



Pré-dimensionamento, escolha e implantação de um sistema de filtro abrandador em um condomínio visando a redução da dureza da água e seus benefícios para os moradores

Guilherme Henrique Diniz Barbosa¹, Leonardo Martins da Costa Moreira¹, Mateus de Paula Abreu¹, Sidney Veríssimo Lima¹

(guilhermehdiniz@gmail.com, leonardo.mcm@icloud.com, mateus.paula-18@hotmail.com, sidneylima370@gmail.com)

Professor orientador: Alexandre Aurélio Santos Diniz

Coordenação de curso de Engenharia Mecânica

Resumo

No presente trabalho, foram estudados os problemas causados pela água dura em um condomínio residencial, identificando suas consequências nas instalações e para os moradores. Foram analisadas as características da água do condomínio e do sistema hidráulico como um todo, a fim de selecionar um filtro abrandador adequado. Realizou-se um estudo de viabilidade, considerando critérios técnicos e econômicos, para implantação do filtro. Após a implantação, avaliou-se o impacto na qualidade da água fornecida, considerando a redução da dureza e outros parâmetros relevantes. Concluiu-se que a implantação do filtro abrandador foi uma solução eficaz, proporcionando benefícios aos moradores, redução de custos e melhorias na qualidade da água. A implementação do filtro, promoveu melhora na qualidade de vida no condomínio.

Palavras-chave: Filtro abrandador. Água dura. Condomínio. Implantação.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água é um fator crítico para a saúde e o bem-estar da população. No entanto, muitas vezes a água potável fornecida por empresas de tratamento e abastecimento públicas e/ou privadas apresentam elevada concentração de minerais, podendo comprometer a qualidade e a vida útil dos equipamentos e tubulações que utilizam essa água.

Segundo Vilhena (2017), a dureza da água pode ser definida como aquela que possui um alto teor de cálcio e magnésio dissolvidos na mesma. Esses sais são responsáveis pela formação de incrustações nas tubulações e equipamentos que se servem dessa água, o que pode reduzir a eficiência dos sistemas e aumentar custos diretos e indiretos.

Além de ser nocivos aos sistemas hidráulicos e aos equipamentos domésticos em geral, o conteúdo mineral na água dura utilizado para uso externo, segundo a OMS (2009), pode ressecar a pele e cabelos e, também, agravar casos de dermatite. Para o consumo, segundo Straci (2012), existem indícios de que o consumo de água dura possa causar uma maior incidência de casos de cálculo renal. “As concentrações elevadas de cálcio e magnésio produzem na água um gosto salobro e efeitos biológicos adversos, não eliminam a sede e podem ter efeitos laxativos.

Existem tecnologias disponíveis para reduzir a dureza da água, dentre elas o uso do filtro abrandador. De acordo com a NeoWater (2021), a solução do problema pode ser alcançada através de “abrandamento de água”, processo de troca iônica onde resinas carregadas ionicamente substituem os íons dos minerais de dureza (Cálcio e Magnésio) por íons de sódio.

¹ Graduação em Engenharia Mecânica – Centro Universitário UNA.

A redução da dureza da água por meio de um filtro abrandador pode trazer diversos benefícios para a população, dentre eles, a redução dos custos com manutenção de equipamentos e tubulações, melhoria da qualidade da água fornecida e redução do consumo de energia elétrica.

1.1 Tema

Pré-dimensionamento, escolha e implantação de um sistema de filtro abrandador em um condomínio visando a redução da dureza da água e seus benefícios para os moradores.

1.2 Justificativa

A implantação de um filtro abrandador é um tema relevante e atual, pois pode contribuir para o funcionamento eficaz dos equipamentos domésticos que necessitam da passagem de água, como chuveiros, máquina de lavar, lava louças, além de evitar incrustações nas redes hidráulicas. Assim pode-se reduzir custos com manutenção, reposição de peças, desperdício de água, gastos com consumo de água e luz do consumidor. O estudo pode contribuir para a disseminação do uso de filtros abrandadores em condomínios garantindo a qualidade da água e equipamentos e sistemas hidráulicos.

1.3 Problematização

Dispondo-se das informações citadas, torna-se relevante o questionamento: Qual é o impacto da dureza da água para os consumidores e como a implantação de um filtro abrandador pode reduzir os tais problemas?

1.4 Objetivo geral

Espera-se contribuir para a análise e compreensão dos aspectos relevantes para o pré-dimensionamento e seleção de um filtro abrandador em condomínios residenciais, a fim de oferecer uma alternativa eficiente e sustentável para a melhoria da qualidade da água fornecida à população de uma cidade na região da Grande BH em Minas Gerais.

1.5 Objetivos específicos

- Identificar os problemas que a água dura causa nas instalações e aos moradores do condomínio residencial.
- Identificar as características da água do condomínio e demais parâmetros relevantes para a implantação do filtro abrandador.
- Selecionar um modelo de filtro abrandador adequado para o porte e perfil de uso do condomínio, considerando critérios técnicos, econômicos e de sustentabilidade.
- Realizar um estudo de viabilidade para a implantação do filtro abrandador, incluindo o pré-dimensionamento e benefícios do equipamento.
- Avaliar os impactos da implantação do filtro abrandador na qualidade da água fornecida para os moradores do condomínio, considerando a redução de dureza e outros parâmetros relevantes.

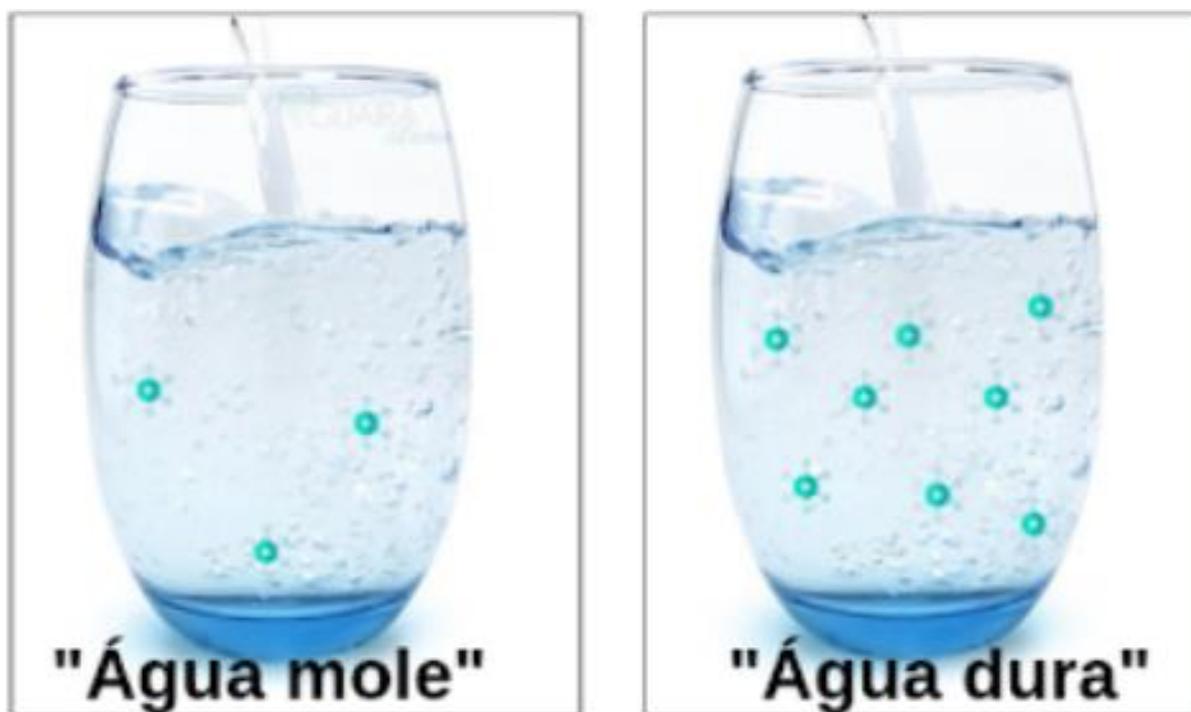
2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Dureza da água

A água destinada para o consumo humano é denominada potável. “Para ser considerada potável a água necessita respeitar os valores máximos permitidos impostos pela legislação brasileira, que estabelece parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que atendam aos padrões de potabilidade e não ofereçam riscos à saúde”. (SILVA, 2014 apud PEREIRA, 2019).

A água dura é caracterizada pela presença de sais de cálcio e magnésio em sua composição. Esses sais podem se acumular em tubulações, equipamentos e eletrodomésticos, resultando em problemas como entupimento e redução da vida útil dos equipamentos. Segundo Lyman (2005), a água dura é causada pela presença de íons de cálcio e magnésio, que são dissolvidos do solo e rochas através dos quais a água flui.

Figura 1 – Representação da concentração de minerais na água



Fonte: (GUAIRA CLEAN, 2020)

A unidade de medida de dureza da água é expressa em miligramas por litro (mg/L) ou partes por milhão (ppm) de carbonato de cálcio (CaCO_3). Segundo Frenzel (2010), a dureza da água pode ser classificada em duas categorias: temporária e permanente. A dureza temporária é causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio, que podem ser removidos por fervura da água. Já a dureza permanente é causada pela presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, que não podem ser removidos por fervura da água.

A classificação da dureza da água pode variar em diferentes regiões do mundo. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a água é considerada dura quando a dureza total está acima de 60 mg/L ou ppm de CaCO_3 . No entanto, algumas regiões podem adotar uma classificação diferente, como é o caso dos Estados Unidos, que consideram água dura quando a dureza total está acima de 120 mg/L de CaCO_3 (LYMAN, 2005).

Tabela 1 – Classificação da dureza da água

Grau de dureza	ppm (mg/L)
Branda	0 - 17
Moderadamente dura	18 - 60
Levemente dura	61 - 120
Dura	121 - 180
Muito dura	Acima de 181

Fonte: Adaptado de Winterhalter (2021)

A faixa mais ideal para consumo de água varia de acordo com a legislação de cada país. No Brasil, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde estabelece que a dureza da água não deve ser superior a 500 mg/L ou ppm de CaCO₃ para consumo humano (Brasil, 2017). Segundo Frenzel (2010), a dureza da água ideal para consumo humano deve estar entre 100 e 300 mg/L de CaCO₃.

No que diz respeito à dureza da água fornecida no município estudado em Minas Gerais, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) do município informa que a água fornecida apresenta uma dureza média total de 195 mg/L de CaCO₃ (SAAE, 2021).

2.2 Água dura e saúde

Muito se associa erroneamente, água dura à problemas de saúde, principalmente quando se trata dos rins. Segundo estudo realizado por Sengupta (2013), várias investigações epidemiológicas demonstraram a relação entre risco de doença cardiovascular, retardo de crescimento, insuficiência reprodutiva e outros problemas de saúde e dureza da água potável ou seu teor de magnésio e cálcio. Porém, não tem nenhum efeito adverso conhecido para a saúde, segundo a OMS (2009).

Por outro lado, é comprovado que as águas com elevados níveis de dureza são prejudiciais à saúde quando se trata do uso externo. Segundo Doan e Nong (2022), no cabelo, a água dura pode causar acúmulo de minerais na superfície do fio, tornando-o áspero e quebradiço. Na pele, a água dura pode causar ressecamento, irritação e inflamação. Isso ocorre porque os minerais presentes na água podem formar uma camada de sujeira na pele, impedindo a absorção de hidratantes e outros produtos de cuidados com a pele. Isso pode levar a problemas como acne e dermatite.

Para minimizar os efeitos da água dura, é recomendável usar produtos de limpeza e cuidados pessoais específicos para esse tipo de água. Isso pode incluir o uso de shampoos e condicionadores que contenham agentes quelantes, que ajudam a remover os minerais do cabelo, e o uso de cremes hidratantes e loções para a pele que contenham ingredientes hidratantes para compensar a perda de umidade causada pela água dura (DOAN; NONG, 2022).

2.3 Incrustamentos por água dura

A água dura pode causar incrustação em residências por conter altas concentrações de minerais, causado pela precipitação de sais de cálcio e magnésio, principalmente em águas quentes. Esses minerais podem se acumular em superfícies de metal, como canos e torneiras, em materiais de porcelana, cerâmica, e vidro e formar depósitos sólidos, conhecidos como incrustações ou depósitos de calcário (NIEMEYER, 1994).

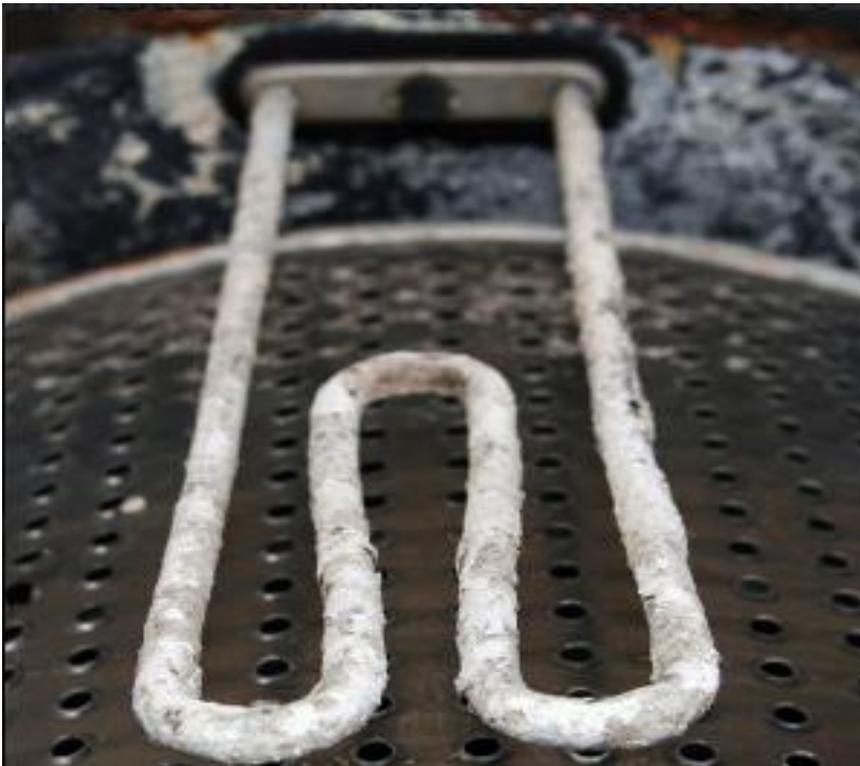
Sobre “incrustamentos por água dura”, Pereira (2019) comenta que:

Com os efeitos da água dura nos encanamentos a vida útil deles é diminuída, e a necessidade de reparos aumenta. Os acúmulos de minerais causam entupimentos graduais em pontos como torneiras, chuveiros e válvulas, o que reduz o fluxo dos tubos e pode, mais cedo ou mais tarde, deixá-los completamente entupidos.

Segundo Niemeyer, (1994), o problema se agrava quando a água dura é aquecida. Esses minerais se precipitam e se depositam nas superfícies internas dos equipamentos, como aquecedores de água e chuveiros. Com o tempo, esses depósitos podem se acumular e obstruir as tubulações, reduzir o fluxo de água e afetar o desempenho dos equipamentos diminuindo a eficiência energética dos equipamentos, aumentando o consumo de energia e os custos de manutenção.

A formação de incrustações minerais em superfícies de transferência de calor associadas a processos de aquecimento de água é um problema complexo que muitas vezes é caro de remediar. A formação de depósitos inorgânicos pouco solúveis pode prejudicar o desempenho de eletrodomésticos, como caldeiras, ferros a vapor, cafeteiras, máquinas de lavar, lava-louças e sistemas de distribuição de água potável. A deposição superficial provoca uma redução na eficiência de transferência de calor, aumentando o consumo de energia e o bloqueio de linhas de fluxo em dispositivos domésticos submetidos a incrustação (ALLGAILANI; SANNI; CHARPENTIER; CRISP; BRUINS; NEVILLE; 2020).

Figura 2 – Exemplo de incrustação por água dura



Fonte: (GRUPO HÍDRICA, 2016)

As incrustações por água dura podem ser difíceis de remover e, se não tratadas, podem causar danos permanentes nos equipamentos e tubulações. Existem várias soluções para reduzir a formação de incrustações por água dura, como o uso de amaciadores de água, a instalação de filtros de água e a limpeza regular das superfícies afetadas (PEREIRA, 2019).

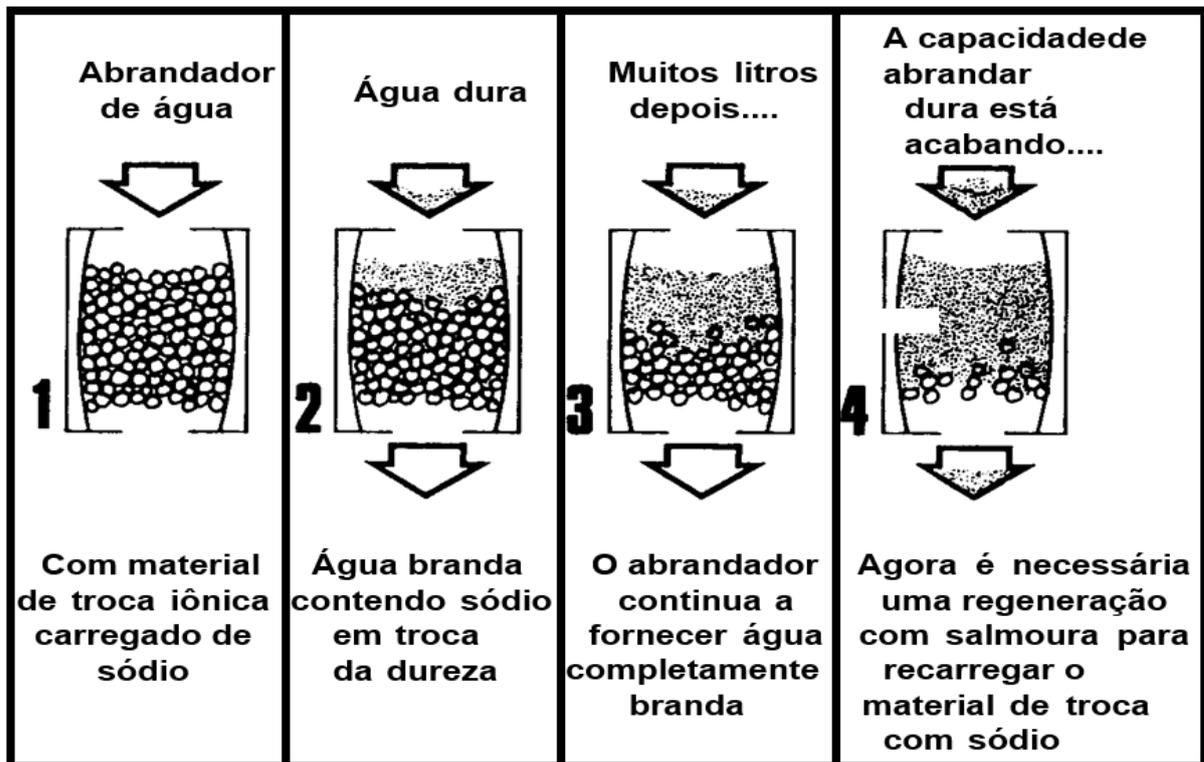
2.4 Abrandamento por troca iônica

Uma das formas de tratar a água dura é através do processo de abrandamento, esse processo envolve a utilização de resinas carregadas ionicamente para substituir os íons dos minerais de dureza por íons de sódio (ECOHOUSE, 2021). Quando a água passa através da resina, os íons de cálcio e magnésio são capturados pelos grupos funcionais da resina, enquanto íons sódio são liberados na água, tornando-a mais branda BLOUNT (2019).

Segundo a ECOHOUSE (2021), a água tem a capacidade de dividir algumas moléculas dissolvidas em partículas carregadas positiva e negativamente, denominadas íons. Esses íons são classificados como cátions, que possuem carga positiva, e ânions, que possuem carga negativa. Na troca iônica, somente os cátions da resina são livres para se movimentar, enquanto a porção de ânions da resina é estável e não se dissolvem na água.

O processo é dividido em dois ciclos: adsorção e regeneração. Na fase de adsorção, a água dura é direcionada para o abrandador, onde passa pela resina de troca iônica. Durante essa fase, os íons de cálcio e magnésio são capturados pela resina e íons sódio são liberados na água.

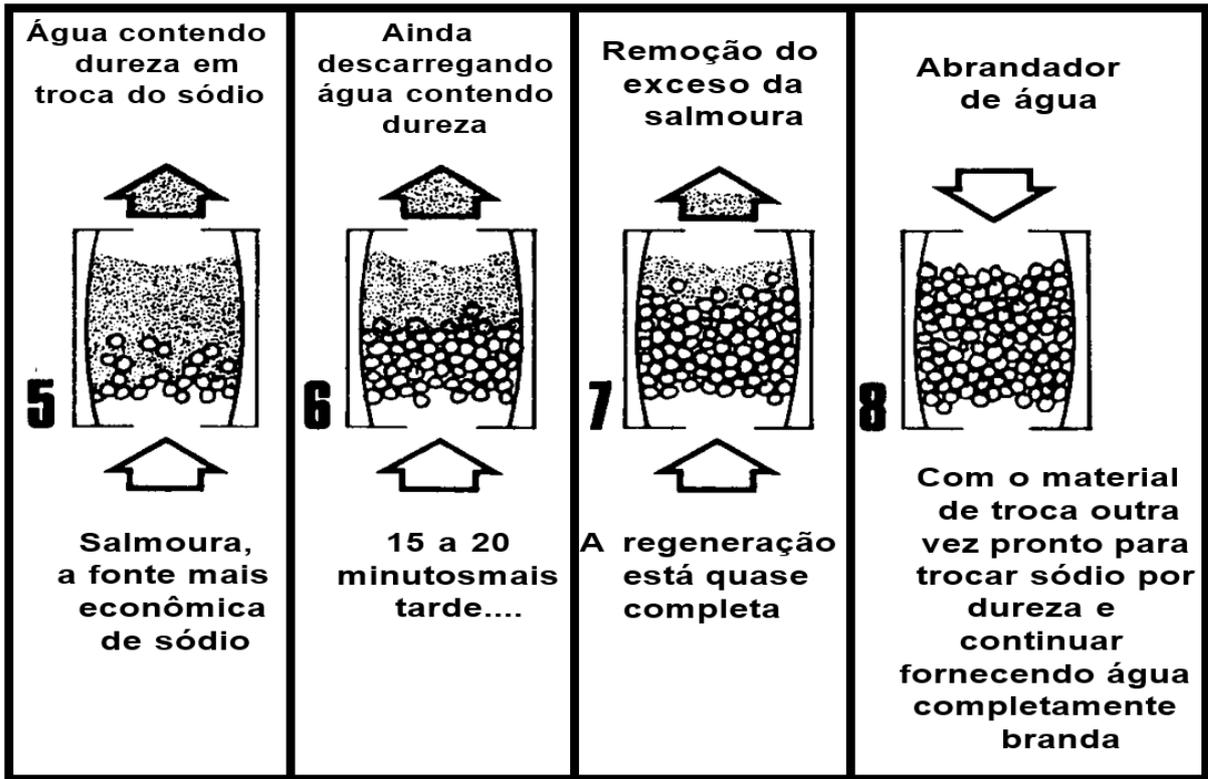
Figura 3 – Ciclo de adsorção



Fonte: (ECOHOUSE, 2021)

Na fase de regeneração, a resina é lavada com uma solução salina concentrada, geralmente solução de cloreto de sódio, que desloca os íons de cálcio e magnésio da resina e os substitui pelos íons de sódio (PRADO, 2018). Após a regeneração, a resina de troca iônica é capaz de remover novamente os sais de cálcio e magnésio da água, iniciando um novo ciclo de abrandamento e regeneração.

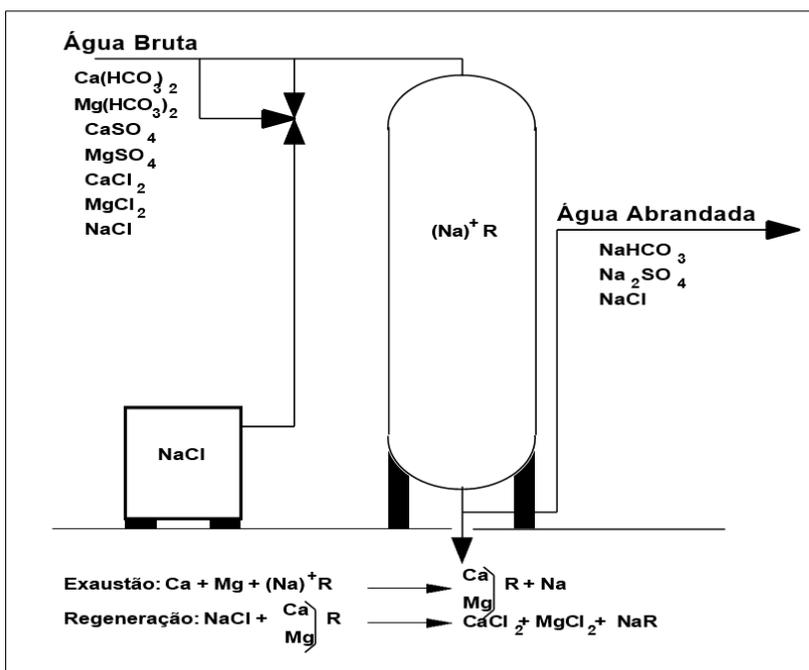
Figura 4 – Ciclo de regeneração



Fonte: (ECOHOUSE, 2021)

Durante o ciclo de regeneração, ocorrem diversas reações químicas na resina de troca iônica. Segundo Andrade (2017), a resina contendo íons cálcio e magnésio é tratada com solução de cloreto de sódio, que contém íons sódio. Durante essa reação, ocorre a troca dos íons cálcio e magnésio pelos íons sódio, que são liberados na solução.

Figura 5 – Reações químicas no abrandador



Fonte: (ECOHOUSE, 2021)

O funcionamento dos abrandadores de água baseia-se no princípio da seletividade, de acordo com a ECOHOUSE (2021). Essa seletividade está relacionada à valência e ao peso molecular dos íons presentes na água. Os cátions divalentes, que possuem duas cargas positivas, são preferencialmente retidos pela resina catiônica em comparação aos cátions monovalentes, que possuem apenas uma carga positiva.

Além disso, a seletividade da resina catiônica em relação aos cátions com a mesma carga é determinada pelo peso molecular, conforme explica a ECOHOUSE (2021). Quanto maior o peso molecular, maior é a seletividade da resina catiônica para reter esses íons. Tornando assim, o processo de troca iônica utilizando resinas catiônicas, uma solução eficaz para o problema da água dura.

Tabela 2 – Seletividade da resina frente a cátions

Elemento	Símbolo	Carga	Peso Molecular	Seletividade
Bário	Ba	+ ²	137,34	Maior
Ferro	Fe	+ ²	55,847	↓
Cálcio	Ca	+ ²	40,08	↓
Potássio	K	+ ¹	39,102	↓
Magnésio	Mg	+ ²	24,305	↓
Sódio	Na	+ ¹	22,9898	↓
Hidrogênio	H	+ ¹	1,008	Menor

Fonte: (ECOHOUSE, 2021)

2.5 Mecânica dos fluidos

A escolha de um filtro abrandador para um condomínio pode ser influenciada por diversos fatores relacionados à mecânica dos fluidos. Para entender essas influências, é preciso compreender algumas características básicas do sistema hidráulico, como vazão, pressão hidráulica do sistema, detalhamento da linha de tubulação, cálculo da potência e seleção do sistema de bombeamento. Além disso, é importante considerar as propriedades dos filtros abrandadores e como elas podem afetar a eficiência do processo de remoção de impurezas.

Um dos principais fatores que podem impactar na escolha de um filtro abrandador é a vazão de água que será tratada. Segundo White (2011), a vazão é a quantidade de fluido que passa por um determinado ponto em um intervalo de tempo. Isso significa que a capacidade de um filtro abrandador deve estar adequada à vazão de água que será tratada no condomínio, para garantir que todo o volume de água seja filtrado de maneira eficiente.

Outro ponto crítico para a escolha do filtro e seus acessórios pode ser a queda de pressão em tubulações. Segundo Guedes (2018) a queda de pressão ou perda de carga ocorre devido a vários fatores, como o comprimento virtual da tubulação e a altura manométrica. O comprimento virtual refere-se ao comprimento equivalente de uma tubulação que teria a mesma queda de pressão que o trecho real em consideração.

Para o cálculo do comprimento virtual faz-se a troca por equivalência conforme a tabela a seguir:

Tabela 3 – Tabela de comprimentos equivalentes a perda localizada

Diâmetro D	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tes 90° Passagem Direta	Tes 90° Saída de Lado	Tes 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Borda	Saída de Canalização	Válvula de pé e orivo	Válvula de Retenção		Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro Angulo Aberto
mm pol.												Tipo Leve	Tipo Pessado			
15 (1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20 (3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25 (1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	3,8	15,0	0,3	8,4
32 (1 ¼)	2,0	1,0	0,7	0,5	4,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40 (1 ½)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50 (2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
60 (2 ½)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,3	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	18,0
75 (3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
85 (4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,7	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	15,0	42,3	1,0	22,1
110 (5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2
140 (6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,6	11,1	11,1	3,6	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

Fonte: (GUEDES, 2018)

A altura manométrica está relacionada à pressão exercida por um fluido em um determinado ponto em relação a um ponto de referência. Ela é afetada pela altura da coluna de fluido acima do ponto de referência, pela densidade do fluido e pela aceleração da gravidade. Segundo Guedes (2018), a altura manométrica de uma bomba representa qual a altura que uma bomba consegue levantar um líquido. A altura manométrica é medida em metros (m) e é independente da densidade do líquido.

De acordo com Guedes (2018), para calcular a altura manométrica total de uma bomba é necessário seguir uma série de equações que envolvem altura de manométrica de sucção e de recalque.

Altura de sucção – é medida em metros, e se trata da distância entre a ponta do tubo de sucção até a bomba.

Altura de recalque – é medida em metros, e se trata da distância entre o bocal de sucção da bomba de água até a saída da tubulação de descarga.

$$Hm = (Hs + hts) + (Hr + htr) \quad (1)$$

$$hts = (10,646 \times Q^{1,852} \times Lvs) / (C^{1,852} \times Ds^{4,87}) \quad (2)$$

$$htr = (10,646 \times Q^{1,852} \times Lvr) / (C^{1,852} \times Dr^{4,87}) \quad (3)$$

Onde:

Hm = Altura manométrica total do sistema (m);

Hs = Diferença de altura da sucção (m);

hts = Altura manométrica total de sucção (m);

Hr = Diferença de altura do recalque (m);

htr = Altura manométrica total de recalque (m);

Q = Vazão da bomba m³/s;

Lvs = Comprimento virtual da tubulação de sucção (m);

Lvr = Comprimento virtual da tubulação de recalque (m);

Ds = Diâmetro da tubulação de sucção (m);

Dr = Diâmetro da tubulação de recalque (m);

10,646 = constante da equação;

2.6 Pré-dimensionamento do filtro abrandador

O dimensionamento adequado do abrandador é essencial para garantir a eficiência e o desempenho do sistema de tratamento de água. A Ecohouse (2021) discute diversos fatores que devem ser considerados no dimensionamento do abrandador, tais como taxa de vazão, volume do leito de resina, dosagem de sal e mudanças de condições.

A taxa de vazão é um fator crítico a ser considerado no dimensionamento do abrandador. Conforme destacado pela Ecohouse (2021), se a taxa de vazão for menor que a especificada, ocorrerá um aumento do tempo de contato entre a água e o leito de resina. Isso pode levar ao surgimento de caminhos preferenciais no leito, reduzindo sua eficiência. Por outro lado, se a taxa de vazão for maior que a especificada, ocorrerá uma redução do tempo de contato entre a água e o leito de resina, resultando em uma redução da eficiência de remoção de dureza e até mesmo a possibilidade de fuga do leito.

Figura 6 – Esquema como componentes do filtro abrandador



Fonte: (ECOHOUSE, 2021)

O volume do leito de resina também desempenha um papel crucial no dimensionamento do abrandador. Se o volume do leito de resina for menor que o especificado, haverá uma redução do tempo de contato entre a água e o leito de resina. Isso exigirá um aumento na frequência das regenerações, embora possa resultar em uma regeneração mais eficiente. Por outro lado, se o volume do leito de resina for maior que o especificado, ocorrerá um aumento do tempo de contato entre a água e o leito de resina. Isso pode permitir a redução da frequência das regenerações, porém pode afetar a eficiência da regeneração devido à dificuldade de se conseguir a fluidez adequada do leito.

A dosagem de sal é outro fator fundamental para a eficiência do abrandador, como ressaltado pela Ecohouse (2021). Baixas dosagens de sal podem diminuir a capacidade de remoção de dureza e aumentar o vazamento de dureza. A concentração de sal normalmente varia entre 8% e 15%, sendo que a salmoura saturada possui uma concentração de 26,6%. A salmoura é diluída e passa através do leito de resina.

Além disso, mudanças nas condições de operação podem afetar o desempenho do abrandador. Conforme mencionado pela Ecohouse (2021), quedas de eficiência podem ocorrer devido a sazonalidade na concentração de dureza, aumento da vazão do sistema e frequência

de regeneração inadequada. A qualidade da regeneração também influencia o desempenho do abrandador.

Ao dimensionar um abrandador, é importante considerar todos os fatores mencionados acima, e não apenas a vazão de entrada. Como apontado pela Ecohouse (2021), o dimensionamento baseado apenas na vazão é um erro comum que pode levar a prejuízos significativos na operação, resultando em tempos de campanha reduzidos devido ao subdimensionamento do leito.

A empresa ECOHOUSE (2021) apresenta uma equação fundamental para o dimensionamento dos abrandadores, que leva em consideração a vazão volumétrica, a concentração de dureza e o tempo de operação.

De acordo com a equação fornecida pela ECOHOUSE (2021), o volume de resina necessário (V_{resina}) é calculado da seguinte forma:

$$V_{resina} (L) = [Q(m^3/h) * D(mg/L) * t(h)] / 60 \quad (4)$$

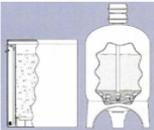
Onde a vazão volumétrica (Q) é a quantidade de água que passa pelo abrandador em metros cúbicos por hora (m^3/h). A concentração de dureza (D) é medida em miligramas por litro (mg/L) ou partes por milhão (ppm). O tempo de operação (t) é o período de funcionamento do abrandador, excluindo o tempo de retrolavagem, e é expresso em horas.

Essa equação é usada para determinar o volume de resina em litros necessário para um determinado sistema de abrandamento. O volume de resina também pode ser expresso em pés cúbicos, conforme a seguinte fórmula:

$$V_{resina} (ft^3) = V_{resina} (L) / 28 \quad (5)$$

Através da equação fornecida, fica evidente que uma mesma vazão de entrada pode exigir diferentes tamanhos de leito, dependendo das variações nos níveis de dureza ou do tempo de operação, por exemplo.

Tabela 4 – Tipos de abrandadores de acordo com o volume do leito de resina

LINHA	MODELO	VOLUME DO LEITO DE RESINA (ft ³)	EXEMPLO	
ABR	ABR 2000	2		Abrandador de pequeno porte, em geral empregado em instalações residenciais e comerciais.
OS	OS 4015	4		Linha de Ablandadores de médio porte, em geral empregados em instalações comerciais.
	OS 5015	5		
	OS 7015	7		
KS	KS 10000	10		Linha de Ablandadores de grande porte, em geral empregados em instalações industriais.
	KS 12000	12		
	KS 15000	15		
	KS 18000	18		
GS	GS 25000	25		Linha de Ablandadores de porte, Municipal/Industrial.
	GS 30000	30		
	GS 40000	40		

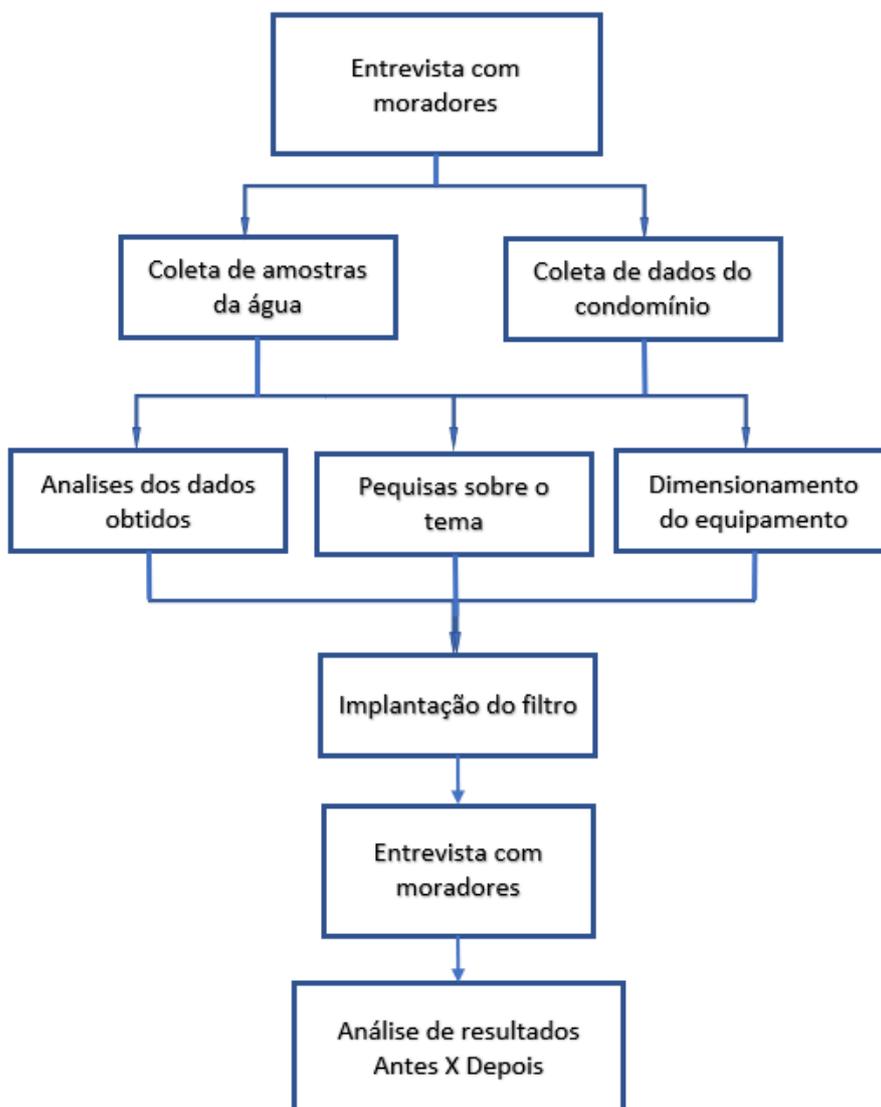
Fonte: (ECOHOUSE, 2021)

3. METODOLOGIA

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa e definição do filtro abrandador que melhor atende a população do condomínio estudado.

A pesquisa é de natureza exploratória, e tem como objetivo abranger o conhecimento sobre o tema e avaliar a viabilidade da implantação do equipamento.

Figura 7 – Fluxograma



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 Coletas de dados

Entrevistar os moradores seguindo o sistema de amostragem aleatória, onde qualquer morador do condomínio tem a mesma chance de ser entrevistado, sendo um por cada.

Coletar amostragens de água antes e depois da implantação do equipamento, para análises, tendo como procedimento a coleta em cada um dos imóveis entrevistados, no momento das entrevistas.

Levantar os dados hidráulicos do condomínio com uma avaliação “in loco” de toda rede hidráulica e planta de projeto.

3.2 Análises e pesquisas

Agrupar os dados obtidos na coleta e analisar as características da tubulação do condomínio, considerando fatores como diâmetro, comprimento e material utilizado.

Consultar fornecedores de filtros abrandadores para obter informações sobre os diferentes modelos disponíveis e suas características técnicas.

Avaliar, em conjunto com o fornecedor, qual o melhor filtro abrandador para o condomínio, levando em consideração os dados coletados e as necessidades específicas do condomínio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Entrevista pré-projeto

Esta seção discute os resultados de uma entrevista qualitativa realizada com 28 moradores de 10 apartamentos do condomínio em estudo, com o objetivo de levantar e compreender os transtornos causados pela água dura fornecida no município. Fora apresentado aos residentes do condomínio uma série de possíveis transtornos que a água dura pode causar tanto aos equipamentos hidráulicos e elétricos quanto a saúde. Gerando embasamento para relatos de problemas enfrentados pelos participantes em suas casas.

Troca mensal de resistência de chuveiro: A maioria dos moradores alegaram que a água dura causa incrustações nas resistências dos chuveiros, levando à necessidade de substituição mensal. Além disso, em alguns casos a resistência continua aquecendo mesmo sem a passagem de água, o que obriga os moradores a desligar a chave do chuveiro após cada uso para evitar danos e consumo excessivo de energia.

Substituição frequente do chuveiro: A cada três trocas de resistência em média, é necessário substituir o chuveiro por completo devido aos entupimentos e incrustações no conector da resistência.

Figura 8 – Fotos de resistências de chuveiro coletadas nas residências entrevistadas



Fonte: Fotos coletadas pelos autores.

Manutenção em eletrodomésticos que utilizam água: Os umidificadores necessitam de limpeza diária para prevenir as incrustações e uma espécie de “engorduramento” na região da cerâmica nebulizadora. Máquinas de lavar requerem manutenção periódica para evitar entupimentos, oxidações e danos causados por incrustações.

Figura 9 – Fotos de um umidificador com incrustações de calcário.



Fonte: Fotos coletadas pelos autores.

Figura 10 – Fotos do calcário retirado de uma máquina de lavar.



Fonte: Fotos coletadas pelos autores.

Danos aos cabelos, pele e saúde: Parte dos entrevistados alegam problemas com ressecamento nos cabelos e pele. Uma minoria que não utiliza a água mineral para consumo alega dores nos rins.

Consumo de sabões: Foi relatado também o consumo alto de sabonetes e shampoos para higiene pessoal, e detergentes para a limpeza das louças, devido à dificuldade de se gerar espuma.

Problemas hidráulicos gerais: Vazamentos e desgaste prematuro são detectados com frequência em torneiras, válvulas, tubulação e descargas de vasos sanitários.

Figura 11 – Comparativo de uma placa de calcário, que se desprende da válvula de descarga de uma das residências, com uma moeda.



Fonte: Fotos coletadas pelos autores.

4.2 Coleta de dados do condomínio para definição do filtro abrandador

Para uma seleção eficaz de um filtro abrandador, fez-se necessário o levantamento dos seguintes dados do condomínio:

- Vazão volumétrica (m^3/h ou l/h).
- Tempo de operação, desconsiderando o período de retrolavagem (horas).
- Concentração de dureza (mg/L ou ppm).

4.2.1 Vazão volumétrica (m^3/h ou l/h):

A alimentação da caixa d'água do condomínio é realizada com o auxílio de uma bomba. Portanto para determinar a vazão a ser considerada no cálculo, levantou-se in loco o modelo e vazão da bomba existente utilizada para abastecimento da caixa d'água no topo do prédio (dados verificados in loco pelos integrantes da pesquisa com acompanhamento do síndico do condomínio):

Bomba Jacuzzi modelo 3DL1-T

Vazão média: $2m^3/h$.

Figura 12 – Foto da bomba instalada/ imagem ilustrativa do modelo da bomba



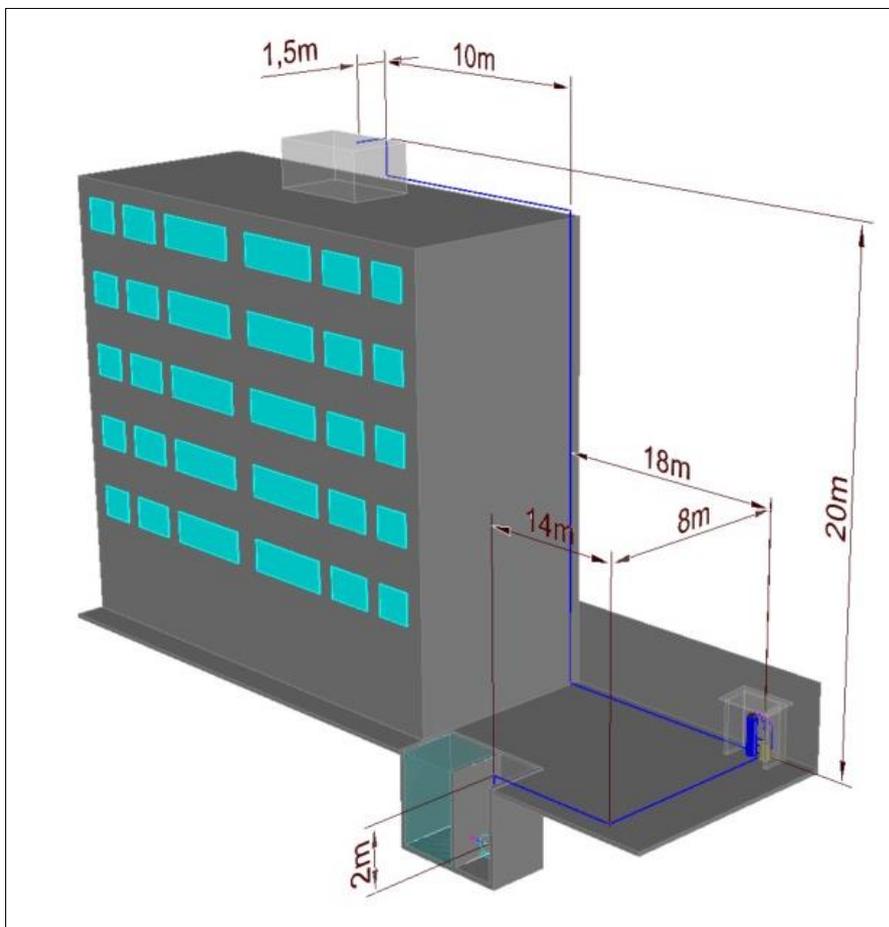
Fonte: Foto coletada pelos autores / imagem retirada do catálogo ricardobombas.com.br.

Para seguir o projeto com a bomba existente no condomínio, calculou-se a performance da bomba em relação ao atendimento da demanda do condomínio. A verificação da eficiência de uma bomba que alimenta um filtro abrandador é essencial para garantir o abastecimento adequado de água para a caixa d'água no topo de um prédio.

Portanto, ao verificar a eficiência da bomba, é possível identificar e corrigir qualquer problema antes que ele comprometa o fornecimento de água. Isso ajuda a garantir um abastecimento confiável e contínuo de água limpa, mantendo a qualidade e a quantidade adequadas de água na caixa d'água no topo do edifício.

Para iniciar o cálculo são necessários calcular as alturas manométricas de sucção (trecho de alimentação da bomba) e recalque (trecho a partir da bomba até a caixa d'água). Assim esboçado um isométrico esquemático do sistema hidráulico do condomínio, com a finalidade de auxiliar no cálculo de perda de carga.

Figura 13 – Isométrico representativo do sistema hidráulico do prédio



Fonte: Elaborado pelos autores

Dados:

- Vazão = 2 m³/h ou 0,000555m³/s
- Diâmetro do recalque (PVC): 3/4" ou 19,0mm.
- Diâmetro da sucção (PVC): 1" ou 25,4mm.
- Altura Manométrica Total (mca):?
- Constante de rugosidade para o PVC: 125
- Diferença de altura de sucção: 0m
- Diferença de altura de recalque: 22m

Partindo para o cálculo da altura manométrica através das equações:

$$Hm = (Hs + hts) + (Hr + htr)$$

$$hts = (10,646 \times Q^{1,852} \times Lvs) / (C^{1,852} \times Ds^{4,87})$$

$$htr = (10,646 \times Q^{1,852} \times Lvr) / (C^{1,852} \times Dr^{4,87})$$

Onde:

Hm = Altura manométrica total do sistema (m);

Hs = Diferença de altura da sucção (m);

hts = Altura manométrica total de sucção (m);

Hr = Diferença de altura do recalque (m);

htr = Altura manométrica total de recalque (m);

Q = Vazão da bomba m³/s;

Lvs = Comprimento virtual da tubulação de sucção (m);

Lvr = Comprimento virtual da tubulação de recalque (m);

Ds = Diâmetro da tubulação de sucção (m);

Dr = Diâmetro da tubulação de recalque (m);

10,646 = constante da equação;

O comprimento virtual da tubulação de sucção e recalque é calculado com de acordo com a tabela de equivalência de perda de carga, para acessórios de tubulação (ver tabela na página 09).

Comprimento equivalente (m) da tubulação de sucção Ø25mm:

- Tubo reto = 1m
- 1 Curva 90° = 0,7m
- 1 Válvula de pé e crivo = 13,3m

Comprimento virtual (Lvs) = 15m

Comprimento equivalente (m) da tubulação de recalque Ø19mm:

- Tubo reto = 80m
- 20 Curva 90° = 10m
- 2 T 90° saída de lado = 4,8m
- 1 T 90° passagem direta = 0,8m
- 2 Válvula de retenção leve 5,4m

Comprimento virtual (Lvr) = 101m

Com todas as variáveis encontradas, parte-se para o cálculo da altura manométrica do sistema (Hm):

$$hts = (10,646 \times 0,000555^{1,852} \times 15) / (125^{1,852} \times 0,025^{4,87})$$

$$hts = 1,24m$$

$$htr = (10,646 \times 0,000555^{1,852} \times 101) / (125^{1,852} \times 0,019^{4,87})$$

$$htr = 31,80m$$

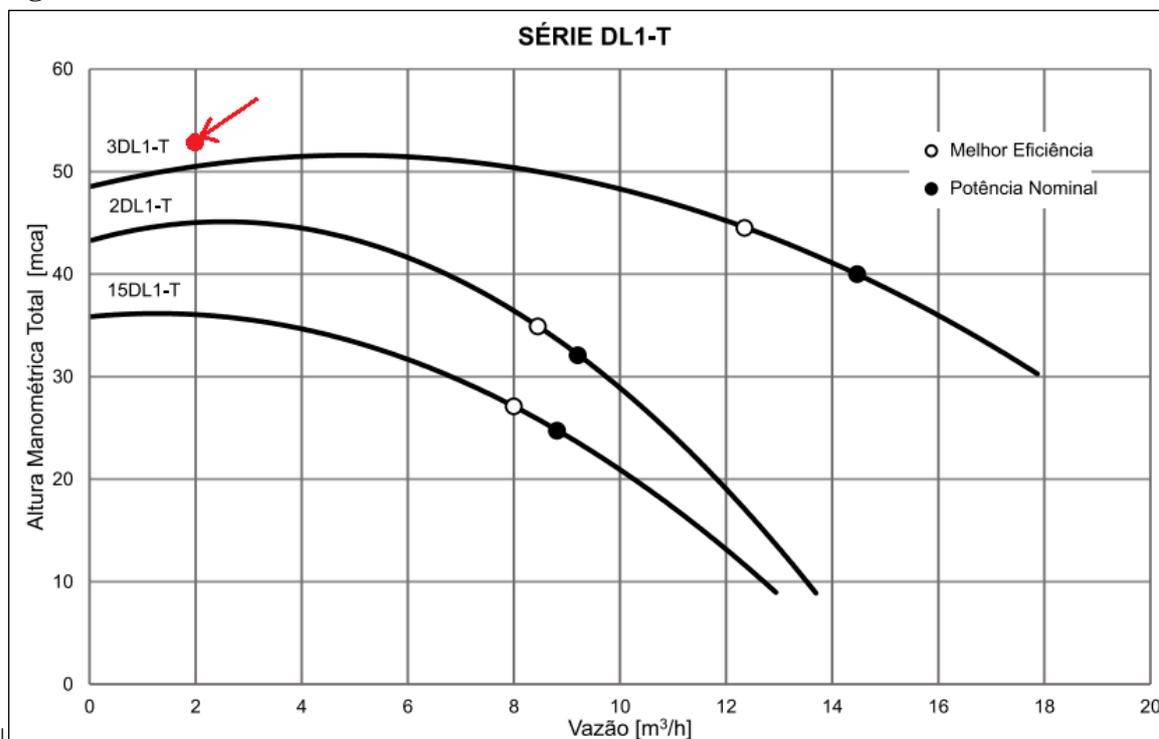
$$Hm = (0 + 1,24) + (22 + 31,80)$$

$$Hm = 55,04 \text{ m ou } 55,04\text{mca}$$

Logo a altura manométrica de todo o sistema hidráulico é 55 metros.

Através do gráfico (altura manométrica x vazão) fornecido pelo fabricante, constata-se que o modelo de bomba (3DL1-T) já instalado no prédio não atua com toda eficiência, mas atende o funcionamento do sistema sem riscos.

Figura 14 – Gráfico de eficiência da bomba



Fonte: (JACUZZI, 2023)

4.2.2 Tempo de operação, desconsiderando o período de retrolavagem (horas).

Para determinar o tempo de operação do sistema fez-se necessário levantar o consumo médio diário e dividir o valor encontrado pela vazão da bomba de alimentação da caixa d'água.

Tabela 5 – Consumo de água do condomínio com base nas contas de água

APARTAMENTO	QUANTIDADE DE MORADORES	CONSUMO MÉDIO MENSAL DE ÁGUA (m³)	CONSUMO MÉDIO DIÁRIO CONSUMO MENSAL/30 (m³)
101	2	12,5	0,4
102	2	10,1	0,3
201	4	14,1	0,5
202	2	9,2	0,3
301	4	18,3	0,6
302	1	5,3	0,2
401	5	20,2	0,7
402	2	9,1	0,3
501	5	21,3	0,7
502	1	8,9	0,3
TOTAL:		129,0m3	4,3m3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Portanto para o cálculo do tempo de operação temos os seguintes dados de entrada:

- Vazão da bomba: 2m³/h
- Consumo médio diário: 4,3m³/dia

Logo:

$$\text{Tempo de operação} = 4,3\text{m}^3/\text{h} / 2\text{m}^3$$

$$\text{Tempo de operação} = 2,15/\text{h}$$

4.2.3 Concentração de dureza da água fornecida para o condomínio (mg/L ou ppm).

Segundo a concessionária que realiza o fornecimento de água no município a média da água é de 195,0mg/L.

Para o cálculo será considerado o arredondamento para 200,0mg/L.

4.3 Pré-dimensionamento do filtro abrandador

Segundo a Ecohouse (2021), para o dimensionamento assertivo de um filtro abrandador, o mesmo deve ser escolhido com base no seu volume de leito de resina. Portanto para a escolha do filtro baseou-se na equação fornecida pela Ecohouse.

$$V_{\text{resina}} (\text{L}) = [Q(\text{m}^3/\text{h}) * D(\text{mg}/\text{L}) * t(\text{h})] / 60$$

Onde:

- Volume de leito de resina - (V_{resina})
- Vazão volumétrica - (Q)
- Concentração de dureza - (D)
- Tempo de operação - (t)

Logo:

$$V_{\text{resina}} (\text{L}) = (2,0 * 200 * 2,15) / 60 = 14 \text{ litros}$$

Transformando o valor encontrado para pés cúbicos (unidade de medida do catálogo):

$$V_{\text{resina}} (\text{ft}^3) = V_{\text{resina}} (\text{L}) / 28$$

$$V_{\text{resina}} (\text{ft}^3) = 14 / 28 = 0,5 \text{ ft}^3$$

Com base na equação e na tabela de modelos de filtro da Ecohouse o modelo mais indicado para o condomínio é da Linha ABR, Modelo ABR 2000 (ou similar).

Tabela 6 – Modelo de filtro abrandador mais indicado para o condomínio

LINHA	MODELO	VOLUME DO LEITO DE RESINA (ft ³)	EXEMPLO
ABR	ABR 2000	2	 Abrandador de pequeno porte, em geral empregado em instalações residenciais e comerciais.

Fonte: (Adaptado de ECOHOUSE, 2021)

Após pesquisa de mercado, optou-se por outro modelo de filtro abrandador similar ao ABR 2000 e com as mesmas características de leito de resina, porém de um fornecedor diferente.

Modelo adquirido:

- MinasMed, WP-1500 Automático.
- Vazão média: 2m³/h ou 0,000555m³/s
- Diâmetro da alimentação de água: 3/4” PVC.

Figura 15 – Foto do modelo de filtro abrandador adquirido pelo condomínio



Fonte: (MINASMED, 2022)

4.4 Estudo de viabilidade

O presente estudo de viabilidade tem como objetivo analisar a viabilidade e o potencial sucesso do projeto em questão, proporcionando uma visão abrangente dos aspectos técnicos, financeiros e operacionais relacionados à sua implementação. Por meio dessa análise criteriosa, busca-se embasar a tomada de decisão, identificando os desafios, riscos e oportunidades associados ao projeto.

4.4.1 Partes interessadas do condomínio:

As partes interessadas foram unânime, ou seja, todos os moradores estão de acordo.

4.4.2 Restrições:

- O valor do investimento não poderá ultrapassar o valor disponível em caixa do condomínio.
- Valor em caixa disponível para o investimento R\$ 15.000,00.
- O Prazo de retorno de investimento deverá ser inferior ao prazo da garantia do equipamento.

4.4.3 Riscos:

- Falta de peças de reposição, uma vez que não existem diversos fornecedores no município.
- Foi desconsiderada a falta de eficiência do equipamento, visto que o fabricante fornecerá garantia mínima de 3 anos.

4.4.4 Valores:

Para a atividade, foram realizados 3 orçamentos com fornecedores distintos, conforme resumo abaixo:

Tabela 7 – Resumo dos orçamentos do filtro abrandador

ORÇAMENTO FILTRO ABRANDADOR		
Fornecedores	Modelos	Valor
Hidrovia	Filtro Abrandador 1,5 a 3,5 m ³ /h - Automático	R\$ 7.713,09
Era Ambiental	kit NEA36AB: Abrandador 2 a 4m ³ /h - Automático	R\$ 6.431,50
Marwilt	Abrandador PRFV Marwilt 2000 L/H - Automático	R\$ 10.620,00
Valor médio mais frete (~10%)		R\$ 9.080,35

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: Para comparação com prejuízos cotidianos causados pela água dura, iremos considerar somente os valores investidos mensalmente na troca de resistências para chuveiros 220V, referentes aos modelos utilizados pelo condomínio.

Tabela 8 – Resumo dos orçamentos das resistências

Orçamento resistência para chuveiros 220v		
Fornecedores	Modelos	Valores
Carrefour	Resistência Chuveiro Ultra 220v 5500 W - Lorenzetti	R\$ 44,49
Submarino	Resistencia Chuveiro Advanced/Top Jet Lorenzetti 110v/220v	R\$ 42,77
Carrefour	Resistência Chuveiro Acqua Duo Ultra 220v 7800w Lorenzetti	R\$ 77,11
Valor médio mensal sem frete x 10 apartamentos		R\$ 547,90

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.4.5 Retorno do investimento:

- Investimento médio: R\$ 9.080,35.
- Gastos com resistências mensais: R\$ 547,90.
- Tempo de retorno: 17 meses.

Obs. Se incluído todos os prejuízos diretos e indiretos, resulta-se em um prazo consideravelmente menor.

4.4.6 Conclusão:

Resumo dos dados coletados:

- Todas as partes do condomínio foram de acordo.
- O valor do investimento está dentro ao valor disponível oferecido pelo condomínio.
- Não foram detectados riscos para a implantação do equipamento.
- O prazo do retorno de investimento (17 meses) está dentro do prazo da garantia (36 meses).

Portanto, conclui-se que o investimento para a implantação do filtro abrandador apresentou-se viável e atenderá a todas as necessidades e expectativas do condomínio.

4.5 Instalação do filtro abrandador

O processo de instalação do filtro abrandador seguiu rigorosamente as diretrizes e especificações técnicas necessárias. Antes da instalação, foi realizado um estudo detalhado para determinar o tamanho e capacidade adequados do filtro, levando em consideração a dureza da água da região, a vazão necessária e outros fatores relevantes. Esse pré-dimensionamento cuidadoso garante que o filtro seja capaz de lidar eficientemente com a demanda de água da instalação.

Figura 16 – Instalação do filtro abrandador



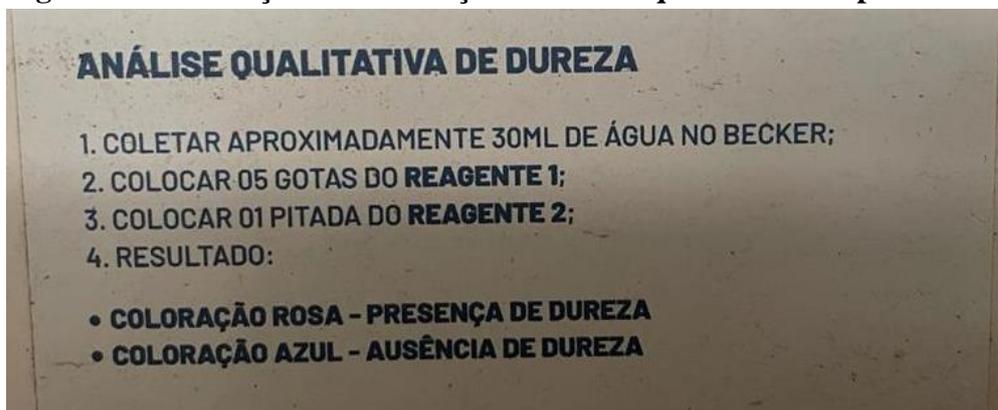
Fonte: Foto coletada pelos autores

4.6 Análise qualitativa da água abrandada

Após a instalação do filtro abrandador, foram realizados testes qualitativos da água dura antes e depois do processo de abrandamento. Esses testes envolvem reagentes (1 – hidróxido de amônia e 2 – negro de eriocromo) que ao entrarem em contato com a água com dureza elevada, resultam em uma solução de coloração rosa. No caso da água abrandada, sem a presença de dureza, tem-se uma solução azulada.

Os resultados dos testes comprovaram de forma conclusiva que a água foi abrandada de maneira eficaz.

Figura 17 – Instruções de realização dos testes qualitativos disponíveis no filtro



Fonte: Foto coletada pelos autores

Figura 18 – Amostra de teste qualitativo da água



Fonte: Foto coletada pelos autores

Como pode ser observado nas análises realizadas in loco, o copo à esquerda, na coloração azul, é resultado da solução com água coletada após o sistema de abrandamento, demonstrando a ausência de dureza. Já no copo à direita com a coloração rosa, tem-se água coletada antes do sistema de abrandamento, o que demonstra presença de dureza.

4.7 Pesquisa de satisfação dos usuários e eficiência do filtro

Além dos testes qualitativos, também foram considerados outros indicadores para avaliar o sucesso do processo de abrandamento da água. Isso inclui a observação de melhorias em equipamentos e tubulações, como a redução de incrustações e obstruções. Além disso, a eficiência dos produtos de limpeza e detergentes deve ter melhorado consideravelmente, uma vez que a água tratada agora está mais suave.

Com base em uma pesquisa de satisfação realizada em relação à implantação do filtro abrandador, constatou-se que o mesmo minimizou significativamente os problemas listados abaixo:

Troca mensal de resistência de chuveiro: Antes da instalação do filtro abrandador, era comum a necessidade frequente de trocar as resistências dos chuveiros, devido à formação de depósitos de minerais. No entanto, após a implementação do filtro, a dureza da água foi reduzida consideravelmente, evitando o acúmulo desses minerais e, conseqüentemente, prolongando a vida útil das resistências dos chuveiros. Isso resultou em economia de tempo e dinheiro para os usuários.

Manutenção em eletrodomésticos que utilizam água: Com a instalação do filtro abrandador, houve uma redução significativa na quantidade de minerais presentes na água, prevenindo problemas advindos de formação de incrustações e obstruções em partes internas de máquinas de lavar, umidificadores e cafeteiras. Conseqüentemente, os usuários relataram uma diminuição na necessidade de manutenção e reparos nesses aparelhos.

Danos aos cabelos, pele e saúde: Com o uso do filtro abrandador, a água ficou mais suave, proporcionando benefícios estéticos e para a saúde. Os usuários relataram melhorias visíveis na aparência dos cabelos e na hidratação da pele, além de uma preocupação reduzida com a ingestão de possíveis minerais prejudiciais.

Problemas hidráulicos gerais: Com o filtro abrandador em funcionamento, a formação dessas incrustações foi significativamente reduzida, garantindo um fluxo de água mais eficiente e evitando problemas hidráulicos em geral. Os usuários relataram uma melhoria notável na pressão e qualidade da água, sem a necessidade frequente de desobstruções ou reparos nas tubulações.

Em resumo, de acordo com a pesquisa de satisfação, a implantação do filtro abrandador teve um impacto positivo em diversos aspectos. Os problemas relacionados à troca frequente de resistência de chuveiro, manutenção em eletrodomésticos, danos aos cabelos, pele e saúde, bem como problemas hidráulicos gerais foram minimizados.

5. CONCLUSÕES

Através da pesquisa realizada neste trabalho, foi possível identificar os problemas causados pela água dura nas instalações e aos moradores do condomínio residencial. Verificou-se que a presença de altos níveis de cálcio e magnésio na água resulta em depósitos de calcário em tubulações, aquecedores, chuveiros e torneiras, obstruindo o fluxo e reduzindo a eficiência dos equipamentos. Além disso, a água dura também pode causar danos aos eletrodomésticos, aumentar o consumo de produtos de limpeza e higiene, e afetar negativamente a qualidade dos cabelos e da pele dos moradores.

Com base nas características da água do condomínio, foi possível selecionar um modelo de filtro abrandador adequado para o porte e perfil de uso do condomínio. Foram considerados critérios técnicos e econômicos na escolha do equipamento, buscando-se uma solução eficaz e que fosse viável financeiramente.

Um estudo de viabilidade foi realizado para avaliar a implantação do filtro abrandador, abordando o pré-dimensionamento necessário, os custos envolvidos e os benefícios proporcionados pelo equipamento. Verificou-se que a implantação do filtro abrandador seria uma solução viável, uma vez que os custos de aquisição, instalação e manutenção do equipamento seriam compensados pelos benefícios a longo prazo, como a redução dos problemas causados pela água dura e a preservação dos equipamentos e das instalações.

Após a implantação do filtro abrandador, foram realizadas avaliações da qualidade da água fornecida aos moradores do condomínio. Observou-se uma significativa redução da dureza da água, bem como a melhoria de outros parâmetros relevantes. Os moradores relataram uma melhora na eficiência dos equipamentos, uma diminuição nos custos de manutenção e uma sensação de melhoria na qualidade da água para uso doméstico.

Diante disso, conclui-se que a implantação do filtro abrandador se mostrou uma solução eficaz para os problemas causados pela água dura no condomínio residencial. Além de proporcionar benefícios diretos aos moradores, como a redução de depósitos de calcário e a preservação dos equipamentos, a utilização do filtro abrandador também apresentou vantagens econômicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI-GAILANI, Amthal; SANNI, Olujide; CHARPENTIER, Thibaut V.J. CRISP, Richard; BRUINS, Jantinus H.; NEVILL, Anne. **Examinando o efeito de constituintes iônicos na incrustação de cristalização em superfícies de transferência de calor.** *Jornal Internacional de Transferência de Calor e Massa*. V 160. n. 120180. Out. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0017931020331161>>. Acesso em: 02 mai. 2023.

ANDRADE, J. A. **Reuso de Água na Indústria de Papel e Celulose: Estudo de Caso da Fábrica de Papel e Celulose de Três Lagoas – MS.** *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, v. 3, n. 1, 2017.

BLOUNT, M. A. **Amolecimento de Água: Uma Visão Geral.** *Água*, v. 11, n. 2, 2019.

Brasil. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.** *Diário Oficial da União, Brasília, DF*, 2 out. 2017. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-de-consolidacao-n-5-de-28-de-setembro-de-2017-184376064>>. Acesso em: 4 mai. 2023.

CARREFOUR. **Orçamento de resistências para chuveiro.** Carrefour, jun. 2023. Disponível em: <<https://www.carrefour.com.br/resistencia-para-chuveiro-ultra-220v-5500-w-lorenzetti-mp933416722/p>>. Acesso em 26 jun. 2023.

CARREFOUR. **Orçamento de resistências para chuveiro.** Submarino, jun. 2023. Disponível em: <<https://www.carrefour.com.br/resistencia-chuveiro-acqua-duo-ultra-220v-7800w-lorenzetti-mp930808594/p>>. Acesso em 26 jun. 2023.

ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2014.

DOAN, Pérola; NONG, Yvonne. **Como a água dura e macia afeta a pele e o cabelo.** Disponível em: <<https://www.learnskin.com/articles/how-hard-and-soft-water-affects-the-skin-and-hair>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ECOHOUSE. **Tratamento de água, Abrandamento.** Disponível em: <<http://ecohousefiltros.com.br/site/artigos/index.php?pagina=3>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

FRENZEL, P. W. **Princípios de tratamento de água.** Nova Jersey: John Wiley e Sons, 2010.

GRUPO HÍDRICA. **As vantagens de se instalar um sistema para a retirada de calcário da sua água.** Grupo Hídrica (2016). Disponível em: <<https://grupohidrica.com.br/as-vantagens-de-se-instalar-um-sistema-para-retirada-de-calcario-da-sua-agua/>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

GUAIRA CLEAN. **Porque aparecem mancha e incrustações brancas na lava louças.** Guaira Clean (2020). Disponível em: <<https://guairaclean.com.br/manchas-incrustacao-calcario-lava-louca/>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

GUEDES, Hugo Alexandre Soares. **Dimensionamento de instalação de bombeamento.** 2018. 56f. UFPel, Rio Grande do Sul, 2018. Disponível em: <

<https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/11/Dimensionamento-de-instala%C3%A7%C3%A3o-de-bombeamento.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2023.

HARREMOËS, Poul; JANSEN, Jürgen; ARVIN, Erik. **Water quality engineering: physical/chemical treatment processes**. Springer Science & Business Media, 2018.

HIDROVIVA. **Orçamento filtro abrandador**. Hidroviva, jun. 2023. Disponível em: <<https://www.hidroviva.com.br/produto/filtro-abrandador-15-a-35-mh-redutor-de-dureza-de-agua-automatico-nostraacqua/5397371>>. Acesso em 26 jun. 2023.

LOJAERAAMBIENTAL. **Orçamento filtro abrandador**. Lojaeraambiental, jun. 2023. Disponível em: <<https://www.lojaeraambiental.com.br/filtros/abrandador/copia-kit-filtro-abrandador-2-a-3-5m3h-com-valvula-automatica-4m3h-100-litros-resina-kit-salmora-100-litros-e-25kg-sal-grosso?parceiro=4559>>. Acesso em 26 jun. 2023.

LYMAN, W. J., REEHL, W. F., & ROSEBLATT, D. H. **Manual de métodos de estimacão de propriedades químicas: Comportamento ambiental de compostos orgânicos**. Washington; Sociedade Americana de Química, 2005.

MARWILT. **Orçamento filtro abrandador**. Marwilt, jun. 2023. Disponível em: <<https://www.marwilt.com.br/abrandadores/remocao-de-dureza/abrandador-para-remocao-de-dureza-prfv-marwilt-valvula-automatica-2000-lh?parceiro=1919>>. Acesso em 26 jun. 2023.

MUNSON, Bruce R.; YOUNG, Donald F.; OKIISHI, Theodore H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. 7. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2013.

NEOWATER. **Conheça o sistema de abrandamento água para a indústria**. NeoWater Eficiência Hídrica, 2021. Disponível em: <[Abrandador de água industrial: o que é e como funciona \(neowater.com.br\)](https://www.neowater.com.br/abrandador-de-agua-industrial-o-que-e-e-como-funciona)>. Acesso em: 14 abr. 2023.

NIEMEYER, Shirley. **NF93-133 Água Incômodos: Depósitos sobre superfícies domésticas**. 1993. Materiais históricos da extensão da Universidade de Nebraska-Lincoln. Nebraska, 1993. Disponível em: <<https://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/684/>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

OMS. **Cálcio e magnésio na água potável: importância para a saúde pública**. Genebra, Organização Mundial da Saúde, 2009. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241563550_eng.pdf>.

PEREIRA, Mylliane Samara Soares. **Análise da qualidade da água para reaproveitamento em uma obra de captação de água subterrânea na cidade de Angicos/RN**. 2019. 56f. Tese (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – UFERSA, Rio Grande do Norte, 2019.

PRADO, R. B. Abrandador de Água: **Dimensionamento e Funcionamento. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica)**. Faculdade de Engenharia de Sorocaba, Sorocaba, 2018.

SAAE, Sete Lagoas MG. **Água calcária**. Sete Lagoas, SAAE, 2023. Disponível em: <<https://www.saaesetelagoas.com.br/agua/agua-calcaria>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

SENGUPTA, Pallav. **Potenciais impactos da água dura na saúde**. Revista internacional de medicina preventiva, Estados Unidos, vol. 4, ago. 2013. Disponível em:

<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3775162/>>. Acesso em: 26 abr. 2023.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SETE LAGOAS. **Água calcária**. Disponível em: <<https://www.saaesetelagoas.com.br/agua/agua-calcaria>>. Acesso em: 4 mai. 2023.

STRACI, Larissa. **Água dura e seus riscos**. Ag Solve Notícias, 2012. Disponível em: <<https://www.agsolve.com.br/noticias/6523/agua-dura-e-seus-riscos>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

STREETER, Victor L.; WYLIE, E. Benjamin; BEDFORD, Keith W. **Mecânica dos fluidos**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1998.

SUBMARINO. **Orçamento de resistências para chuveiro**. Submarino, jun. 2023.

Disponível em:

<<https://www.submarino.com.br/produto/7078370941?opn=XMLGOOGLE&offerId=63c1c0a8401db3b86b562f31&voltagem=127V%205500W&condition=NEW>>. Acesso em 26 jun. 2023.

VILHENA, José Luiz. **Dureza da água: o que é e como ele influencia na qualidade**. Grupo Hídrica (2017). Disponível em: <[Dureza da água: o que é e como ela influencia na qualidade \(grupohidrica.com.br\)](http://Dureza da água: o que é e como ela influencia na qualidade (grupohidrica.com.br))>. Acesso em: 12 abr. 2023.

WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. 7. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2011.

WINTERHALTER. **Dureza da água: o que é como afeta os resultados da lavagem dos vidros**. Winterhalter, mai. 2021. Disponível em: <<https://www.winterhalter.com/br-pt/blog-winterhalter/dureza-da-agua-como-afeta-os-resultados-da-lavagem-dos-vidros/>>. Acesso em 28 abr. 2023.

ZANETTE, C. **Avaliação de resinas de troca iônica para amolecimento de água em região de água de alta dureza**. Revista Internacional de Ciência de Polímeros, v. 2019, 2019.