5.4.2 Impactos da presença de manganês na saúde pública

O manganês (Mn) também é um micronutriente essencial, atuando como cofator de diversas enzimas no metabolismo de carboidratos, aminoácidos e lipídios. Entretanto, em concentrações superiores a 0,1 mg/L, valor máximo permitido pela legislação brasileira, pode provocar efeitos adversos, principalmente neurológicos (BRASIL, 2021; USEPA, 2018).

O consumo prolongado de água com alto teor de manganês tem sido associado a efeitos neurotóxicos, particularmente em crianças, cujo sistema nervoso está em desenvolvimento. Estudos indicam que a exposição contínua pode afetar funções cognitivas, motoras e comportamentais, com sintomas semelhantes ao mal de Parkinson, caracterizando um quadro clínico denominado manganismo (ATSDR, 2012; WHO, 2017).

Além dos efeitos à saúde, a presença de manganês compromete as qualidades organolépticas da água, provocando gosto amargo, odor desagradável e manchas escuras em roupas, utensílios e superfícies sanitárias. Tais alterações sensoriais podem levar à desconfiança dos usuários quanto à segurança da água, resultando em subutilização do recurso mesmo quando tecnicamente potável (WHO, 2017).

A ingestão excessiva de manganês por meio da água é especialmente preocupante em populações vulneráveis, como gestantes, lactentes e idosos, para os quais a toxicidade do metal pode ser mais pronunciada. A vigilância sobre a concentração de manganês em sistemas de abastecimento domiciliar é, portanto, uma medida preventiva essencial à saúde pública (USEPA, 2018).

5.5 Consequências técnicas do ferro e manganês nas instalações hidráulicas

5.5.1 Sedimentação de ferro e manganês nas tubulações

A presença de ferro e manganês em sistemas hidráulicos pode ocasionar uma série de problemas operacionais, especialmente em águas subterrâneas utilizadas para fins domésticos, agrícolas ou de abastecimento individual. O ferro, geralmente encontrado na forma solúvel Fe^{2+} , pode ser oxidado quando entra em contato com oxigênio ou agentes oxidantes, formando compostos insolúveis, como hidróxidos férricos, que apresentam coloração marrom-avermelhada e podem se depositar em tubulações, conexões, filtros e equipamento, conforme apresentado na Figura 03 (ALVES, 2008; MORUZZI; REALI, 2012).

Figura 03 - Deposição de ferro em equipamento de filtragem



Fonte: Autoria própria (2025).

Além da oxidação química, a ação de ferrobactérias pode agravar a obstrução das instalações, uma vez que esses microrganismos contribuem para a transformação do ferro solúvel em formas insolúveis e mucilaginosas. Esses depósitos podem formar lodos aderidos às paredes internas das tubulações, dificultando o fluxo de água e

favorecendo a colmatção de componentes hidráulicos (Bar, 1995 apud ALVES, 2008).

Estudos citados por Alves (2008) relatam que a presença de ferro em sistemas de irrigação pode causar obstrução progressiva mesmo com a utilização de dispositivos filtrantes. Hernandez e Petinari (1998 apud ALVES, 2008) observaram obstruções em tubulações de PVC após período prolongado de uso com água contendo ferro, enquanto Keller e Bliesner (1990 apud ALVES, 2008) indicaram que concentrações relativamente baixas já podem favorecer acúmulo de lodo em determinadas condições de pH.

Bucks e Nakayama (1986 apud ALVES, 2008) também destacam que níveis reduzidos de ferro podem contribuir para o acúmulo progressivo de material nas instalações quando o uso ocorre por longo período. Costa (2000 apud ALVES, 2008), ao avaliar sistemas de gotejamento, concluiu que águas com teores elevados de ferro, quando utilizadas sem tratamento prévio, podem comprometer o desempenho hidráulico e a funcionalidade dos emissores.

Embora esses estudos estejam voltados principalmente à irrigação localizada, os mecanismos físico-químicos envolvidos, como oxidação, precipitação, formação de lodo e deposição de partículas, também podem ser aplicados, por analogia técnica, às instalações hidráulicas residenciais. Assim, a presença de ferro e manganês na água pode contribuir para incrustações, manchas, redução de vazão e aumento da necessidade de manutenção em tubulações, reservatórios, filtros e equipamentos domésticos (ALVES, 2008; MORUZZI; REALI, 2012).

5.5.2 Impactos em Piscinas e Sistemas de Aquecimento

Embora os estudos de Alves (2008) estejam centrados em sistemas de irrigação, os princípios físico-químicos discutidos pelo autor podem ser aplicados, por analogia técnica, a sistemas hidráulicos residenciais e de lazer, como piscinas e equipamentos de aquecimento. Quando o ferro e o manganês presentes na água são oxidados, podem formar compostos insolúveis que se depositam em superfícies internas, tubulações, filtros, válvulas e acessórios hidráulicos (ALVES, 2008; MORUZZI; REALI, 2012).

Em piscinas, a presença de ferro pode provocar manchas amareladas ou avermelhadas em revestimentos, bordas e acessórios, enquanto o manganês pode

contribuir para manchas escuras ou enegrecidas. Esses efeitos são agravados quando a água utilizada para enchimento ou reposição não recebe tratamento adequado antes de entrar no sistema de circulação e filtração (ALVES, 2008).

Em sistemas de aquecimento, como aquecedores solares, trocadores de calor, válvulas e tubulações de menor diâmetro, a circulação de água com metais precipitados pode favorecer incrustações, perda de desempenho hidráulico e térmico, aumento da necessidade de manutenção e redução da vida útil dos componentes. Dessa forma, o controle prévio de ferro, manganês, turbidez e sólidos em suspensão contribui para a preservação dos sistemas hidráulicos e dos equipamentos associados (ALVES, 2008; MORUZZI; REALI, 2012).

6. METODOLOGIA

A presente pesquisa possui caráter aplicado, quantitativo e experimental, com delineamento comparativo antes e após a filtração. O estudo foi estruturado para avaliar, em condições reais de uso residencial, o desempenho de um filtro pressurizado composto por tanque em FRP e leito filtrante de zeólita comercial na remoção de ferro e manganês da água.

6.1 Tipo de pesquisa

Trata-se de estudo experimental de campo, com abordagem quantitativa, desenvolvido a partir da coleta de amostras de água em pontos de abastecimento residencial selecionados. O procedimento metodológico baseia-se na comparação dos resultados obtidos antes da instalação/operação do filtro e após a passagem da água pelo sistema filtrante proposto.

6.2 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Palmas, Estado do Tocantins, especificamente em duas residências localizadas no Condomínio Aldeia do Sol. A Residência 01 corresponde ao endereço Cond. Aldeia do Sol, Alameda 08, Lote 18, Palmas-TO, enquanto a Residência 02 corresponde ao endereço Quadra 203 Sul, Alameda 10, QI 09, Lote 08, integrante do mesmo condomínio (Figura 04).

Em ambos os casos, o abastecimento é realizado por poços tubulares profundos distintos, instalados nas próprias residências. Conforme informações

fornecidas pelos responsáveis pelos imóveis e pela instalação dos sistemas, os poços possuem aproximadamente 150 m de profundidade e vazão estimada de 2,5 m³/h.

A escolha da área de estudo ocorreu em razão da ocorrência de água com coloração aparente, gosto metálico, sedimentação e manchas em peças hidrossanitárias, características compatíveis com a presença de ferro e manganês em solução e/ou após oxidação. Além disso, as duas residências utilizam a água para fins domésticos, o que reforça a necessidade de avaliação técnica da eficiência do sistema filtrante.

Figura 04 – Localização dos pontos de coleta para estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2026).

6.3 Critérios de seleção dos pontos amostrais

As residências analisadas foram selecionadas por conveniência e relevância técnica, considerando a ocorrência prévia de problemas associados à qualidade da água, tais como coloração aparente, gosto metálico, manchas em peças hidrossanitárias, presença de sedimentos e indícios de deposição ferruginosa em tubulações e equipamentos. Além disso, ambas utilizavam água proveniente de poços tubulares profundos próprios, o que permitiu avaliar o desempenho do sistema filtrante em condições reais de uso residencial.

A escolha das duas unidades também considerou a viabilidade de instalação do filtro, o acompanhamento operacional do sistema e a autorização dos responsáveis pelos imóveis para realização das coletas, registros fotográficos e utilização dos dados

laboratoriais no estudo. Dessa forma, a amostragem não teve caráter probabilístico, mas sim intencional, compatível com a proposta de estudo de caso comparativo.

6.4 Sistema filtrante adotado

O sistema filtrante adotado nas duas residências foi composto por tanque em FRP, bocal de 2.1/2", válvula automática modelo F67C, manômetro indicador de pressão, tubulações e conexões em PVC e bomba dosadora de cloro. O conjunto foi empregado com a finalidade de retenção de sólidos, ferro e manganês, operando como filtro de sedimentos associado a meio filtrante granular e etapa de dosagem de cloro.

O leito filtrante, apresentado nas Figuras 05 e 06, foi constituído por materiais com granulometrias distintas, dispostos em camadas sucessivas, de forma a favorecer a filtração progressiva da água e a retenção de partículas de diferentes tamanhos. Na base do sistema foi utilizada a camada suporte formada por seixos rolados com granulometria entre 4,0 e 6,0 mm, responsável por sustentar as camadas superiores, facilitar a distribuição do fluxo e evitar o carreamento do material filtrante mais fino para o sistema de drenagem. Sobre essa camada foi aplicada uma segunda camada de material granular com granulometria entre 2,2 e 4,0 mm, atuando como transição entre o material de suporte e as camadas filtrantes intermediárias.

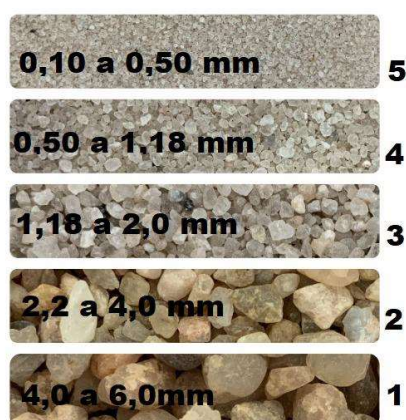
Na sequência, foram empregadas três camadas de areia de quartzo filtrante, com granulometrias decrescentes, compostas por material com faixas de 1,18 a 2,0 mm, 0,50 a 1,18 mm e 0,10 a 0,50 mm. Essa disposição granulométrica em ordem decrescente contribui para a retenção gradativa dos sólidos em suspensão, reduzindo a passagem de partículas e favorecendo o aumento da eficiência do processo filtrante. As camadas inferiores, de granulometria mais grossa, auxiliam na retenção das partículas maiores, enquanto as camadas mais finas, posicionadas acima, promovem polimento da água e retenção de frações menores.

A camada superior do leito foi composta por zeólita comercial (Figura 07), empregada com a finalidade de ampliar a capacidade de retenção de ferro e manganês presentes na água. Segundo as especificações do material utilizado, a zeólita comercial apresenta granulometria entre 0,4 e 1,0 mm, coeficiente de uniformidade entre 1,0 e 1,9, densidade aparente entre 0,9 e 1,0 g/cm³, faixa de pH entre 3,0 e 7,0, coloração marrom. Essas características físicas favorecem sua

aplicação como meio filtrante em sistemas pressurizados, contribuindo para maior área de contato com a água e para a eficiência do processo de filtração.

Como características construtivas, destaca-se a utilização de tanque com corpo em FRP, acabamento anticorrosivo, capacidade aproximada de 194 litros, pressão máxima suportada de 100 PSI e dimensões aproximadas de 42 x 168 x 42 cm. A bomba dosadora de cloro permaneceu em operação durante as coletas, com regulagem de 25 mL/h. A associação entre as camadas de suporte, areia de quartzo e zeólita comercial permitiu estruturar um sistema de filtração em múltiplos estágios, com capacidade de reter sólidos sedimentáveis, reduzir parâmetros estéticos e contribuir para a remoção dos metais presentes na água bruta.

Figura 05 - Materiais granulares utilizados na composição do leito filtrante



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 06 - Faixas granulométricas dos materiais quartzosos empregados no sistema filtrante



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 07 - Representação de cor e granulometria zeólita comercial



Fonte: Autoria própria (2026).

6.5 Instalação e operação do filtro

A instalação e a operação dos sistemas nas duas residências foram conduzidas por Oseias Correa. Na Residência 01, o filtro foi instalado em 07/07/2025; na Residência 02, a instalação ocorreu em 20/08/2025. Em ambos os pontos, o sistema foi posicionado em linha com o abastecimento proveniente do poço tubular profundo, de modo que a água bruta passasse pelo filtro antes de ser direcionada à caixa d'água de consumo das residências.

O sistema contemplou entrada de água bruta, passagem pelo leito filtrante, saída da água filtrada e linha específica para retrolavagem, conforme ilustrado nas Figuras 08 e 09. Antes do início da operação regular, foi realizada retrolavagem inicial para remoção de partículas finas e estabilização do leito filtrante.

A válvula automática foi programada para realizar retrolavagem diária com duração de 1 hora, às 2h da manhã, horário de menor consumo nas residências. Esse procedimento teve como finalidade remover os sólidos retidos no leito filtrante, reduzir a perda de carga e contribuir para a manutenção da eficiência do sistema. Na Residência 01 e na Residência 02, a coleta após a instalação do filtro foi realizada após 7 dias de operação contínua.

Durante esse período inicial de operação, o sistema permaneceu em funcionamento contínuo, permitindo que a água captada nos poços passasse pelo leito filtrante antes de ser direcionada aos reservatórios das residências. Esse intervalo de 7 dias foi adotado para possibilitar a estabilização inicial do filtro e avaliar seu desempenho em condições reais de uso residencial.

Figura 08 - Filtro FRP com válvula automática e bomba dosadora de cloro



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 09 - Distribuição de água na válvula do filtro



Fonte: Autoria própria (2025).

6.5.1 Manutenção e tempo de troca do leito filtrante

A manutenção do sistema filtrante é uma etapa essencial para garantir a continuidade da eficiência na remoção de ferro, manganês, turbidez, cor aparente e demais partículas presentes na água. O leito filtrante utilizado neste estudo foi composto por cinco camadas de materiais quartzosos e granulares, fornecidas pela Mineração Cezar, e por zeólita comercial, fornecida pela Celtra Brasil, materiais que atuam de forma complementar no processo de filtração. A areia quartzosa contribui principalmente para a retenção física de partículas, sustentação do leito e distribuição do fluxo, enquanto a zeólita comercial atua como meio filtrante com capacidade de retenção e adsorção de compostos metálicos, especialmente ferro e manganês.

O tempo de troca dos materiais filtrantes foi definido, para fins operacionais deste estudo, com base nas características dos materiais utilizados, nas recomendações técnicas usuais de fornecedores de meios filtrantes, na necessidade de manutenção da eficiência do sistema e no acompanhamento dos resultados laboratoriais da água filtrada. Como o desempenho do filtro depende diretamente das características da água bruta, da concentração de ferro e manganês, da turbidez, da vazão de operação, do volume de água tratado e da frequência de retrolavagem, os prazos adotados devem ser compreendidos como referência técnica de manutenção preventiva para o sistema analisado.

Dessa forma, adota-se como prazo-base para o sistema estudado a avaliação laboratorial da água filtrada a cada 6 meses, a regeneração ou substituição da zeólita comercial fornecida pela Celtra Brasil a cada 18 meses e a substituição preventiva das camadas de areia quartzosa fornecidas pela Mineração Cezar a cada 36 meses. Esses intervalos foram considerados adequados como referência de manutenção residencial, desde que o sistema opere com retrolavagens regulares e sem alterações significativas na qualidade da água bruta.

A retrolavagem deve ser mantida como o principal procedimento de manutenção preventiva do filtro, pois remove parte do material acumulado no interior do leito, reduz a obstrução dos grãos e contribui para preservar a vazão e a eficiência do tratamento. Esse processo deve ocorrer conforme a programação da válvula automática e sempre que forem observados sinais de redução da vazão, alteração na coloração da água, retorno de turbidez, presença de partículas ou perda de eficiência do sistema.

Portanto, embora sejam adotados prazos definidos para fins de referência operacional, a troca do leito filtrante também deve considerar os sinais práticos de funcionamento do filtro e os resultados laboratoriais da água tratada. Caso as análises indiquem elevação dos teores de ferro, manganês, turbidez ou cor aparente antes dos prazos estabelecidos, recomenda-se antecipar a manutenção, regeneração ou substituição dos materiais filtrantes. Da mesma forma, se o sistema apresentar desempenho satisfatório dentro dos padrões de referência, os prazos adotados podem ser utilizados como base segura para manutenção preventiva em condições semelhantes de operação residencial.

6.6 Coleta e preservação das amostras

As amostras de água foram coletadas em dois momentos por ponto estudado: antes da filtração, representando a água bruta proveniente do poço, e após a filtração, representando a água já tratada pelo sistema. Em cada coleta, procedeu-se ao escoamento da água por aproximadamente 2 minutos antes do enchimento dos recipientes. Os frascos foram previamente enxaguados três vezes com a própria água a ser coletada.

Durante a amostragem foram utilizadas máscara e luvas, e as amostras foram imediatamente acondicionadas em caixa térmica com gelo, mantendo-se temperatura entre 2 °C e 8 °C até a chegada ao laboratório. Na Residência 01, a coleta antes do filtro foi realizada na saída do poço em 07/07/2025 às 10h55, e a coleta após o filtro foi realizada na saída do filtro em 14/07/2025 às 10h50. Na Residência 02, a coleta antes do filtro foi realizada na saída do poço em 20/08/2025 às 14:30, e a coleta após o filtro foi realizada na saída do filtro em 27/08/2025 às 14:50. As Figuras 10 e 11 apresentam as amostras coletadas na residência 01 e na residência 02 respectivamente.

Figura 10 - Amostra de água antes e após filtração da residência 01



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 11 - Amostra de água antes e após filtração da residência 02



Fonte: Autoria própria (2025).

6.7 Parâmetros e análises laboratoriais

As amostras de água coletadas (Figura 10 e Figura 11) nas duas residências foram encaminhadas ao laboratório WQL Laboratório de Análises Ambientais localizado na quadra ACSE 1, rua SE 5, número 32, onde foram realizados ensaios físico-químicos e microbiológicos com o objetivo de caracterizar a qualidade da água bruta e da água após a filtração. Entre os parâmetros analisados, destacam-se: ferro, manganês, turbidez, cor aparente, pH, sólidos totais dissolvidos, nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*. Em alguns laudos também foram apresentados os parâmetros cloro residual livre, fluoreto e condutividade elétrica, os quais foram considerados na interpretação complementar dos resultados.

Os métodos analíticos informados pelo laboratório incluíram, entre outros, SMEWW 4500-CL-G/24^a Ed. 2023 para cloro residual livre, SMEWW 9223 B/24^a Ed. 2023 para coliformes totais, SMEWW 2120-C/24^a Ed. 2023 para cor aparente, SMEWW 3030 E/24^a Ed. 2023 para ferro, HACH nm, 2024 – Método 8149 para manganês, HACH Company, 2024 – Método 8093 para nitrato, SMEWW 4500-H+ B/24^a Ed. 2023 para pH, SMEWW 2510 B/24^a Ed. 2023 para sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, SMEWW 2130 B/24^a Ed. 2023 para turbidez, além de substrato cromogênico para detecção qualitativa de *Escherichia coli*.

Para efeito de interpretação no presente trabalho, os resultados foram comparados aos valores de referência estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, adotada como norma principal para avaliação da potabilidade da água para consumo humano. Dessa forma, mesmo quando o laudo original apresentou comparação com outro instrumento normativo, os valores analíticos foram reinterpretados à luz da legislação atualmente adotada no estudo, de modo a manter uniformidade na análise entre as duas residências.

6.8 Tratamento e análise dos dados

Os resultados laboratoriais foram organizados em tabelas comparativas, considerando os valores obtidos antes e após a filtração em cada residência estudada. Para os parâmetros quantitativos diretamente relacionados ao objetivo do trabalho, especialmente ferro, manganês, turbidez e cor aparente, foi calculada a eficiência percentual de remoção do sistema filtrante por meio da Equação 1.

Equação 1 – Eficiência percentual de remoção

$$\text{Eficiência de remoção (\%)} = [(C_0 - C_f) / C_0] \times 100$$

Em que: C_0 corresponde à concentração inicial do parâmetro na água bruta e C_f à concentração final após a filtração.

A fórmula foi aplicada aos parâmetros quantitativos compatíveis com esse tipo de comparação. Para variáveis como pH, sólidos totais dissolvidos, nitrato e resultados microbiológicos, a análise foi conduzida de forma descritiva, com base na comparação entre os valores obtidos e os padrões de referência da Portaria GM/MS nº 888/2021.

Considerando o número reduzido de unidades analisadas, o tratamento dos dados foi desenvolvido por meio de análise descritiva e comparativa, sem emprego de inferência estatística. A interpretação dos resultados foi complementada por observações de campo, registros fotográficos e relatos dos usuários quanto ao aspecto visual da água e ao comportamento das instalações hidráulicas antes e após a implantação do sistema.

6.9 Limitações da pesquisa

A pesquisa apresenta limitações inerentes ao seu delineamento de estudo de caso, especialmente pelo número reduzido de residências avaliadas e pela dependência das condições reais de operação dos sistemas instalados. Além disso, o desempenho do filtro pode variar em função das características físico-químicas da água bruta, da regulação da bomba dosadora de cloro, da frequência de retrolavagem, do tempo de operação entre a instalação e a coleta pós-filtração e do regime de consumo de água em cada imóvel.

Tais limitações foram consideradas na interpretação dos resultados, evitando generalizações indevidas e mantendo o foco na avaliação técnica do sistema em condições específicas de uso residencial.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Caracterização dos pontos e das amostras

Foram avaliadas duas residências localizadas no Condomínio Aldeia do Sol, em Palmas-TO, ambas abastecidas por poços tubulares profundos próprios e

distintos. A pesquisa foi estruturada de modo comparativo, com coleta antes e após a operacionalização do sistema filtrante, buscando avaliar sua eficiência quanto à melhoria da qualidade da água para uso doméstico.

Antes da instalação dos filtros, os moradores relataram problemas recorrentes relacionados à presença de coloração aparente, gosto metálico, manchas em peças hidrossanitárias, sedimentação e deposição de material ferruginoso em tubulações e equipamentos. Após a instalação e operação dos sistemas, foram relatadas melhorias no aspecto visual da água e redução dos depósitos observados, especialmente na Residência 01. Na tabela 03 é apresentada as datas de instalação dos filtros e as datas de coleta das amostras usadas para análise laboratorial.

Tabela 03 - Caracterização dos pontos amostrais

Residência	Endereço / identificação	Fonte de água	Data de instalação do filtro	Coleta antes do filtro	Coleta após o filtro
Residência 01	Cond. Aldeia do Sol, Quadra 203 Alameda 08, Lote 18, Palmas-TO	Poço tubular profundo próprio	07/07/2025	Saída do poço - 07/07/2025 10:55	Saída do filtro - 14/07/2025 10:50
Residência 02	Condomínio Aldeia do Sol, Quadra 203 Sul, Alameda 10, QI 09, Lote 08, Palmas-TO	Poço tubular profundo próprio	20/08/2025	Saída do poço - 20/08/2025 14:30	Saída do filtro - 27/08/2025 14:50

Fonte: Autoria própria (2026).

7.2 Resultados antes da filtração

Os resultados laboratoriais obtidos antes da filtração (Tabela 04) evidenciaram que as duas residências apresentavam alterações relevantes na qualidade da água bruta, principalmente quanto aos teores de ferro e manganês e aos parâmetros estéticos associados à aceitação da água para uso doméstico.

Na Residência 01, foram verificadas concentrações de ferro de 2,40 mg/L e manganês de 0,236 mg/L, ambas acima dos valores máximos permitidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Também foram observados valores elevados de turbidez, com 59,80 uT, e cor aparente, com 283 uH, demonstrando condição inicial bastante comprometida sob o ponto de vista visual e operacional.

Na Residência 02, a amostra de água bruta também apresentou alterações, com ferro de 1,97 mg/L, manganês de 0,112 mg/L, turbidez de 1,19 uT e cor aparente de 27 uH. Embora a turbidez estivesse dentro do limite legal, os parâmetros ferro, manganês e cor aparente indicaram a necessidade de tratamento para melhoria da qualidade da água utilizada na residência.

Tabela 04 - Resultados laboratoriais antes da filtração

Parâmetro	VMP Portaria 888/2021	Residência 01 – antes	Residência 02 – antes
Ferro (mg/L)	0,3	2,4	1,97
Manganês (mg/L)	0,1	0,236	0,112
Turbidez (uT)	5	59,8	1,19
Cor aparente (uH/UC)	15	283	27
pH	6,0 a 9,5	6,7	7,1
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	500	63,3	44,5
Nitrato (mg/L)	10	<0,3	0,4
Coliformes totais / E. coli	Ausência	Ausente / Ausente	Ausente / Ausente

Fonte: Autoria própria (2026).

7.3 Resultados após a filtração

Os resultados laboratoriais após a filtração demonstraram melhoria da qualidade da água nas duas residências analisadas, com redução dos parâmetros

mais diretamente associados à presença de ferro e manganês e às alterações estéticas da água.

Na Residência 01, após a passagem da água pelo sistema filtrante, observou-se redução do teor de ferro para 0,11 mg/L, do manganês para 0,14 mg/L, da turbidez para 1,07 uT e da cor aparente para 7 uH. Também foram obtidos pH 7,2, sólidos totais dissolvidos de 77,2 mg/L, nitrato inferior a 0,9 mg/L e ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*. Esses resultados indicam melhora significativa da água tratada após a filtração. No caso do manganês, embora o valor analítico apresentado tenha sido de 0,14 mg/L, o parâmetro foi classificado como conforme no laudo laboratorial, considerando a forma de apresentação do VMP da Portaria GM/MS nº 888/2021 com uma casa decimal. Dessa forma, adotou-se no presente trabalho a interpretação constante no laudo, sem prejuízo da recomendação de acompanhamento periódico desse parâmetro.

Na Residência 02, após a filtração, a água apresentou ferro de 0,02 mg/L, manganês de 0,017 mg/L, turbidez de 0,17 uT e cor aparente de 0 uH. Também foram verificados pH 8,40, sólidos totais dissolvidos de 19,24 mg/L, nitrato de 0,70 mg/L, além de ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*. O laudo também registrou cloro residual livre de 1,08 mg/L, fluoreto de 0,80 mg/L e condutividade elétrica de 80,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando que a água tratada atendeu aos parâmetros analisados no ensaio.

A comparação entre os resultados após a filtração (Tabela 05) mostra que, em ambas as residências, houve melhoria dos parâmetros analisados, com enquadramento final satisfatório para a maior parte deles. A principal diferença observada entre os dois pontos diz respeito ao manganês, que, na Residência 01, permaneceu em 0,14 mg/L, enquanto na Residência 02 foi reduzido para 0,017 mg/L, com enquadramento pleno no padrão de potabilidade.

Tabela 05 - Resultados laboratoriais após a filtração

Parâmetro	VMP Portaria 888/2021	Residência 01 – após	Residência 02 – após
Ferro (mg/L)	0,3	0,11	0,02
Manganês (mg/L)	0,1	0,14	0,017
Turbidez (uT)	5	1,07	0,17
Cor aparente (uH/UC)	15	7	0
pH	6,0 a 9,5	7,2	8,4
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	500	77,2	19,24
Nitrato (mg/L)	10	<0,9	0,7
Coliformes totais / E. coli	Ausência	Ausente	Ausente

Fonte: Autoria própria (2026).

7.4 Eficiência de remoção e enquadramento frente aos padrões de referência

A eficiência de remoção do sistema filtrante foi calculada a partir da comparação entre os resultados obtidos antes e após a filtração, considerando os parâmetros quantitativos mais diretamente relacionados ao objetivo do estudo, especialmente ferro, manganês, turbidez e cor aparente (Tabela 06).

Na Residência 01, o sistema apresentou remoção de 95,4% para o ferro, com redução de 2,40 mg/L para 0,11 mg/L; 40,7% para o manganês, com redução de 0,236 mg/L para 0,14 mg/L; 98,2% para a turbidez, passando de 59,80 uT para 1,07 uT; e 97,5% para a cor aparente, reduzida de 283 uH para 7 uH. Após a filtração, os parâmetros ferro, manganês, turbidez, cor aparente, pH, sólidos totais dissolvidos, nitrato e microbiologia foram interpretados conforme o laudo laboratorial e os padrões de referência adotados. Ressalta-se, contudo, que o manganês permaneceu próximo ao valor máximo permitido, razão pela qual se recomenda o acompanhamento periódico do parâmetro e a verificação contínua das condições de operação do

sistema filtrante. Na Residência 02, o sistema apresentou remoção de 98,98% para o ferro, com redução de 1,97 mg/L para 0,02 mg/L; 84,82% para o manganês, reduzido de 0,112 mg/L para 0,017 mg/L; 85,71% para a turbidez, passando de 1,19 uT para 0,17 uT; e 100,00% para a cor aparente, reduzida de 27 uH para 0 uH. Também foram verificados enquadramento final para pH, sólidos totais dissolvidos, nitrato e parâmetros microbiológicos, o que demonstra desempenho satisfatório do sistema para todos os parâmetros avaliados na amostra tratada.

Dessa forma, a análise comparativa (Tabela 06) evidencia que o sistema filtrante apresentou desempenho positivo nas duas residências, com remoção expressiva dos parâmetros mais associados aos problemas de uso doméstico da água. Embora a intensidade da resposta tenha variado entre os pontos analisados, os resultados demonstram que o conjunto filtrante adotado foi capaz de reduzir substancialmente os teores de ferro, manganês, turbidez e cor aparente, contribuindo para a melhoria da qualidade da água e para o atendimento dos padrões exigidos.

As Figuras 12 e 13 apresentam as tubulações de entrada da água bruta proveniente do poço tubular profundo e saída da água direcionada para a caixa d'água de consumo da Residência 01. As Figuras 14 e 15 apresentam as tubulações de entrada e saída do filtro da Residência 02, também direcionadas para a caixa d'água de consumo geral. Ambas as imagens demonstram a diferença visual entre a água bruta e a água após a filtração, evidenciando a redução da coloração aparente e da presença de material ferruginoso.

Na Residência 01, observa-se maior presença de coloração acastanhada e depósitos na entrada do sistema, condição compatível com os valores elevados de ferro, turbidez e cor aparente antes da filtração. Após o tratamento, a saída apresenta aspecto mais claro e sem incrustações aparentes. Na Residência 02, embora a água bruta apresentasse aspecto menos comprometido, também foram observados sinais de deposição ferruginosa, com melhora visual após a passagem pelo filtro. Assim, os registros fotográficos complementam os resultados laboratoriais e reforçam a contribuição do sistema filtrante para a melhoria da qualidade da água e das condições das instalações hidráulicas.

Tabela 06 - Eficiência de remoção e situação após a filtração nas Residências 01 e 02

Residência 01				
Parâmetro	Residência 01 - antes	Residência 01 - após	Eficiência (%)	Situação após o filtro
Ferro (mg/L)	2,4	0,11	95,4	Conforme
Manganês (mg/L)	0,236	0,14	40,7	Conforme
Turbidez (uT)	59,8	1,07	98,2	Conforme
Cor aparente (uH/UC)	283	7	97,5	Conforme
pH	6,7	7,2	—	Conforme
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	63,3	77,2	—	Conforme
Nitrato (mg/L)	<0,3	<0,9	—	Conforme
Coliformes totais / E. coli	Ausente / Ausente	Ausente / Ausente	—	Conforme
Residência 02				
Parâmetro	Residência 02 - antes	Residência 02 - após	Eficiência (%)	Situação após o filtro
Ferro (mg/L)	1,97	0,02	98,98	Conforme
Manganês (mg/L)	0,112	0,017	84,82	Conforme
Turbidez (uT)	1,19	0,17	85,71	Conforme
Cor aparente (uH/UC)	27	0	100,00	Conforme
pH	7,1	8,4	—	Conforme
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	44,5	19,24	—	Conforme
Nitrato (mg/L)	0,4	0,7	—	Conforme
Coliformes totais / E. coli	Ausente / Ausente	Ausente	—	Conforme

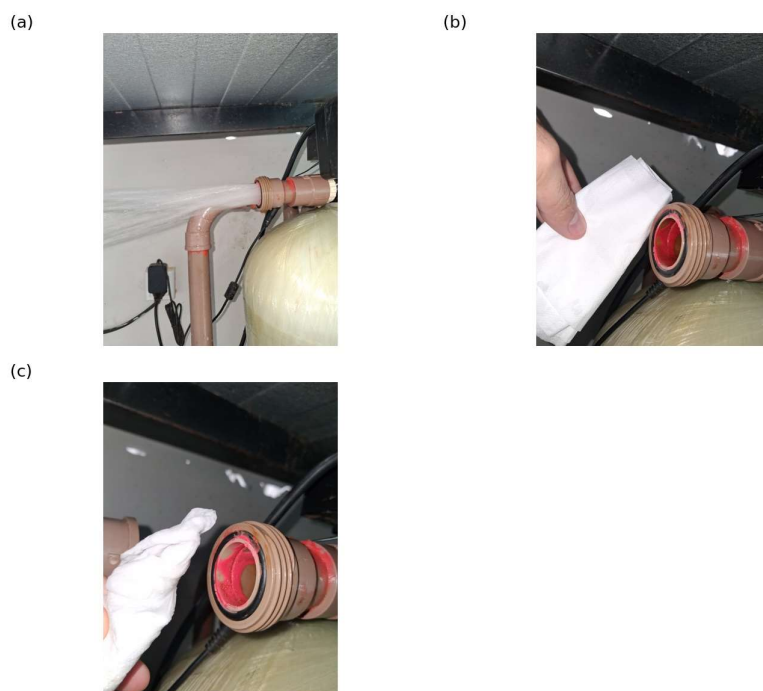
Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 12 - Registros visuais da entrada de água bruta no sistema filtrante da Residência 01, com presença de coloração acastanhada e material ferruginoso depositado na tubulação



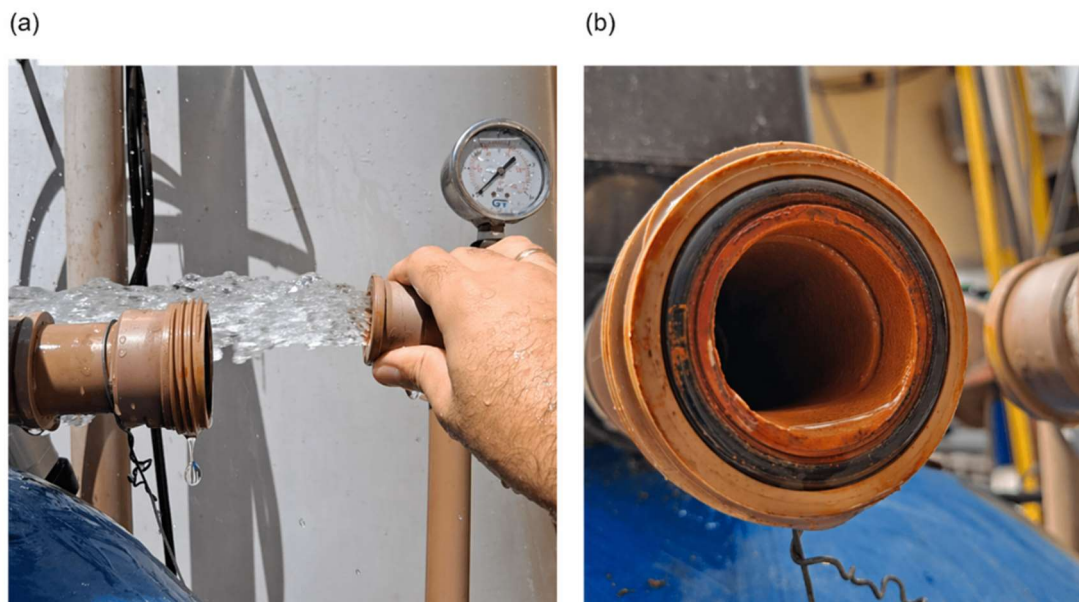
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 13 - Registros visuais da saída de água após a filtração na Residência 01, indicando aspecto claro e sem presença de incrustações



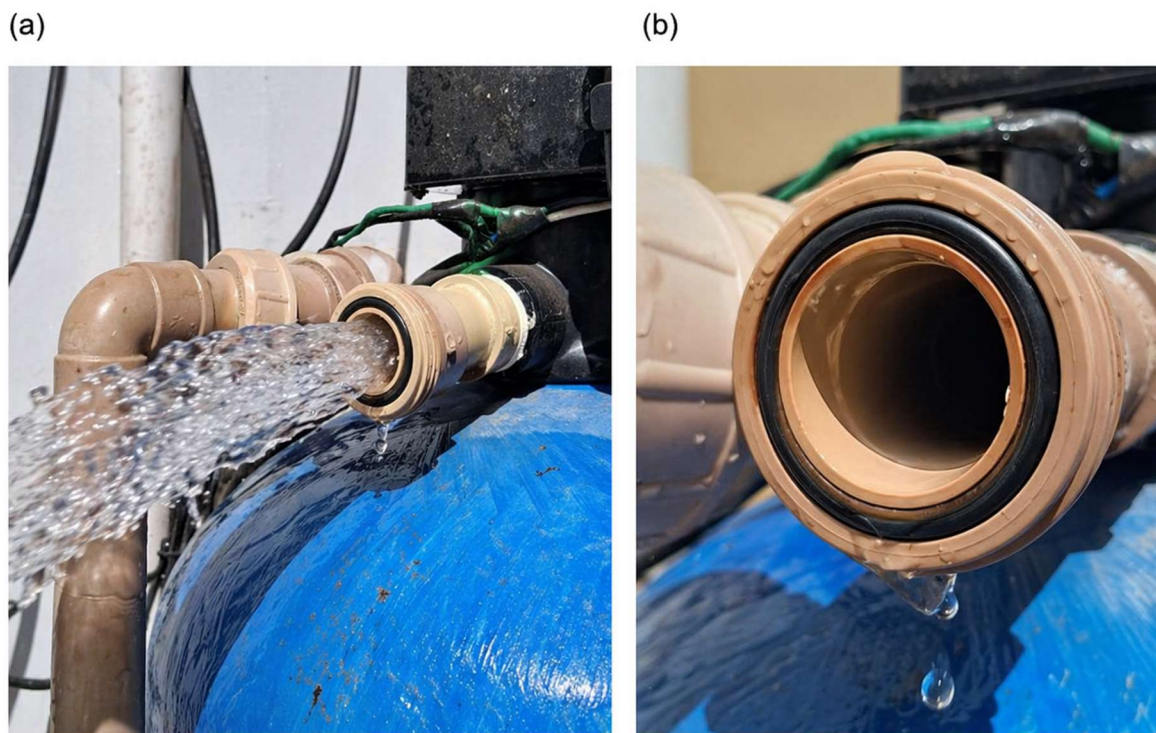
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 14 - Registros visuais da entrada de água bruta no sistema filtrante da Residência 02, com presença de coloração clara e material ferruginoso depositado na tubulação



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 15 - Registros visuais da saída de água após a filtração na Residência 02, indicando aspecto claro e sem presença de incrustações



Fonte: Autoria própria (2025).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a utilização de filtro de sedimentos em residências constitui alternativa tecnicamente viável para a melhoria da qualidade da água em imóveis abastecidos por poços tubulares profundos na região de Palmas-TO, especialmente em situações com presença de ferro e manganês. O sistema adotado no presente estudo, composto por tanque em FRP, válvula automática, bomba dosadora de cloro e leito filtrante constituído por materiais quartzosos e zeólita comercial, mostrou-se eficiente para reduzir parâmetros que comprometiam o uso doméstico da água e a conservação das instalações hidráulicas.

Na Residência 01, verificou-se redução expressiva dos teores de ferro, turbidez e cor aparente, além de melhora perceptível do aspecto visual da água e diminuição dos depósitos ferruginosos observados anteriormente em tubulações e conexões. O teor de ferro após a filtração foi de 0,11 mg/L, sendo considerado conforme no laudo, atendendo aos padrões exigidos. O manganês também apresentou redução em relação à condição inicial, embora tenha permanecido em valor que demanda observação técnica mais cuidadosa quanto ao desempenho do sistema nesse parâmetro específico.

Na Residência 02, os resultados foram igualmente satisfatórios, com redução significativa dos principais parâmetros analisados. Após a filtração, a água apresentou ferro de 0,02 mg/L, manganês de 0,017 mg/L, turbidez de 0,17 uT e cor aparente de 0 uH, além de enquadramento satisfatório para pH, sólidos totais dissolvidos, nitrato e parâmetros microbiológicos. Esses dados demonstram que o sistema foi capaz de promover melhoria consistente da qualidade da água também na segunda residência estudada.

A comparação entre os dois pontos avaliados permite concluir que o sistema filtrante apresentou desempenho positivo em ambas as residências, embora com diferenças de comportamento quanto à intensidade da remoção, especialmente para o manganês. Tal variação evidencia que a eficiência do tratamento pode estar relacionada às características físico-químicas da água bruta, às condições locais de operação, ao regime de uso do sistema, à dosagem de cloro e à dinâmica de retrolavagem.

Dessa forma, o objetivo geral do trabalho foi atingido, uma vez que foi possível avaliar a importância da utilização de filtro de sedimentos em residências para

remoção de ferro e manganês, demonstrando sua contribuição para a melhoria da qualidade da água e para a proteção das instalações hidráulicas. Os resultados obtidos reforçam a relevância da aplicação desse tipo de sistema em contextos residenciais com problemas semelhantes aos observados no Condomínio Aldeia do Sol e indicam que a solução estudada pode representar alternativa prática e promissora para o tratamento descentralizado de águas subterrâneas na região de Palmas-TO.

Como recomendação, destaca-se a importância do acompanhamento periódico da qualidade da água tratada, da manutenção adequada do sistema, da observação do comportamento do meio filtrante ao longo do tempo e do controle operacional da bomba dosadora de cloro e da retrolavagem. Também se recomenda que estudos futuros avaliem o desempenho do sistema em períodos mais longos de operação e em maior número de residências, de modo a ampliar a base comparativa e aprofundar a análise da remoção de manganês em diferentes condições de uso.

8.1 Trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da pesquisa para investigar as causas das diferenças observadas entre os laudos das duas residências analisadas. Embora os imóveis estejam localizados próximos entre si, com poços situados em uma mesma região e em posição confrontante, os resultados laboratoriais demonstraram variações relevantes nos parâmetros da água bruta e no comportamento do sistema filtrante, especialmente quanto à concentração e à remoção de manganês.

Essa diferença evidencia que a proximidade física entre dois poços não garante, necessariamente, a igualdade das características da água subterrânea captada. Mesmo em áreas próximas, podem ocorrer variações relacionadas à profundidade dos poços, ao perfil geológico local, ao tipo de solo atravessado, ao posicionamento das camadas aquíferas, ao regime de bombeamento, à idade e às condições construtivas dos poços, à existência ou não de proteção sanitária adequada, à influência de fossas, sumidouros, áreas de infiltração e à dinâmica de recarga do aquífero.

Dessa forma, pesquisas futuras poderão aprofundar a análise hidrogeológica e construtiva dos poços existentes no Condomínio Aldeia do Sol e em outras regiões de

Palmas-TO, avaliando fatores como profundidade, diâmetro, revestimento, filtros internos, cimentação sanitária, distância entre poços e possíveis fontes de contaminação, além da direção provável do fluxo subterrâneo. Também se recomenda a realização de coletas em diferentes períodos do ano, contemplando estação chuvosa e período seco, a fim de verificar se a sazonalidade influencia as concentrações de ferro, manganês, turbidez, cor aparente e demais parâmetros físico-químicos.

Outra possibilidade de continuidade da pesquisa consiste na realização de análises complementares, incluindo ferro total e dissolvido, manganês total e dissolvido, oxigênio dissolvido, potencial de oxirredução, alcalinidade, dureza, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e matéria orgânica. Esses parâmetros podem auxiliar na compreensão da forma química em que os metais se encontram na água e explicar por que a remoção ocorre com maior eficiência em uma residência do que em outra, mesmo quando são utilizados sistemas filtrantes semelhantes.

Além disso, recomenda-se que novos estudos avaliem o desempenho do filtro ao longo de períodos mais prolongados de operação, relacionando a eficiência de remoção com o tempo de uso do leito filtrante, a frequência de retrolavagem, o volume de água tratado e a necessidade de regeneração ou substituição da zeólita comercial e da areia quartzosa. Essa abordagem poderá contribuir para a definição de critérios mais precisos de manutenção, dimensionamento e vida útil do leito filtrante em sistemas residenciais voltados ao tratamento de águas subterrâneas com presença de ferro e manganês.

Portanto, a continuidade da pesquisa poderá contribuir não apenas para explicar as diferenças verificadas entre poços próximos, mas também para aperfeiçoar o uso de filtros residenciais em Palmas-TO, oferecendo parâmetros mais seguros para seleção do meio filtrante, frequência de manutenção, tempo de troca dos materiais e acompanhamento da qualidade da água tratada.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for manganese**. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2012.

ALVES, Dilson Neander Botelho. **Remoção de ferro em água de irrigação através de filtragem em areia e zeólita**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 24. ed. Washington, DC: APHA Press, 2023.

ANDREWS, Nancy C. Disorders of iron metabolism. **The New England Journal of Medicine**, Boston, v. 341, n. 26, p. 1986-1995, 1999. DOI: 10.1056/NEJM199912233412607.

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. 2. ed. Amsterdam: CRC Press/Balkema, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

AZEVEDO, Rainier Pedraça de. Utilização de filtro artesanal à base de zeólita para remoção de ferro e manganês de água subterrânea em comunidade na Amazônia. In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO DA ASSEMAE, 48., 2018, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: ASSEMAE, 2018. p. 275-282.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA DA 4ª REGIÃO. **Manganês**. São Paulo: CRQ-IV, 2023.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira. **Processos físicos e físico-químicos de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2002.

GIANNETTO, Giuseppe. **Zeolitas: características, propiedades y aplicaciones industriales**. Caracas: Editorial Innovación Tecnológica, 1990.

GOOGLE EARTH PRO. **Imagem de satélite dos pontos de coleta no Condomínio Aldeia do Sol, Palmas-TO**. 2026.

HACH COMPANY. **Hach water analysis handbook**. Loveland: Hach Company, 2024.

HEM, John David. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3. ed. Alexandria: U.S. Geological Survey, 1985.

KNOCKE, William R. et al. Kinetics of manganese and iron oxidation by potassium permanganate and chlorine dioxide. **Journal of the American Water Works Association**, Denver, v. 83, n. 6, p. 80-87, 1991. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1991.tb07167.x.

LOPES, Marcos Vinícius Cardoso dos Reis. **Remoção de manganês de água de abastecimento empregando zeólita comercial**. 2024. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2024.

LOVLEY, Derek R.; HOLMES, Dawn E.; NEVIN, Kelly P. Dissimilatory Fe(III) and Mn(IV) reduction. **Advances in Microbial Physiology**, v. 49, p. 219-286, 2004. DOI: 10.1016/S0065-2911(04)49005-5.

MORUZZI, Rodrigo Braga; REALI, Marco Antonio Penalva. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 29-43, abr. 2012.

MUMPTON, Frederick A. La roca magica: uses of natural zeolites in agriculture and industry. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, n. 7, p. 3463-3470, 1999. DOI: 10.1073/pnas.96.7.3463.

PALMAS. Instituto Municipal de Planejamento Urbano de Palmas. **Leitura técnica: caracterização do meio físico: recursos hídricos: Anexo 161**. Palmas: Prefeitura Municipal de Palmas, 2017.

PAULINO, Leonardo Pimenta. **Análise de potabilidade da água proveniente de um poço artesiano em um condomínio rural de Palmas-TO**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2016.

RESENDE, Nélcio das Graças de Andrade da Mata; MONTE, Marisa Bezerra de Mello. Zeólitas naturais. In: LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas (org.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

ROCHA, Renan Azevedo da; AFONSO, Júlio Carlos. Manganês. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 103-105, maio 2012.

STUMM, Werner; MORGAN, James J. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Distribution system indicators of drinking water quality**. Washington, DC: USEPA, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **2018 edition of the drinking water standards and health advisories tables**. Washington, DC: Office of Water, 2018.

VISTUBA, Jacqueline Pereira. **Remoção de ferro e manganês de água de abastecimento por meio de filtração adsorbtiva**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum**. Geneva: World Health Organization, 2017.