



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE ADSORVENTES SINTÉTICOS E NATURAIS
PARA O ABRANDAMENTO DA DUREZA DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM
IBIRACATU, MINAS GERAIS**

Taynara Alves Lopes

Belo Horizonte

2023

Taynara Alves Lopes

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE ADSORVENTES SINTÉTICOS E NATURAIS
PARA O ABRANDAMENTO DA DUREZA DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM
IBIRACATU, MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Msc. André Luiz Marques Rocha

Belo Horizonte

2023

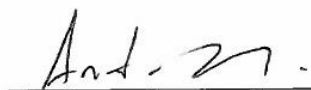
TAYNARA ALVES LOPES

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE ADSORVENTES SINTÉTICOS E NATURAIS
PARA O ABRANDAMENTO DA DUREZA DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM
IBIRACATU, MINAS GERAIS**

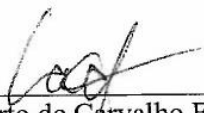
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em: 28 de novembro de 2023

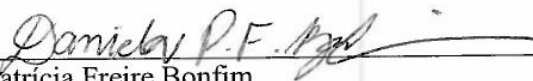
Banca examinadora:



André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora
Prof. MSc. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-MG - Orientador



Carlos Alberto de Carvalho Filho
DSc. Centro de Tecnologia de Desenvolvimento Nuclear (CDTN/CNEN)



Daniela Patrícia Freire Bonfim
Profa. DSc. Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa o término de uma jornada desafiadora e gratificante, e não poderia ter chegado a este ponto sem o apoio e contribuição de muitas pessoas e instituições.

Ao meu orientador Prof. Msc. André Luiz Marques Rocha por sua orientação, apoio e confiança.

À Elizângela por me encorajar, auxiliar e acreditar no potencial deste projeto.

Ao Israel, ao Eugênio e a toda a equipe do CDTN pela assistência, motivação e oportunidades de aprendizado ao longo de todas as fases de laboratório. À servidora Liliani Pacheco Tavares Nazareth pela realização das análises químicas.

Ao CEFET e ao CDTN, minha gratidão por fornecerem o ambiente e os recursos necessários para a pesquisa. O apoio e as instalações oferecidas por essas instituições foram fundamentais para o sucesso deste estudo.

Aos moradores do município de Ibiracatu, que gentilmente participaram deste estudo.

À minha família, meu profundo agradecimento pelo constante apoio e paciência, em especial meus pais João Neto e Gracilene, meu avô Argemiro, minha tia Graça e meus padrinhos Arienaldo e Francelina.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado e proporcionaram amizade e apoio, em especial Rodrigo, Brenner e Helen por sempre estarem comigo nos momentos de maiores dificuldades e ansiedades.

O aprendizado e a experiência adquiridos durante esta jornada são inestimáveis, e estou ansiosa para aplicar esse conhecimento em futuros desafios. Mais uma vez, agradeço a todos que não foram citados, mas que de alguma forma desempenharam um papel nessa jornada.

DEDICATÓRIA

À minha querida e amada Avó Lina.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

LOPES, Taynara Alves. **Avaliação Preliminar de Adsorventes Sintéticos e Naturais para o Abrandamento da Dureza da Água: Estudo de Caso em Ibiracatu, Minas Gerais**. 2023. 138 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

O acesso a água com qualidade é direito de todos, logo, garantir essa distribuição, considerando-se as particularidades e necessidades de cada região, principalmente em áreas com tendência a escassez hídrica é imprescindível, tanto para a gestão correta dos recursos hídricos como para a melhora da qualidade de vida dessas populações. A aplicação de técnicas de abrandamento de dureza se faz, portanto, essencial para o alcance dessa qualidade da água e das condições de vida da população em regiões com tendência as águas duras, como no norte de Minas Gerais. Neste contexto, o presente estudo buscou avaliar a eficiência e a viabilidade técnica de utilização de adsorventes sintéticos e naturais para reduzir os níveis de dureza da água, com o propósito de aplicá-los na Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no município de Ibiracatu, no Norte de Minas Gerais. De forma a compreender o contexto do município foi realizada uma investigação da percepção quanto à qualidade da água, seguida da coleta, análise e caracterização da água do município em comparação com a legislação. Em um segundo momento foram realizados testes para avaliação do potencial adsorptivo da resina catiônica, carvão ativado, argila expandida, bagaço de cana (natural e ativado com EDTA) no abrandamento dos índices de dureza, com e sem ajuste de pH. Para a avaliação das amostras utilizou-se o método de titulação e ICP-OES. De maneira geral, a pesquisa indicou a insatisfação da população com relação à qualidade da água associada ao parâmetro dureza, o que valida e justifica o estudo de soluções alternativas. O município apresentou, por meio da coleta e análises concentração média de dureza total de 272 mg/L de CaCO_3 . Remoções de até 95,75% de dureza foram alcançadas empregando-se a resina catiônica.

Palavras-chave: Água dura; Abrandamento de dureza; Adsorção; Adsorventes sintéticos; Adsorventes naturais.

ABSTRACT

LOPES, Taynara Alves. **Preliminary Assessment of Synthetic and Natural Adsorbents for Softening Water Hardness: Case Study in Ibiracatu, Minas Gerais**. 2023. 138 pages. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

Access to quality water is a universal right; therefore, ensuring its distribution, considering the peculiarities and needs of each region, especially in areas prone to water scarcity, is essential. This is crucial not only for the proper management of water resources but also for improving the quality of life for these populations. The application of water hardness reduction techniques is, therefore, essential to achieve water quality and living conditions in regions prone to hard water, such as in northern Minas Gerais. In this context, the present study aimed to assess the efficiency and technical feasibility of using synthetic and natural adsorbents to reduce water hardness levels, with the purpose of applying them in the Water Treatment Plant (WTP) located in the municipality of Ibiracatu, in northern Minas Gerais. To understand the municipality's context, an investigation into the perception of water quality was conducted, followed by the collection, analysis, and characterization of the municipality's water in comparison with legislation. In a second phase, tests were conducted to evaluate the adsorptive potential of cationic resin, activated carbon, expanded clay, sugarcane bagasse (natural and activated with EDTA) in reducing hardness levels, with and without pH adjustment. For sample evaluation, titration and ICP-OES methods were used. Overall, the research indicated dissatisfaction among the population regarding water quality associated with the hardness parameter, validating and justifying the study of alternative solutions. The municipality showed, through the collection and analysis, an average total hardness concentration of 272 mg/L of CaCO_3 . Removals of up to 95.75% of hardness were achieved using the cationic resin.

Keywords: Hard water; Hardness softening; Adsorption; Synthetic adsorbents; Natural adsorbents.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Descrição do sistema de abastecimento da Copasa.....	30
Tabela 3-2 - Padrão Organoléptico de Potabilidade da Água.	34
Tabela 3-3 - Classificação das águas quanto ao teor de dureza total.....	36
Tabela 3-4 - Classificação quanto a concentração de dureza em mg/L CaCO_3	36
Tabela 3-5 - Composição média do bagaço de cana-de-açúcar.....	46
Tabela 4-1 - Detalhamento dos Pontos de Coleta de amostra de água.	55
Tabela 4-2 - Pontos utilizados para a formulação da amostra composta.	65
Tabela 4-3 - Características físico-químicas da Resina.	66
Tabela 4-4 - Especificações técnicas do carvão NORIT GAC 400 PLUS.....	67
Tabela 4-5 - Teste de adsorção preliminar.	73
Tabela 5-1 – Média e desvio padrão dos resultados dos parâmetros físico-químicos monitorados in situ.....	88
Tabela 5-2 - Volume de EDTA registrado durante a titulação.....	92
Tabela 5-3 – Concentração Ca^{2+} mol L^{-1}	93
Tabela 5-4 - Concentração de Dureza mg/L de CaCO_3	93
Tabela 5-5 - Diferença percentual relativa calculada para as duplicatas.	95
Tabela 5-6 - Caracterização química da argila.	95
Tabela 5-7 - Caracterização química do bagaço de cana.	96
Tabela 5-8 – Caracterização da amostra sintética.....	97
Tabela 5-9 - Resultados após teste de adsorção com carvão ativado.....	97
Tabela 5-10 - Resultados após teste de adsorção com argila expandida.....	97
Tabela 5-11 - Resultados após teste de adsorção com bagaço de cana (natural).	98
Tabela 5-12 – Testes De Adsorção Inicial com ajuste de pH utilizando Carvão Ativado.	98
Tabela 5-13 - Avaliação dos resultados após teste de adsorção.	99
Tabela 5-14 - Código e especificação das amostras de teste.....	100
Tabela 5-15 - Valores compilados de pH, NaOH, EDTA, determinação de dureza e taxa de remoção em relação a amostra inicial.	100
Tabela 5-16 - Média das concentrações de Dureza Total, taxa de remoção e desvio padrão.	101
Tabela 5-17 - Resultados das análises ICP de cálcio em mg/L.	103
Tabela 5-18 - Comparativo dos resultados das análises de dureza total e taxa de remoção por titulação e ICP.	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Definições adotadas pela ONU para acesso adequado e melhorado aos serviços de abastecimento de água.....	22
Figura 3.2 – Municípios com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição em funcionamento, por Grandes Regiões do Brasil no ano de 2017.....	23
Figura 3.3 – Municípios com serviço de abastecimento de água doce por rede geral, com captação em poço superficial, por forma de poluição e/ou contaminação, segundo as Grandes Regiões do Brasil no ano de 2017.	23
Figura 3.4 - Abastecimento de água por rede geral - 2017.	24
Figura 3.5 – Distribuição (%) dos domicílios, segundo a principal forma de abastecimento de água no Brasil no período de 2016 à 2022.	25
Figura 3.6 - Situação do abastecimento urbano em Minas Gerais.	26
Figura 3.7 - Localização da Área Suscetível à Desertificação no Brasil.	27
Figura 3.8 - Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado de Minas Gerais.	28
Figura 3.9 - Croqui do sistema de abastecimento do município de Ibiracatu, Minas Gerais..	30
Figura 3.10 - Dados referentes ao período: 01/2022 a 10/2023 - Portaria 888/2021 Ministério da Saúde.	32
Figura 3.11 - Frações molares das espécies químicas (xi) em função do pH.	35
Figura 3.12 - Relação de íons e cátions responsáveis pela dureza.	37
Figura 3.13 - Potencial de aceitabilidade quanto ao teor de dureza.	38
Figura 3.14 - Grau de perceptibilidade da população quanto ao teor de dureza.	38
Figura 3.15 - Representação esquemática do processo de Adsorção.	41
Figura 3.16 - Série histórica da Cana de açúcar em Minas Gerais.	45
Figura 3.17 - Valor da produção de Cana-de-açúcar em Minas Gerais (Mil reais).....	45
Figura 4.1 - Mapa de localização do município de Ibiracatu-MG.....	52
Figura 4.2 - Frasco estriado com capacidade de 1000 mL.....	54
Figura 4.3 - Mapa de localização dos pontos de Coleta de água.....	56
Figura 4.4 - HNO ³ para preservação.....	58
Figura 4.5 - Medidor Ultrometer III 9P da marca Myron L.....	58
Figura 4.6 - Materiais disponíveis no laboratório.....	59
Figura 4.7 - Reagentes disponíveis no laboratório.	60
Figura 4.8 – Molécula do EDTA.	61
Figura 4.9 - Amostra de resina catiônica.	64
Figura 4.10 - Amostra de carvão ativado.	64

Figura 4.11 - Amostra de argila expandida.	64
Figura 4.12 - Amostra de bagaço-de-cana.	64
Figura 4.13 - Amostra de adsorvente com 0,3 g.....	65
Figura 4.14 - Amostra de adsorvente com 0,75 g.....	65
Figura 4.15 - Amostra de adsorvente com 1,5 g.....	65
Figura 4.16 - Resina Catiônica Purolite SSTPPC60H.	66
Figura 4.17 - Amostra de resina utilizada nos testes.	66
Figura 4.18 - Carvão ativado Norit GAC 400.	67
Figura 4.19 - Amostra de argila expandida empregada no estudo.	67
Figura 4.20 - Materiais utilizados para moagem da argila.....	68
Figura 4.21 - Argila expandida com granulometria entre 0,25 mm e 2mm.	68
Figura 4.22 - Bagaço de cana preparado para secagem em estufa.	69
Figura 4.23 - Bagaço de cana em estufa.	69
Figura 4.24 - Estufa Fanem com circulação de ar forçado utilizada para secagem do bagaço de cana.	69
Figura 4.25 - Processo de ativação do EDTA em agitador rotativo.	70
Figura 4.26 - Amostras de bagaço de cana sem ativação com EDTA e com Ativação com EDTA.	70
Figura 4.27 – Incubadora shaker de bancada com refrigeração (Nova Ética, modelo 430 RDB.	71
Figura 4.28 - Agitador magnético (Fisatom).....	71
Figura 4.29 - Amostras de bagaço de cana nas massas 0,3g, 0,75g e 1,5g.	72
Figura 4.30 - Amostras de argila nas massas 0,3g, 0,75g e 1,5g.....	72
Figura 4.31 - Amostras de argila, bagaço de cana e carvão ativado.....	72
Figura 4.32 – Amostras com concentração de dureza em contato com adsorventes.....	73
Figura 4.33 - Amostras em processo de agitação em Shake.	73
Figura 4.34 - Filtração das amostras após processo de agitação.	74
Figura 4.35 - Medição dos parâmetros de condutividade e pH das amostras após o processo de agitação.....	74
Figura 4.36 - Testes de adsorção em agitador magnético da argila e do carvão ativado.....	74
Figura 4.37 - Testes de adsorção em agitador magnético do bagaço de cana puro e ativado.	74
Figura 4.38 - Filtração após agitação por 5 horas.....	74
Figura 4.39 - Amostras filtradas para análise ICP.....	74
Figura 4.40 - Amostras de água e adsorventes sintéticos para análise no laboratório do CDTN.	76

Figura 4.41 - Espectrômetro de emissão atômica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES), marca Spectro.....	77
Figura 4.42 - Amostras de água para análise no laboratório do CDTN.....	77
Figura 4.43 - Argila expandida anterior a trituração.....	78
Figura 4.44 - Argila triturada.....	78
Figura 4.45 - Amostra de argila para análise.....	78
Figura 4.46 - Processo de secagem e fundição da argila.....	78
Figura 4.47 - Pérola de vidro constituída a partir da argila.....	78
Figura 4.48 - Pérola de vidro constituída a partir da argila.....	78
Figura 4.49 – Equipamento Primus2, Rigaku.	79
Figura 5.1 - Relação de entrevistados quanto ao sexo e idade.	81
Figura 5.2 - Local de residência dos moradores do município.	81
Figura 5.3 – Entrevistados com acesso à água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água.	82
Figura 5.4 - Grau de percepção sobre o acesso a água no seu município.	82
Figura 5.5 – Percepção sobre a qualidade da água para consumo, quanto à características como cor, odor, turbidez e sabor.	83
Figura 5.6 - Consumo da água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água por parte dos entrevistados.	83
Figura 5.7 – Grau de incômodo dos entrevistados quanto à água dura.	84
Figura 5.8 – Percepção acerca da água dura ser um problema para as tubulações da casa. ...	84
Figura 5.9 – Mal-estar relacionado ao consumo de água da região.....	84
Figura 5.10 –Uso de estratégias de abrandamento da dureza.....	84
Figura 5.11 - Ponto de captação subterrânea monitorada pela companhia de abastecimento.	86
Figura 5.12 - Reservatório utilizado para o armazenamento da água captada do poço subterrâneo.	87
Figura 5.13 - Ponto de coleta P01.....	89
Figura 5.14 - Ponto de coleta P01.....	89
Figura 5.15 - Ponto de coleta P02.....	89
Figura 5.16 - Ponto de coleta P02.....	89
Figura 5.17 - Ponto de coleta P03.....	89
Figura 5.18 - Ponto de coleta P03.....	89
Figura 5.19 - Ponto de coleta P04.....	90
Figura 5.20 - Ponto de coleta P04.....	90
Figura 5.21 - Ponto de coleta P05.....	90

Figura 5.22 - Ponto de coleta P05.....	90
Figura 5.23 - Ponto de coleta P06.....	90
Figura 5.24 - Ponto de coleta P06.....	90
Figura 5.25 - Ponto de coleta P07.....	91
Figura 5.26 - Ponto de coleta P07.....	91
Figura 5.27 - Ponto de coleta P08.....	91
Figura 5.28 - Ponto de coleta P08.....	91
Figura 5.29 - Ponto de coleta P09.....	91
Figura 5.30 - Ponto de coleta P09.....	91
Figura 5.31 - Amostras antes da titulação para determinação de dureza.	92
Figura 5.32 - Amostras antes da titulação para determinação de dureza.	92
Figura 5.33 - Amostras após titulação para determinação de dureza.	92
Figura 5.34 - Amostras após titulação para determinação de dureza.	92
Figura 5.35 - Concentração de Dureza Total das amostras em comparação com a legislação.	94
Figura 5.36 - Taxa de Remoção da dureza total x Sistema adsorvente.	102
Figura 5.37 - Teor de dureza (mg/L CaCO ₃) após 5h de contato.....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ARSAE	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgoto
CDTN	Centro de Desenvolvimento e Tecnologia Nuclear
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
EDTA	Ácido Etilenodiaminotetracético
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
RDP	Diferença Percentual Relativa
VMP	Valor Máximo Permissível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1	Água Potável e Saneamento no Brasil	21
3.2	Escassez Hídrica no Norte De Minas Gerais	25
3.3	Características Gerais do Município de Ibiracatu-MG	28
3.4	Sistema de Abastecimento de Água no município de Ibiracatu - MG	29
3.5	Bases Legais	32
3.6	Compreendendo a Dureza e Suas Propriedades	34
3.7	Parâmetros físico-químicos corriqueiramente empregados no monitoramento da qualidade da água que se correlacionam com a dureza total	38
3.8	Principais Técnicas de Abrandamento da Dureza da Água	40
3.8.1	<i>Precipitação química</i>	40
3.8.2	<i>Adsorção</i>	40
3.8.2.1	<i>Adsorventes Sintéticos</i>	43
3.8.2.2	<i>Adsorventes Naturais</i>	43
3.8.3	<i>Estudos desenvolvidos com o tema</i>	46
4	METODOLOGIA	49
4.1	Método de Abordagem	49
4.2	Método dos Procedimentos	50
4.3	Área de Estudo	50
4.4	Investigação da percepção quanto à qualidade da Água	53
4.5	Coleta, Análise e Caracterização da Água Tratada	53
4.5.1	<i>Coleta, conservação e acondicionamento</i>	54
4.5.2	<i>Medições dos parâmetros físico-químicos in situ</i>	58
4.5.3	<i>Procedimento Experimental</i>	59
4.5.3.1	<i>Materiais e reagentes</i>	59
4.5.3.2	<i>Preparo das soluções</i>	60
4.5.3.3	<i>Determinação da Dureza total</i>	60
4.5.4	<i>Tratamento estatístico dos dados</i>	62
4.6	Avaliação de Potencial adsorativo	62
4.6.1	<i>Materiais adsorventes</i>	63
4.6.2	<i>Amostras e Soluções</i>	64

4.6.3	<i>Preparo dos adsorventes</i>	65
4.6.3.1	<i>Resina Catiônica</i>	66
4.6.3.2	<i>Carvão ativado</i>	66
4.6.3.3	<i>Argila expandida</i>	67
4.6.3.4	<i>Bagaço de cana-de-açúcar</i>	69
4.6.4	<i>Ensaio de Adsorção</i>	71
4.6.4.1	<i>Testes preliminares com amostra sintética</i>	72
4.6.4.2	<i>Testes com amostra reais</i>	74
4.6.5	<i>Análise e avaliação do desempenho</i>	75
4.6.5.1	<i>Determinação de Dureza Total</i>	75
4.6.5.2	<i>Análise ICP-OES</i>	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5.1	<i>Investigação da Percepção Ambiental</i>	80
5.2	<i>Coleta, análise e caracterização da água tratada</i>	85
5.1.1	<i>Parâmetros físico-químicos</i>	87
5.1.2	<i>Determinação da dureza total via titulação com complexante EDTA</i>	92
5.1.3	<i>Duplicata</i>	94
5.3	<i>Testes de adsorção</i>	95
5.1.4	<i>Caracterização química dos adsorventes</i>	95
5.1.5	<i>Caracterização química das amostras de água</i>	96
5.3.1.1	<i>Testes preliminares com amostra sintética</i>	96
5.3.1.2	<i>Testes com Ajuste de pH</i>	98
5.3.1.3	<i>Análise por ICP-OES</i>	103
6	CONCLUSÃO	106
7	RECOMENDAÇÕES	108
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
APÊNDICE A – Questionário de percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG		121
APÊNDICE B – Ficha para coleta de parâmetros em campo.		124
APÊNDICE C – Tabela dos Resultados dos parâmetros in situ.		125
ANEXO A - Resultados do questionário de percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu – MG.		126

1 INTRODUÇÃO

O acesso a Água Potável e Saneamento é um direito fundamental do ser humano. Garantir a disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos, principalmente nas zonas mais afastadas, constitui-se, além de um dos objetivos para desenvolvimento sustentável propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), uma política e um serviço básico que deve ser prestado pelas organizações governamentais (IPEA, 2019).

A Copasa Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais S/A - COPANOR, instituída pela Lei Estadual nº16.698/2007, tem por intuito gerir e prestar serviços de abastecimento de água em localidades da região Norte de Minas. O sistema de abastecimento do município de Ibiracatu - MG é operado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) desde janeiro de 2005. A captação da água se dá em poços profundos e é tratada por meio dos processos de desinfecção e fluoretação (COPASA, 2022).

Devido a recorrência histórica de escassez hídrica no Norte de Minas, os esforços muitas vezes se concentram em proporcionar o acesso à água seguindo os padrões de potabilidade, concentrando-se na desinfecção e na distribuição para as residências (SANTOS *et al.*, 2010). Nesse sentido, é pertinente refletir que as classificações e o grau de elementos químicos característicos das águas, tendem a variar a depender do tipo de captação, assim como da região em que está inserido o recurso hídrico, influenciando em concentrações significativas de certos elementos, como se observa no caso de águas com alto grau de dureza (QUENAYA, 2019).

O clima predominante no Norte de Minas Gerais é do tipo semi-árido e semi-úmido com baixas precipitações pluviométricas (IBGE, 2002). O contexto geológico e estrutural contempla unidades geológicas sedimentares, metamórficas e magmáticas (CPRM, 2012). Silva (1984), destaca em seu estudo que as águas características da região possuem predominantemente classificações químicas bicarbonatadas cálcicas ou bicarbonatadas magnesianas, demonstrando águas com presença predominante de bicarbonatos, carbonatos, cálcio e magnésio – espécies essenciais à evolução da dureza da água – quanto maior a concentração de espécies propícias à reagirem e formar sais insolúveis, maior é considerada o grau de dureza do recurso hídrico.

A dureza da água, por sua vez, é conferida pela presença de minerais alcalinos, principalmente cálcio, magnésio e bicarbonatos, ou pela capacidade de neutralização do sabão pelo efeito do cálcio e do magnésio. Ou seja, em águas com alto teor de dureza, tais sabões transformam-se

em complexos insolúveis ou sais de dureza que podem causar incrustações em tubulações e redução da vida útil de equipamentos (CETESB, 2017).

A dureza pode ser expressa como dureza temporária, permanente ou total e é causada pelos elementos cálcio e magnésio, assim como por outros cátions como ferro, manganês, estrôncio, zinco, alumínio, e ânions como nitrato, silicato e cloreto, associados a ânions carbonato e sulfato. Ademais, os compostos bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio são os principais atribuidores de dureza às águas (FEITOSA, 2008). A dureza da água é importante principalmente sob os aspectos doméstico e industrial, visto que a alta concentração de sais insolúveis podem levar a inutilização da água por motivos que vão desde a impalatabilidade da água quanto à incrustação em equipamentos industriais (fator que pode resultar em acidentes fatais em ambientes de trabalho).

A passagem da água pelo solo, constitui-se a principal fonte de dureza. A partir do mapa geológico brasileiro é possível observar regiões com predominância de solos formados a partir de rocha calcárea como no nordeste e sudeste (CETESB, 2017). Custódio e Llamas (1983) padronizam a dureza da água em quatro classificações a depender da concentração desta em mg L^{-1} , sendo estas branda (ou mole), pouco dura, dura e muito dura.

A água com altas concentrações de dureza, como especificado por Silva (2005), resulta em complicações para os usuários, podendo ter como consequência diminuir a vida útil de equipamentos, canos, chuveiros, torneiras e conexões hidráulicas; corrosão acelerada de componentes elétricos assim como problemas de saúde (excesso de ressecamento da pele e dos cabelos, por exemplo). Altas concentrações de cálcio e magnésio afetam principalmente as vias urinárias. De acordo com o ministério da saúde, o consumo de águas com dureza elevada também tem sido associado à doenças cardiovasculares (BRASIL, 2006).

Entender e aplicar os padrões de potabilidade em águas destinadas ao abastecimento humano é fundamental para assegurar a saúde daqueles que dependem dessas águas. Nesse contexto, no Brasil, a Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde estabelece orientações específicas para os processos de controle e vigilância da qualidade da água utilizada para consumo humano. Em relação ao parâmetro dureza total, esta especifica valor máximo permitido de 300 mg/L de CaCO_3 (BRASIL, 2021).

O tratamento convencional em estações de tratamento de água (ETAs), como observado por Mierzwa (2002) não é capaz de remover a dureza, podendo até mesmo agravar o problema. Neste contexto, os métodos de abrandamento mais comumente utilizados são a troca iônica, filtração por membranas e precipitação química. Kanamarlapudi, Chintalpudi e Muddada (2018) ressaltam que os métodos convencionais adotados, além de possuírem desvantagens de custo e operação, em muitos casos geram lodo e ocasionalmente outras formações tóxicas.

Algumas alternativas ao abrandamento da dureza com resultados favoráveis são a resina catiônica e o carvão ativado, ambos empregados em diversos processos industriais. A resina catiônica consiste-se em uma das alternativas utilizadas no processo conhecido como troca iônica, possuindo sua eficácia comprovada no abrandamento da dureza (RICHTER; NETTO, 1991). O carvão ativado também demonstra vantagens, principalmente no que diz respeito à diversidade de aplicações, porosidade, estabilidade e disponibilidade, tendo em vista que pode ser produzido a partir de biomassa, como o bagaço de cana (SILVA, 2015).

Moraes (2021), avaliando a viabilidade técnica e econômica destas metodologias observa que, em alguns casos, há a necessidade de alto investimento, o que inviabiliza a introdução deste tratamento em comunidades rurais, como é o caso de Ibiracatu. Visto isso, Sriharsha, Lokesh e Savitha (2017) defendem que técnicas que envolvam a biossorção, devido ao baixo custo e minimização de subprodutos tóxicos tem sido bem aceita. Rodrigues *et al.* (2006) abordam acerca da variedade de biomassas que possuem a capacidade de realizar a adsorção, tais como fibra de coco, bagaços e sementes. Argilas como bentonita e vermiculita também possuem capacidade significativa de troca catiônica, o que demonstra potencial na adsorção (SCHMIDT *et al.*, 2008). Silva (2010) menciona a funcionalidade da argila como um adsorvente favorável devido à sua disponibilidade na natureza, baixo custo e alta capacidade de troca catiônica.

Visto a problemática em que os municípios pertencentes ao Norte de Minas Gerais se encontram inseridos, o presente estudo tem por intuito avaliar a eficiência e a viabilidade de utilização de adsorventes sintéticos e naturais para reduzir os níveis de dureza da água, com o propósito de aplicá-los na Estação de Tratamento de Água (ETA), no município de Ibiracatu, no Norte de Minas Gerais, a fim de se obter uma maior qualidade de vida para a população. A utilização de fibra vegetal, carvão ativado e argila expandida, por suas potenciais capacidades adsorptivas e vantagem econômica, constituem-se como alternativas promissoras à remoção/abrandamento

da dureza da água. A resina catiônica, embora possua a desvantagem econômica, possui sua eficácia comprovada, tendo em vista seu uso industrial.

Nesse contexto, a investigação da percepção da população do município quanto à água utilizada, a avaliação da qualidade da água do município de Ibiracatu em comparação com os critérios estabelecidos na Portaria 888 do município de Ibiracatu, assim como a avaliação do potencial adsorptivo da resina catiônica, carvão ativado, argila expandida e bagaço de cana no abrandamento dos índices de dureza podem subsidiar uma reflexão crítica e tomada de decisão em relação à melhora da qualidade da água disponibilizada à população do Norte de Minas Gerais, bem como a escuta ativa das necessidades pertinentes a cada localidade. Essa investigação desempenha um papel crucial na identificação das problemáticas e fragilidades associadas à qualidade e gestão dos recursos hídricos, não apenas no Norte de Minas Gerais, mas também em outras regiões que enfrentam problemas relacionados à dureza elevada na água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a eficiência e a viabilidade técnica de utilização de adsorventes sintéticos e naturais para reduzir os níveis de dureza da água, com o propósito de aplicá-los na Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no município de Ibiracatu, no Norte de Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

- Investigar a percepção ambiental dos moradores do município de Ibiracatu quanto a qualidade da água utilizada;
- Avaliar a qualidade da água do município de Ibiracatu em comparação com os critérios estabelecidos na Portaria 888 do município de Ibiracatu, especificamente em relação aos parâmetros de dureza total, temperatura da amostra, condutividade elétrica, pH e potencial redox.
- Avaliar o potencial adsorativo de resina catiônica, carvão ativado, argila expandida e bagaço de cana no abrandamento dos índices de dureza;

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Água Potável e Saneamento no Brasil

O saneamento, ao longo da história, foi definido e conceituado de variadas formas. A Organização Mundial da Saúde define saneamento como “o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu estado de bem-estar físico, mental ou social”. Sua importância, desenvolvimento e associação com a saúde da população vem desde a antiguidade (BRASIL, 2019).

Até o século XIX, o saneamento não era prestado de forma organizada, por meio de políticas públicas ou ações que perpetuassem, sendo, em muitos casos, pontuais. No Brasil, as mudanças foram percebidas a partir do século XIX, por meio do deslocamento populacional do meio rural para o urbano e pela consequente criação de condições propícias a doenças, trazendo-se, portanto, a necessidade de discussões e soluções acerca do assunto. Tais ações, inicialmente foram importadas dos modelos europeus e, só a partir de 1910, o estado passa a ter uma ação mais centralizadora e, em 1945, o saneamento passa a ser tratado como um serviço de saúde pública (BRASIL, 2019).

A partir da promulgação da Constituição Federal (BRASIL, 1988), a saúde passa a ser direito de todos e dever do Estado. Em seu art. 21, inciso XX, é atribuída à União a competência para “instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos”.

Em janeiro de 2007, a partir da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que em seu art. 1º “estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico” deu-se início a um novo ciclo do saneamento no Brasil. O saneamento básico, a partir da Lei do Saneamento (BRASIL, 2007), como especificado em seu art.2º, inciso III, inclui “abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente”.

Como observado pela Funasa (BRASIL, 2019), o saneamento possui uma relação direta com a saúde e qualidade de vida da população. A constante evolução, pesquisa e investimento em tecnologia é, portanto, essencial para a melhoria das condições sanitárias atuais. Em relação aos

serviços de abastecimento de água, a Organização das Nações Unidas (ONU) adota definições para os acessos adequado e melhorado, conforme apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Definições adotadas pela ONU para acesso adequado e melhorado aos serviços de abastecimento de água.

Abastecimento de água adequado	Abastecimento de água melhorado
Abastecimento de água potável em quantidade suficiente, regular, prática e economicamente viável.	Acesso ao abastecimento de água por meio de uma instalação doméstica, uma rede de distribuição pública, um poço perfurado, um poço protegido ou um coletor de água de chuva protegido. No mínimo 20 litros/pessoa/dia disponíveis em uma fonte a menos de 1 km da residência.

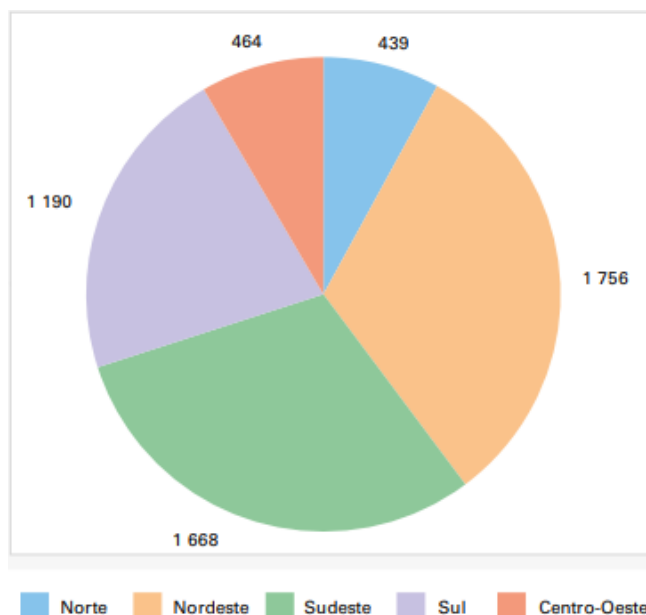
Fonte: Adaptado de ONU (2003).

A qualidade e a funcionalidade da prestação de serviços de infraestrutura e saneamento básico se relacionam diretamente com a qualidade de vida da população. Carmo (2003, p. 5) afirma que:

Investir no saneamento do município melhora a qualidade de vida da população, bem como a proteção ao meio ambiente urbano, evitando com isso a incidência de doenças transmissíveis pela água como a cólera, desinteria [sic] e outras. Combinado com políticas de saúde e habitação, o saneamento ambiental diminui o número de internações hospitalares. Por evitar comprometer os recursos hídricos disponíveis, o saneamento ambiental garante o abastecimento e a qualidade da água (CARMO, 2003, p.5).

Em relação à distribuição por rede geral, “o serviço de abastecimento de água caracteriza-se pelos seguintes processos: retirada da água bruta da natureza (captação), adequação de sua qualidade (tratamento), armazenamento (reservatório), e distribuição à população” (IBGE, p. 36, 2017). Como observado pela Figura 3.2, as regiões Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil, em 2017, apresentaram maior concentração de rede de abastecimento em funcionamento.

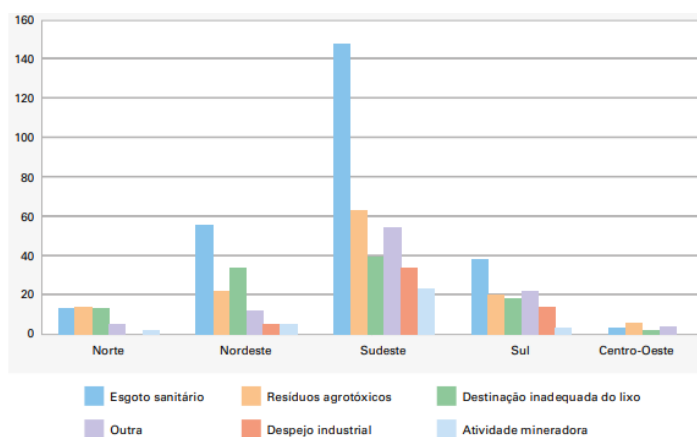
Figura 3.2– Municípios com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição em funcionamento, por Grandes Regiões do Brasil no ano de 2017.



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2017).

Em contrapartida, como apresentado pela Figura 3.3, também foram as regiões com as maiores declarações de poluição e/ou contaminação por esgoto sanitário e resíduos de agrotóxicos na captação superficial (IBGE, 2017).

Figura 3.3 – Municípios com serviço de abastecimento de água doce por rede geral, com captação em poço superficial, por forma de poluição e/ou contaminação, segundo as Grandes Regiões do Brasil no ano de 2017.



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2017).

A partir Figura 3.4 de tem-se um panorama do abastecimento de água por rede geral em 2017 no Brasil.

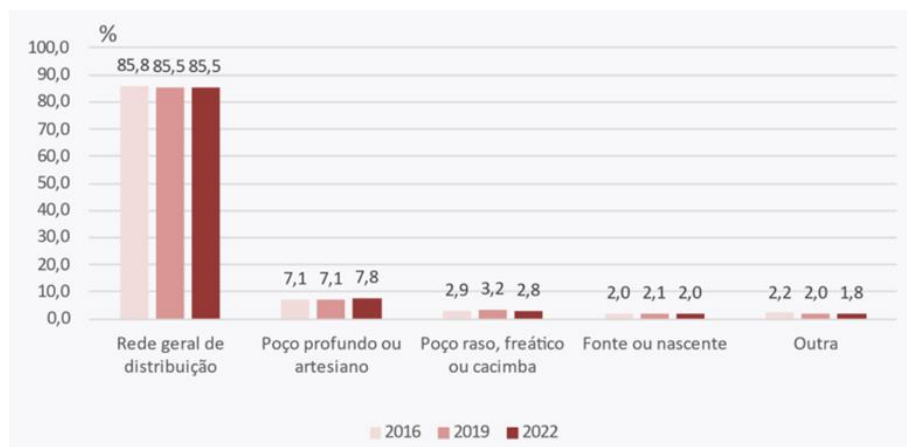
Figura 3.4 - Abastecimento de água por rede geral - 2017.



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017 e Estimativas da População Residente com Data de Referência em 1o de julho de 2017 (2017).

A partir da Figura 3.5, observa-se que no período de 2016 a 2022 não houveram mudanças em relação ao acesso a rede geral de distribuição. Em comparação com os dados de 2017 pode-se observar que a região norte de Minas gerais ainda carece de uma rede de distribuição mais ampla.

Figura 3.5– Distribuição (%) dos domicílios, segundo a principal forma de abastecimento de água no Brasil no período de 2016 à 2022.



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional por amostra de Domicílios Contínuos Básico (2023).

3.2 Escassez Hídrica no Norte De Minas Gerais

A política brasileira para o saneamento básico estabelecida pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, possui, dentre suas diretrizes, garantir por meio de soluções compatíveis social e economicamente, o atendimento da população rural dispersa (BRASIL, 2007).

O estado de Minas Gerais, por sua diversidade ambiental, está sujeito a extremos climáticos, pela falta ou excesso de água. Logo, a lei nacional de recursos hídricos (BRASIL, 1997), estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve englobar “a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais”.

A Deliberação Normativa CERH/MG nº 49, publicada em 26 de março de 2015, que estabelece as diretrizes e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e de restrição de uso água em Minas Gerais, prevê 3 situações de alerta em seu art. 2º, sendo estes:

“I. Estado de Atenção: estado de vazão que antecede a situação crítica de escassez hídrica e seu Estado de Alerta, no qual não haverá restrição de uso para captações de água e o usuário de recursos hídricos deverá ficar atento para eventuais alterações do respectivo estado de vazões;

II. Estado de Alerta: estado de risco de escassez hídrica, que antecede ao estado de restrição de uso, caracterizado pelo período de tempo, em que o estado de vazão ou o estado de armazenamento dos reservatórios indicarem a adoção de ações de alerta para restrição de uso para captações de águas superficiais e no qual o usuário de recursos hídricos deverá tomar medidas de atenção e se atentar às eventuais alterações do respectivo estado de vazões;

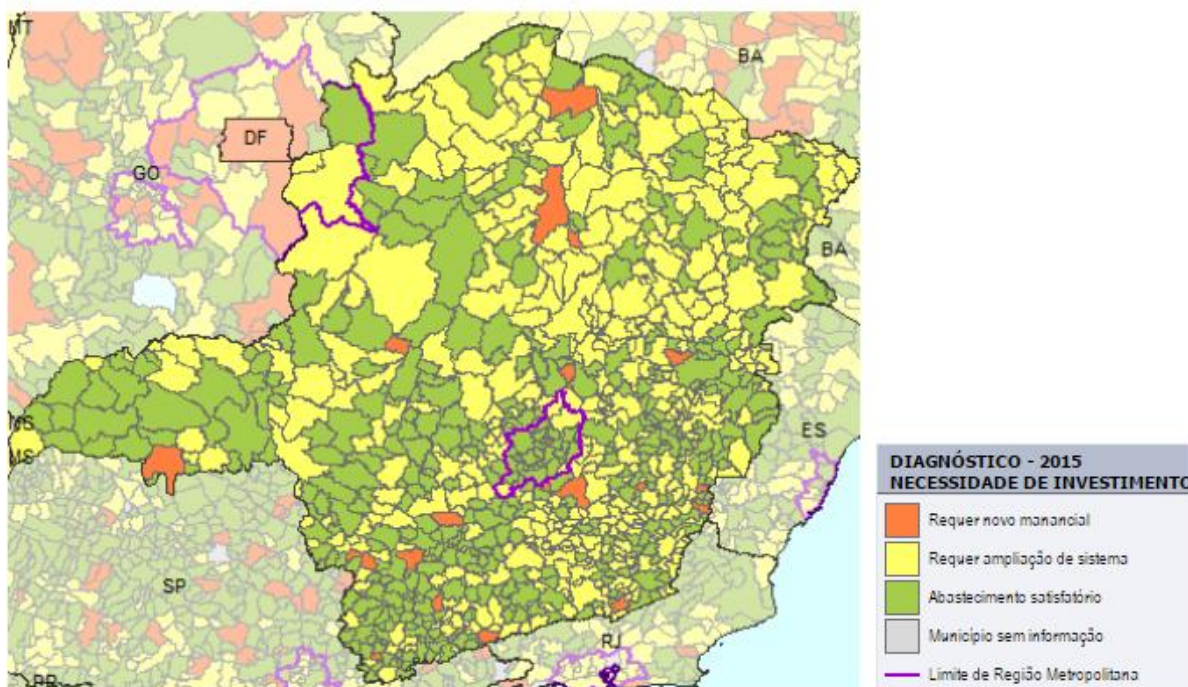
III. Estado de Restrição de Uso: estado de escassez hídrica caracterizado pelo período de tempo em que o estado de vazão ou o estado de armazenamento dos reservatórios

indicarem restrições do uso da água em uma porção hidrográfica. (MINAS GERAIS, 2015)”

O termo “segurança hídrica” que, como observado por Cook e Bakker (2012), define níveis de segurança relacionados com a água, também se relaciona com a política de recursos hídricos, agricultura, consumo humano, industrial, energia, transporte, meio ambiente e desastres naturais. A segurança hídrica de determinado setor ou região auxilia no planejamento e na gestão de emergências, mitigação de impactos, assim como na garantia de distribuição dos recursos hídricos de forma adequada.

A partir da Figura 3.6 tem-se um panorama do abastecimento de água em Minas Gerais, em que se observa que a região norte de Minas Gerais possui predominância a necessidade de ampliação do sistema de abastecimento, corroborando a informação discutida no tópico anterior acerca do abastecimento de água no Brasil. Logo, evidencia-se a necessidade de investimento em abastecimento na região Norte de Minas Gerais, principalmente em relação a locais que requerem novas fontes de captação. Tais ações devem partir de estudos hídricos e regionais no intuito de se garantir a melhor gestão dos recursos hídricos na região.

Figura 3.6 - Situação do abastecimento urbano em Minas Gerais.

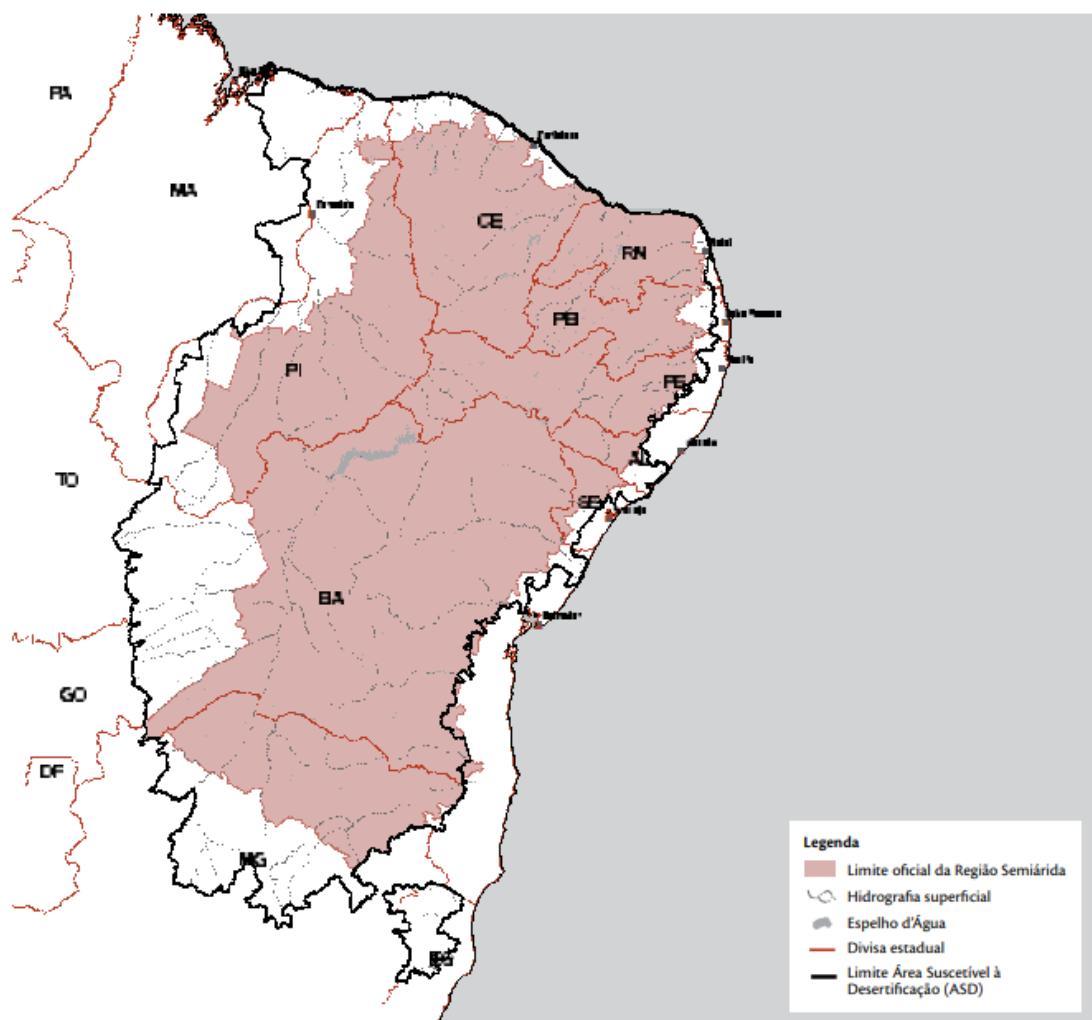


Fonte: ANA (2015).

A região norte de Minas Gerais é comumente conhecida como região dos “sertões” de Minas. Ribeiro e Galizoni (2004) argumenta que no sertão o poder do Estado se dá apenas depois da expansão da fronteira agrícola, abrindo espaço para uma gestão de territórios de “coronéis”. A

partir do Figura 3.7 é possível observar que o Norte de Minas se diferencia do restante do Estado, possuindo características mais próximas do semiárido nordestino marcado por períodos de seca e chuva torrencial. Ou seja, como destacado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) (2016), são regiões marcadas por extremos de seca ou chuvas repentinas e com grande volume pluviométrico, resultando em picos de inundações, não havendo, portanto, um equilíbrio, o que caracteriza tais regiões como vulneráveis a escassez hídrica. A atual Delimitação do Semiárido Brasileiro oficializou-se em 2005, utilizando os critérios de precipitação pluviométrica inferior a 80 milímetros, índice de aridez até 0,5 e risco de seca superior a 60%, como pode ser observado na Figura 3.7.

Figura 3.7 - Localização da Área Suscetível à Desertificação no Brasil.



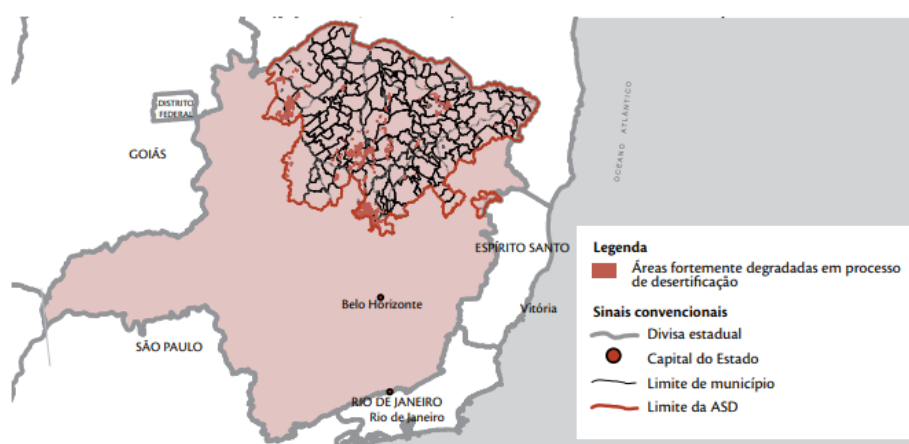
Fonte: Elaborado por Funceme e CGEE, com informações dos limites estaduais IBGE (2007) e do limite das ASD do Brasil, PAN Brasil, MMA (2005).

Vale destacar, que em consequência do escoamento superficial intensificado pelas chuvas torrenciais e pela baixa proteção fornecida pelas plantas do cerrado e caatinga, tais regiões

apresentam maior vulnerabilidade ambiental. Logo, o clima, o regime pluviométrico irregular, com temperaturas elevadas, altas taxas de evaporação e solos com susceptibilidade à erosão, quando acrescidos de intervenção humana por meio da supressão vegetal e uso inadequado dos recursos hídricos, possui esse processo intensificado (CGEE, 2016).

Abaixo (Figura 3.8) tem-se o mapa com a descrição das áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado de Minas Gerais, os quais contempla o município de Ibiracatu, alvo deste estudo.

Figura 3.8 - Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no Estado de Minas Gerais.



Fonte: Elaborado por Funceme e CGEE, 2015.

Atualmente foi definido como meta pelo Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais por meio da avaliação de áreas de vulnerabilidade ambiental “ampliar ações de acesso à água de qualidade para o consumo humano por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas. (MINAS GERAIS, p.75, 2023)”.

3.3 Características Gerais do Município de Ibiracatu-MG

O município de Ibiracatu, recebeu este nome em 1925, originado da língua indígena Tupi que quer dizer “árvore boa.” Sua economia é baseada na agropecuária, com destaque para o plantio do feijão, do algodão, da mamona, banana caturra, cana caiana, fava, feijão, milho, laranja, amendoim, café, dentre outros. Na região a pecuária é baseada na criação de porcos para o toucinho e fabricação da linguiça. Com relação as festividades, tem-se a tradicional Festa da Linguiça e os festejos do Bom Jesus e Santo Antônio celebrados anualmente (IBIRACATU, 2023).

O município localiza-se ao norte do estado de Minas Gerais, próximo dos municípios de Varzelândia-MG, Pedras de Maria da Cruz-MG, Januária-MG e São João da Ponte-MG. O município de Ibiracatu, que antes era um povoado pertencente a São João da Ponte, foi criado no ano de 1995 devido às diversas dificuldades que enfrentava devido à distância da cidade administrativa, dificuldade de acesso e recursos.

Ibiracatu situa-se a cento e oitenta e quatro quilômetros a nordeste de Montes Claros-MG, a maior cidade nos arredores e contempla os distritos de Bonança, Campo Alegre, e os povoados de Vertente e Traspassa (IBIRACATU, 2013). A cidade possui uma área de 353,257 km² e pertence à mesorregião do Norte de Minas–MG e à microrregião de Montes Claros–MG, seu município de origem. A população total do município é de 5.081 habitantes. A densidade populacional é de 14,38 hab/km² (IBGE, 2022).

Segundo o IBGE (2022), o salário médio mensal é de 1.6 salários mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 7.4%. Na comparação com os outros municípios do estado, ocupava as posições 504 de 853 e 780 de 853, respectivamente.

Segundo o IBGE, em 2010, a taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade era de 98%. Dados de 2021 apresentam 71 docentes no ensino fundamental, 42 docentes no ensino médio, 8 estabelecimentos de ensino fundamental e 3 estabelecimentos de ensino médio. Em relação à economia do Município, o PIB per capita, em 2020 foi de R\$ 8.898,54 reais e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,591 (IBGE, 2022).

No que diz respeito à saúde, o município conta com 6 estabelecimentos de Saúde SUS, e segundo dados de 2016, apresentava 1 internação por diarreia por mil habitantes (IBGE, 2022). Com relação ao meio ambiente, o município apresenta 1,47 km² de área urbanizada e é caracterizado pelos biomas Caatinga e Cerrado. Dados de 2010 demonstram que apenas 23,5% do município possui esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2022).

3.4 Sistema de Abastecimento de Água no município de Ibiracatu - MG

A oferta com quantidade e qualidade, principalmente em regiões rurais e com tendência a escassez hídrica, ainda é um desafio a ser superado no Brasil. Logo, o conhecimento do uso, demanda e fontes de água nestas regiões são imprescindíveis para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos. Além da vulnerabilidade social da população residente em áreas rurais, a falta de acesso à água em condições potáveis afeta a qualidade de vida e à saúde. Sistemas de

abastecimento de água, constituem, portanto, além de uma política pública, importante influência na saúde, na economia e no desenvolvimento das comunidades (HANTKE-DOMAS e JOURAVLEV, 2011).

Da população total do município, em 2021, de 5.340 habitantes, 75% (4028 habitantes) pertenciam a área de concessão da Copasa no município de Ibiracatu. Com relação à universalização do atendimento, em abril de 2021, o município contava com 1.764 ligações ativas e 329 ligações factíveis, ou seja, imóveis não conectados com rede à disposição (ARSAE, 2021).

De acordo com descrição do sistema pela Copasa (2022), a captação do município se dá de forma subterrânea, por meio de poços tubulares profundos. As informações de comprimento da rede, vazão, produção mensal e população atendida estão descritas na Tabela 3-1.

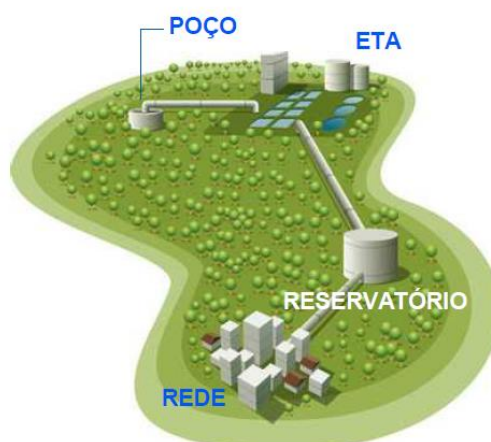
Tabela 3-1: Descrição do sistema de abastecimento da Copasa.

Comprimento da rede	21.553 metros
Vazão aproximada	4,77 litros de água por segundo
Produção mensal de água tratada	7,0 milhões de litros de água
População atendida	aproximadamente 1.475 habitantes

Fonte: Adaptado de Copasa (2023).

Além das informações pertinentes, a Copasa disponibiliza um croqui para visualização do sistema de abastecimento do município, conforme Figura 3.9.

Figura 3.9 - Croqui do sistema de abastecimento do município de Ibiracatu, Minas Gerais.



Fonte: COPASA (2022).

Os mananciais utilizados pela Copasa são protegidos, monitorados quanto a vazão a ser explorada, controle de tempo de funcionamento e análise físico-química e microbiológicas, tanto para a preservação ambiental, como para garantir a qualidade da água para abastecimento da população. Em relação ao tratamento, este é feito por meio dos processos de desinfecção e fluoretação (COPASA, 2022). A NBR 12216/1992, p.4, especifica que:

O tratamento mínimo necessário a cada tipo de água é o seguinte: Tipo A - desinfecção e correção do pH; Tipo B - desinfecção e correção do pH e, além disso: a) decantação simples, para águas contendo sólidos sedimentáveis, quando, por meio desse processo, suas características se enquadrem nos padrões de potabilidade; ou b) filtração, precedida ou não de decantação, para águas de turbidez natural, medida na entrada do filtro, sempre inferior a 40 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) e cor sempre inferior a 20 unidades, referidas aos Padrões de Platina; Tipo C - coagulação, seguida ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção do pH; Tipo D - tratamento mínimo do tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso (NBR 12216, p.4, 1992).

Após a desinfecção com cloração, há a etapa de desinfecção pós-cloração, com uma reaplicação de cloro. O cloro, além de possuir baixo custo e ser acessível, também tem demonstrado eficiência na remoção de cor, ferro, manganês, assim como controle de sabor, odor e crescimento de algas (BRASIL, 2014). Em relação a desinfecção, o manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa (BRASIL, p.11, 2014), destaca que:

A desinfecção constitui-se na etapa do tratamento da água, cuja função básica consiste na inativação dos micro-organismos patogênicos, realizada por intermédio de agentes físicos e ou químicos. Ainda que nas demais etapas do tratamento haja redução do número de micro-organismos presentes na água, a desinfecção é operação unitária obrigatória, pois somente ela inativa qualquer tipo existente e previne o crescimento microbológico nas redes de distribuição (BRASIL, p.11, 2014).

A etapa seguinte a desinfecção no município de Ibiracatu é a fluoretação. De acordo com a Funasa, a fluoretação, além de um processo seguro, possui baixo custo, e se consiste em uma medida preventiva de tratamento de água para abastecimento humano por possuir eficácia na redução de cárie dental (BRASIL, 2012).

Para garantir a eficácia dos processos de tratamento a Copasa estabelece um controle de qualidade avaliando-se os aspectos físicos, químicos, biológicos e hidrobiológicos. A partir destes são avaliados, segundo a Copasa (p.1, 2022):

Físico: verifica-se a cor e a turbidez, ou seja, possíveis alterações na sua transparência ou presença de resíduos.

Químico: verifica-se a presença de materiais orgânicos ou inorgânicos que afetam a saúde das pessoas (pesticidas, ferro, alumínio, etc).

Bacteriológico: verifica-se a existência de coliformes totais e, dentre outros micro-organismos, indicativos da possibilidade da presença de outros micro-organismos causadores de doenças no homem.

Hidrobiológico: verifica-se a presença de micro-organismos e organismos (vegetais e animais) que prejudiquem o tratamento da água ou que possam liberar substâncias tóxicas (COPASA, p.1, 2022).

O controle de qualidade é essencial na operação do sistema de abastecimento de forma a garantir a integridade de todos os processos e da saúde da população abastecida com a água e deve englobar, além dos padrões de potabilidade, aspectos referentes à projeto, construção, operação e manutenção. A Figura 3.10 apresenta os dados de potabilidade referentes ao período de janeiro de 2022 a dezembro de 2022 em comparação com a Portaria 2914/ Ministério da Saúde, o qual não houve comprometimento da qualidade da água distribuída à população. As análises foram realizadas em periodicidade trimestral e semestral, e análises fora dos padrões de potabilidade foram refeitas, assim como inspeções sanitárias e descargas nos pontos de coleta (COPASA, 2022).

Figura 3.10 - Dados referentes ao período: 01/2022 a 10/2023 - Portaria 888/2021 Ministério da Saúde.

Parâmetro	Unidade	Dados referentes ao período de 01/2022 a 10/2023				Valor Médio	Limites
		Mínimo	Analisadas	Fora padrão	Que atende		
Cloro	mg/L Cl	110	196	0	196	0,92	0,2 a 5
Coliformes Totais	NMP/100mL	110	192	0	192	100,00%	Obs.
Cor	UH	110	196	0	196	2,57	15
Escherichia coli	NMP/100mL	110	192	0	192	-	Obs.
Fluoreto	mg/L F	0	38	0	38	0,71	1,5
Turbidez	uT	110	196	0	196	0,27	5
pH	-	0	196	0	196	7,39	6 a 9,5

Fonte: Adaptado de COPASA (2023).

Na análise da água distribuída em redes e reservatórios, o parâmetro pH não é obrigatório. Para os parâmetros Coliformes totais e *Escherichia coli* não se aplicam os valores médios descritos, por serem avaliados de acordo com os seguintes critérios, para o Coliforme total, sistemas para até 20.000 habitantes devem ter apenas uma amostra positiva entre as examinadas mensalmente. Sistemas maiores devem apresentar ausência desses indicadores em pelo menos 95% das amostras. Quanto à *Escherichia coli*, a ausência em 100 ml é o critério estabelecido (COPASA, 2022).

3.5 Bases Legais

No Brasil, há normas e padrões para o enquadramento dos corpos d'água. Para isso, existem leis, decretos e resoluções em âmbito federal, estadual e municipal, variando de menos

restritivas para mais restritivas (TENEDINI, 2016). A Lei nº 9.433 “Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (BRASIL, p.1, 1997). A partir desta, objetiva-se assegurar, nos padrões adequados aos usos, a disponibilidade hídrica.

Sabe-se da importância em conhecer e aplicar os padrões de potabilidade para abastecimento humano, com o intuito de garantir a saúde e a qualidade de vida a todos. A Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

No capítulo VI, artigo 42, inciso 2, da Portaria 88/2021, estabelece-se que:

"Sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, provenientes de fontes subterrâneas, devem conduzir análises dos seguintes parâmetros: Turbidez, Cor Verdadeira, pH, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal Total, condutividade elétrica, bem como dos parâmetros inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos" (BRASIL, p.8, 2021).

Em relação ao parâmetro de dureza total, conforme estipulado no capítulo VIII, artigo 55, foi determinado um prazo máximo de 24 (vinte e quatro) meses, a serem contados a partir da data de publicação da portaria para que os órgãos e entidades sujeitos à sua aplicação realizem as adaptações necessárias visando atender ao novo Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido para o parâmetro de dureza total, fixado em 300 mg/L (BRASIL, 2021).

Em âmbito nacional, a Lei Federal nº 11.445, (BRASIL, 2007), estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, enquanto o Decreto Federal nº 5.440, (BRASIL, 2005) estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano e o Decreto Federal n.º 79.367 (BRASIL, 1977), dispõe sobre normas e padrão de potabilidade da água.

De acordo com o Art. 5º da Portaria GM/MS nº 888, de 4 de MAIO de 2021 são adotadas as seguintes definições:

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde; (BRASIL, 2021).

A partir da Tabela 3-2, tem-se o padrão Organoléptico de Potabilidade, no qual se enquadra o parâmetro Dureza Total, estabelecido de forma a atender as definições de água para consumo humano e água potável, conforme a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de MAIO de 2021.

Tabela 3-2 - Padrão Organoléptico de Potabilidade da Água.

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia	mg/L	1,2
Cloreto	mg/L	250
Cor aparente	uH	15
1,2 diclorobenzeno	mg/L	0,001
1,4 diclorobenzeno	mg/L	0,0003
Dureza total	mg/L	300
Ferro	mg/L	0,3
Gosto e odor	Intensidade	6
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,02
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	mg/L	0,05
Turbidez	uT	5
Zinco	mg/L	5

Nota: VMP – valor máximo permissível.

Fonte: BRASIL (2021).

Considerando-se os valores típicos de parâmetros encontrados nos corpos hídricos e os padrões de potabilidade, as águas direcionadas ao abastecimento público precisam passar por um tratamento a fim de serem considerados em conformidade com a legislação.

3.6 Compreendendo a Dureza e Suas Propriedades

Em águas subterrâneas, como descrito por Feitosa (2008), a maioria das substâncias encontram-se dissolvidas (forma iônica), advindas da dissolução de minerais com cálcio e magnésio, tais como as rochas calcárias. Custódio e Llamas (1983, p. 212) define que “a dureza mede a capacidade de uma água para consumir sabão ou produzir incrustações. As definições atuais o identificam com o conteúdo de íons metais alcalino-terrosos, essencialmente $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ”.

A dureza da água é frequentemente categorizada em dureza temporária, dureza permanente ou dureza total, a depender dos diferentes compostos presentes na água. A dureza total, conforme o manual prático de análise de água, “é calculada como sendo a soma das concentrações de íons cálcio e magnésio na água, expressos como carbonato de cálcio (BRASIL, p.46, 2004)”.

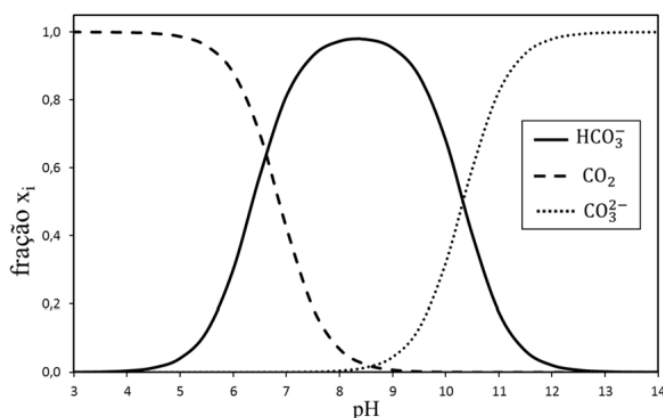
A dureza temporária é gerada pela presença de carbonatos e bicarbonatos, enquanto a dureza permanente advém da presença de cloretos, nitratos e sulfatos na água. Ambas são resistentes as ações do sabão, entretanto, a dureza temporária, devido ao calor, precipita-se, resultando em incrustações (BRASIL, 2004)”.

As reações químicas relacionadas à dissolução de minerais como cálcio e magnésio e posterior formação de compostos como o ácido carbônico, bicarbonato e carbonato variam de acordo com pH do meio, como pode ser descrito pelas equações abaixo e pela Figura 3.11 (FROTA; VASCONCELOS, 2019).



Das espécies químicas envolvidas no equilíbrio químico, o bicarbonato é a espécie predominante na maior parte da escala de pH (FROTA; VASCONCELOS, 2019). Logo, o pH é essencial para as reações que envolvem o abrandamento da dureza, tendo em vista que influencia na espécie disponível no meio.

Figura 3.11 - Frações molares das espécies químicas (x_i) em função do pH.



Fonte: Souto (2015).

Como observado por Custódio e Llamas (1983) águas com alto teor de dureza possuem característica incrustantes, produzem alto consumo de sabão e dificultam o cozimento dos alimentos, podendo, também, não serem adequadas para o consumo. A classificação da água quanto ao teor de dureza esta retratada na Tabela 3-3.

Tabela 3-3 - Classificação das águas quanto ao teor de dureza total.

Classificação	Concentração (mg/L CaCO₃)
Águas brandas	<50
Levemente duras	Até 100
Moderadamente duras	Até 200
Muito duras	Acima de 200

Fonte: Adaptado de Custódio e Llamas (1983).

Outros autores como Rocha (*et al.*, 2009) e Libânio (2016) classificam de forma menos restritiva, como observado na Tabela 3-4.

Tabela 3-4 - Classificação quanto a concentração de dureza em mg/L CaCO₃.

Classificação	Concentração (mg/L CaCO₃)
Águas brandas	<50
Moderadamente duras	50 a 150
Duras	150 a 300
Muito duras	Acima de 300

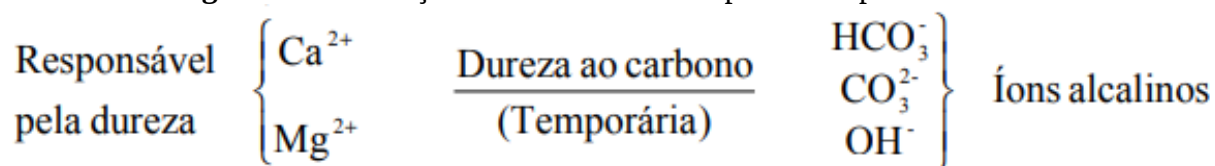
Fonte: Adaptado de Rocha *et al.* (2009) e Libânio (2016).

Von Sperling (2014, p. 29) define a dureza como:

Concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os cátions divalentes Ca²⁺ e Mg²⁺. Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A dureza pode ser classificada como dureza carbonato e dureza não carbonato, dependendo do ânion com a qual está associada. A dureza correspondente à alcalinidade é denominada dureza carbonato, enquanto que as demais formas são caracterizadas como dureza não carbonato. A dureza carbonato é sensível ao calor, precipitando-se em elevadas temperaturas (VON SPERLING, 2014, p.29).

Outra nomeação, descrita por Frota e Vasconcelos (2019), pode ser classificada como temporária ou carbonato, que precipita em elevadas temperaturas, e a dureza não carbonato ou permanente, que necessita de tratamento químico para seu tratamento por estar associada a sulfatos e cloretos. A Figura 3.12, demonstra de forma mais simplificada a associação da dureza temporária ou carbonato.

Figura 3.12 - Relação de íons e cátions responsáveis pela dureza.



Fonte: Frota e Vasconcelos (2019).

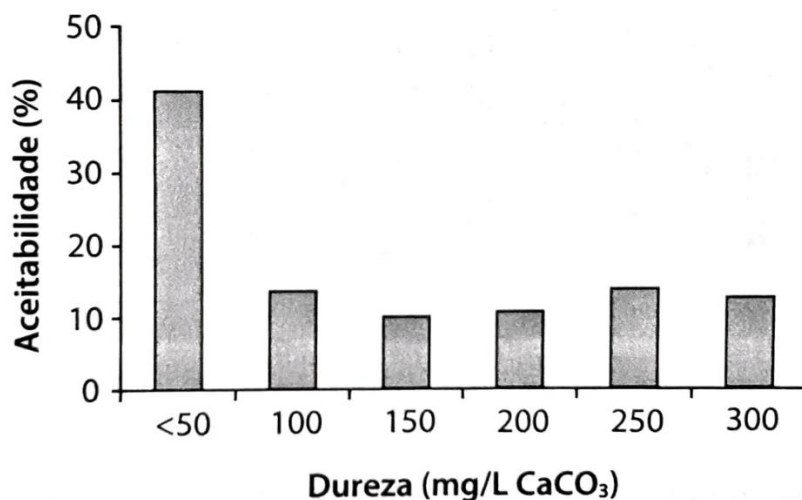
Algumas características associadas a águas muito duras importantes de serem citadas são: sabor desagradável, efeitos laxativos, reduz a formação de espuma, incrustação nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores (VON SPERLING, 2014).

De acordo com a antiga Portaria nº 5/2017 (BRASIL, 2017) do Ministério da Saúde, a dureza total máxima permitida para atender aos padrões de potabilidade era de 500 mg/L de CaCO_3 . A Portaria GM/MS nº 888, publicada em 4 de maio de 2021 determina que a concentração de dureza, para os padrões de potabilidade, não deve ultrapassar 300 mg/L (BRASIL, 2021).

Piveli (2001) afirma que o padrão de 500 mg/L de CaCO_3 não é muito restritivo, contudo, a aplicação de uma restrição mais severa, como determinado pela atualização da Portaria do Ministério da Saúde, poderia inviabilizar muitos abastecimentos públicos que fazem uso da água dura, principalmente em áreas rurais, o que torna necessário a disposição de estratégias alternativas de remoção da dureza ou abrandamento da água.

Estudos demonstram que a população demonstra baixa aceitabilidade à águas com concentrações de dureza superior a 100 mg/L de CaCO_3 , recorrendo mais frequentemente ao uso de água mineral em regiões com concentrações mais elevadas, como demonstra a Figura 3.13 (LIBÂNIO, 2016).

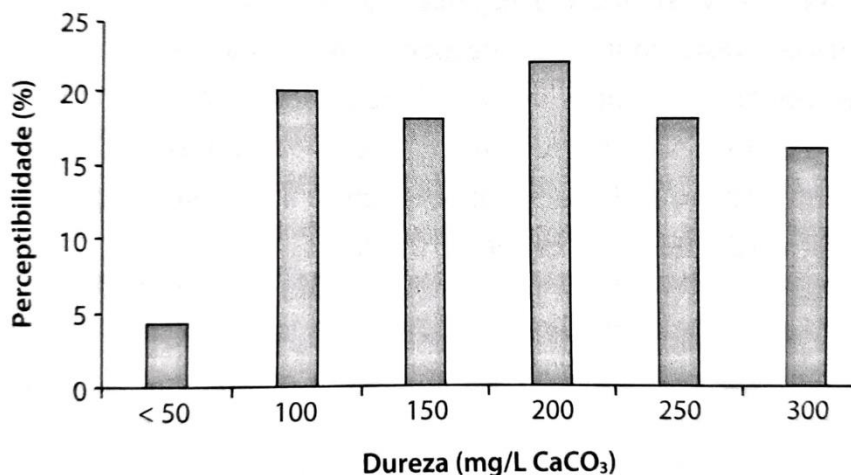
Figura 3.13 - Potencial de aceitabilidade quanto ao teor de dureza.



Fonte: Libânio (2016).

Entretanto, a partir da Figura 3.14, nota-se uma consistência na percepção da dureza após atingir 100 mg/L de CaCO₃. Isso evidencia uma baixa aceitação por parte da população em relação a águas classificadas como moderadamente duras ou duras, mesmo quando seus níveis estão abaixo de 300 mg/L e em conformidade com a legislação vigente.

Figura 3.14 - Grau de perceptibilidade da população quanto ao teor de dureza.



Fonte: Libânio (2016)

3.7 Parâmetros físico-químicos corriqueiramente empregados no monitoramento da qualidade da água que se correlacionam com a dureza total

Vários parâmetros podem interferir diretamente na concentração de dureza total, dentre os quais temperatura, pH, condutividade elétrica e potencial de oxirredução. Tais parâmetros físico-químicos tem ação direta nas reações de precipitação e dissolução dos carbonatos, assim como de sulfatos, fosfatos, silicatos e demais ânions que podem conferir dureza aos corpos hídricos. Importante mencionar que tais medições devem ser realizadas *in loco*, para garantir a

representatividade das características do manancial. O controle destas variáveis (temperatura, pH, condutividade elétrica e potencial de oxirredução) pode ser essencial para gerir procedimentos de sorção de espécies iônicas na superfície de materiais adsorventes, por exemplo.

A temperatura da amostra, como especificado por Von Sperling (p.22, 2014), é um parâmetro físico definido como a “medição da intensidade do calor”. Sua análise “*in situ*” é essencial pois pode afetar as propriedades físicas e químicas da amostra, influenciando diretamente os resultados da análise. Além disso, a dureza temporária da água é afetada pelo calor, logo temperaturas elevadas estão associadas a precipitação do carbonato, resultando na formação de incrustações.

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida que indica a acidez ou alcalinidade de uma solução aquosa, representando a concentração de íons hidrogênio H^+ . Este varia em uma escala que vai de 0 a 14, onde 7 é considerado neutro, valores abaixo indicam acidez e valores acima indicam alcalinidade. Águas subterrâneas tendem a apresentar pH entre 5,5 e 8,5. O pH da solução interfere significativamente na carga dos sítios de adsorção do adsorvente e em seus graus de ionização (FEITOSA, 2008). Sua medição é importante pois interfere em diversas etapas do tratamento de água, assim como na remoção da dureza. Assim, como na temperatura, o pH associa-se a diferentes faixas de atuação ótima de coagulantes e, quando elevado aumenta a possibilidade de incrustações em águas de abastecimento (Von Sperling, 2014).

A condutividade elétrica é a capacidade de uma amostra de água conduzir corrente elétrica, refletindo a presença de sais dissolvidos na forma de íons. Além disso, está ligada à temperatura, tendo em vista que o aumento na temperatura da amostra resulta em um aumento na condutividade elétrica da água (FEITOSA, 2008). Ou seja, a temperatura exerce influência na condutividade elétrica, visto que o seu aumento pode influenciar e facilitar a mobilidade dos íons presentes na água.

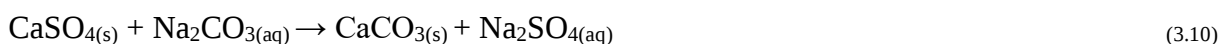
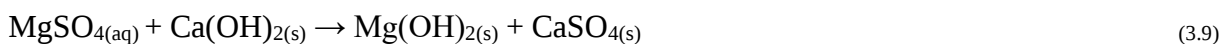
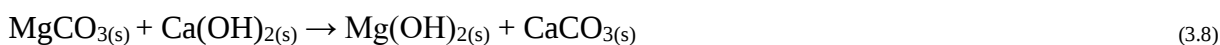
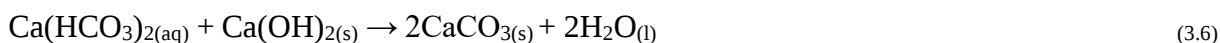
O potencial de oxiredução (ORP) é definido como a medida da tendência de uma substância química sofrer uma reação de oxidação ou redução. Essa medida é crucial em processos em que a compreensão das reações de oxirredução se fazem necessárias, o que tem destacado a importância desta no monitoramento ambiental, fazendo-a compor a lista de parâmetros para análise de sistemas de abastecimento (JARDIM, 2014).

3.8 Principais Técnicas de Abrandamento da Dureza da Água

As técnicas de abrandamento de dureza mais comumente utilizadas são a troca iônica e precipitação química (MIERZWA, 2005). Tais procedimentos possuem vantagens e desvantagens conforme discutidos brevemente a seguir.

3.8.1 Precipitação química

O abrandamento por precipitação química, se dá por meio da adição de óxido de cálcio (CaO) e carbonato de sódio (Na₂CO₃). O óxido de cálcio cumpre a função de elevar o pH da água fornecendo a alcalinidade necessária, enquanto o carbonato de sódio fornece a alcalinidade e os íons carbonatos para a ocorrência da reação. Silva e Carvalho (2020), demonstram o processo por meio das reações químicas, conforme apresentado a seguir:



Silva e Carvalho (2020), destacam como vantagens da precipitação química, sua aplicabilidade em águas com concentrações de dureza elevadas, contudo, há a produção de lodo e necessidade de ajustes finais da água, fator que pode elevar os custos do processo.

3.8.2 Adsorção

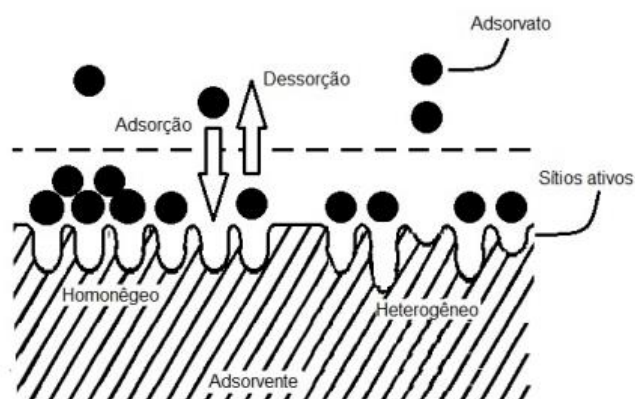
Nascimento (*et al.*, p.14, 2014) define a adsorção como “uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos”.

A operação de adsorção, como destacado por Nascimento (2014, apud RUTHVEN, 1984) é composta pelo adsorbato, o qual se refere à substância adsorvida, e adsorvente, referente ao material ou superfície em que ocorre o processo de adsorção.

A adsorção pode ainda ser classificada em física, em que o adsorbato se liga à superfície do adsorvente por meio de forças de Van der Waals, ou química, pela partilha de elétrons entre as moléculas do adsorbato e a superfície do adsorvente. Diversos fatores podem interferir no processo de adsorção, alguns que se destacam são a área superficial, as características do adsorvente e do adsorbato, a temperatura e o pH do meio (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Com destaque para a área superficial, que por ser diretamente proporcional, quanto maior, menor a disponibilidade de sítios adsortivos.

A adsorção é localizada e ocorre através da colisão de moléculas de adsorbato em sítios vazios (HILL, 1977, p. 174). A partir da Figura 3.15 é possível observar o funcionamento dos processos adsortivos entre adsorvente e adsorbato.

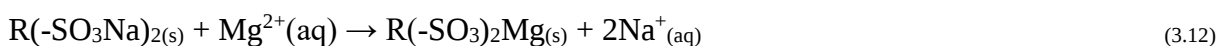
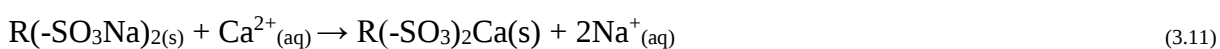
Figura 3.15 - Representação esquemática do processo de Adsorção.



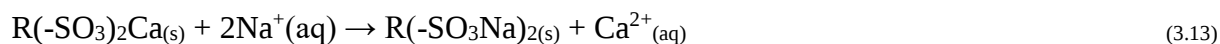
Fonte: Milhomem (2018, apud de Xingyu, 2012).

O processo de troca catiônica é um processo que explica o fenômeno adsorção demonstrado acima. O abrandamento por troca catiônica consiste na passagem da água por meio de um leito com resina catiônica que captura os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , tais como o Na^+ . Após a saturação da resina, deve haver a regeneração por meio da adição de Cloreto de Sódio (NaCl) (OLIVEIRA, 2020). Silva e Carvalho (2020), demonstram o processo por meio das reações:

Reações de troca catiônica, em que R diz respeito ao sulfonato de poliestireno de sódio:



Reações de regeneração da resina:



A técnica de resina por troca catiônica possui alta eficiência para remoção da dureza, além de não formar lodo no processo. Contudo, requer um pré-tratamento da água e do efluente da regeneração da resina (SILVA; CARVALHO, 2020). Logo, neste caso, a resina atuaria como adsorvente e a dureza como adsorbato, sendo uma das técnicas mais usualmente utilizadas por sua eficiência.

A adsorção como forma de remoção de contaminantes tem por intuito a separação ou purificação de determinada espécie química e, possui em sua maioria adsorventes com alta porosidade (PEREIRA, F., 2008).

Para o processo de adsorção, seja este físico e/ou químico, deve-se considerar as características do adsorvente e do adsorbato. A primeira compreende a área superficial, porosidade, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material, enquanto a segunda relaciona-se com a polaridade, tamanho da molécula, solubilidade e da acidez ou basicidade do material (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Em relação as condições operacionais, Nascimento (*et al.*, 2014) destaca a necessidade de atenção as características do solvente, temperatura e pH – este último responsável por determinar a carga da superfície do adsorvente e controlar as interações eletrostáticas no processo de adsorção (TOLEDO *et al.*, 2005).

A utilização de biomassa como adsorvente, como observado por Ferreira (2014) demonstra uma alternativa, principalmente, a destinação correta de resíduos, além de apresentarem capacidade de regeneração, eficiência e serem economicamente viáveis.

A quantificação da adsorção de solutos (adsorbatos) por sólidos (adsorventes) pode ser determinada através do uso de equações matemáticas para elaboração de isotermas de adsorção. Os dados de adsorção são gerados por meio de uma técnica simples que se baseia no contato entre uma quantidade conhecida de soluto com uma quantidade também conhecida de adsorvente por um tempo determinado a temperatura constante. Ao final, admite-se que a diferença entre a quantidade adicionada e a remanescente na solução ficou adsorvida na superfície adsorvente (BOHN *et al.*, 1979).

3.8.2.1 Adsorventes Sintéticos

Os adsorventes sintéticos dizem respeito aos materiais criados ou fabricados em laboratório, tais como a resina catiônica e o carvão ativado.

“Resinas sintéticas são ésteres ou poliésteres de ponto de ebulição elevado, como acetato de etila ou butila (FROTA; VASCONCELOS, p.43, 2019)”. A resina catiônica, pertencente ao processo convencional de abrandamento da dureza, constitui-se como um dos tipos de resina de troca iônica. Tais variações dependem da basicidade ou acidez dos grupos iônicos das resinas tendo seu processo diretamente associado a faixa de pH em que a resina atua (ALMEIDA, 1999). Almeida (1999) também destaca em relação as resinas catiônicas que a faixa de pH ideal para ácidos fracos variam de 5 a 14, e 0 a 14 para ácidos fortes.

Conforme Melo (2011), a resina catiônica de ácido fraco demonstra alta eficiência com baixa necessidade de regenerantes, enquanto a resina catiônica de ácido forte, embora necessite de maior quantidade de regenerantes, tem uma maior capacidade de troca iônica, sendo preferida em processos de abrandamento de água.

Em relação ao carvão ativado pode-se dizer que o seu emprego em processos adsorptivos é expressivo. A produção de carvão ativado no mundo chega a 400.000 toneladas por ano (YANG *et al.*, 2000). A fabricação e ativação do carvão ativado pode ser de forma química ou física e pode fazer uso de biomassa comum como, por exemplo, a palha da cana de açúcar.

A partir da ativação tem-se um aumento da porosidade do adsorvente e do seu potencial adsorptivo (CLAUDINO, 2003). Em relação a adsorção da dureza total, estudos demonstram que o carvão ativado quimicamente pode ter uma eficiência de até 74% no abrandamento da dureza (ARAUJO, BOTELHO, 2022).

3.8.2.2 Adsorventes Naturais

Os adsorventes naturais dizem respeito àqueles materiais que podem ser encontrados na natureza em seu estado natural, sem modificação química, como a argila e o bagaço de cana.

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que, quando úmido, possui plasticidade. Sua composição química consiste-se em silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio (SANTOS, 1989). Pereira (2008, p.24 apud Santos 1975) caracteriza as argilas como:

Elevado teor de partículas de diâmetro abaixo de 2 μm ; propriedades plásticas quando pulverizadas e umedecidas; duras e rígidas, após a secagem e adquirirem a dureza do aço após queima a temperaturas elevadas (acima de 800°C); e capacidade de troca de cátions entre 3 meq e 150 meq por 100 g de argila.

A capacidade das argilas de troca catiônica, sejam estas ativadas ou não, destacam suas ações adsorptivas, o que tem despertado grande interesse na remoção de substâncias poluentes (COSTA, 2022). Tireli (2011) pontua, adicionalmente, características como alta eficiência, baixo custo, abundância no ambiente, grande área específica, estabilidade química e não toxicidade.

Stofela (2014) destaca a eficiência da utilização de argilas em tratamentos de água. Nkansah *et al.* (2012) relata não haver contraindicações no uso de argila expandida como adsorvente no tratamento de águas, destacando sua eficiência na remoção de íons metálicos com potenciais tóxicos.

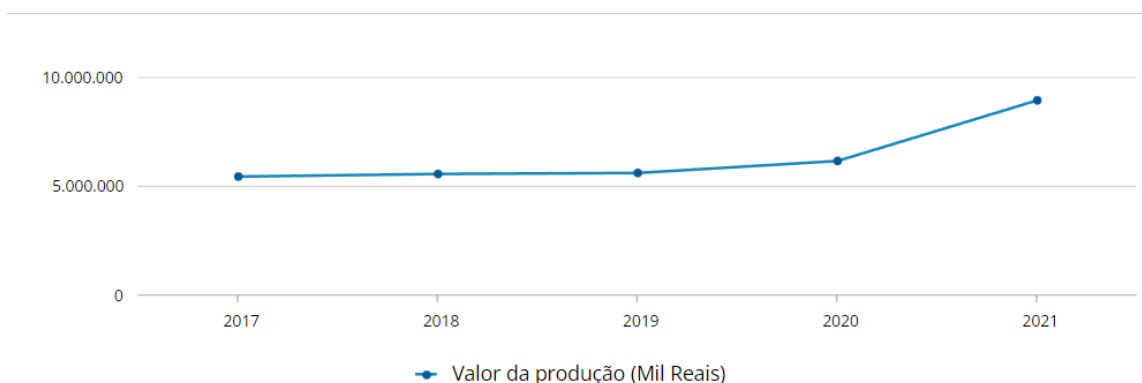
Segundo Kalhori *et al.* (2013), a argila expandida apresenta alta porosidade, o que permite maior absorção e retenção dos íons metálicos. Esta também possui forte relação com o pH, apresentando carga positiva em pH baixo e carga negativa em pH alto, o que, a partir de sua manipulação, pode permitir maior eficiência do processo adsorptivo (AMIRI *et al.*, 2011).

A argila do tipo bentonita, tem demonstrado potencial no abrandamento de dureza, visto sua capacidade de sorção de cátions inorgânicos como Ca^{2+} e Mg^{2+} (ROBIN *et al.*, 2015). No que diz respeito à argila expandida, estas, além de abundantes na natureza, demonstram eficiência na remoção de metais das águas. Schimidt *et al.* (2008), também defende que argilas como bentonita e vermiculita possuem potencial de abrandamento de águas duras.

Em relação ao bagaço de cana, a história e estabelecimento da produção de cana-de-açúcar no Brasil transmitiu muitas transformações, principalmente no que diz respeito a economia (BAER, 1965). Sua produção se estabeleceu na década de 1530 e repercute até os dias atuais.

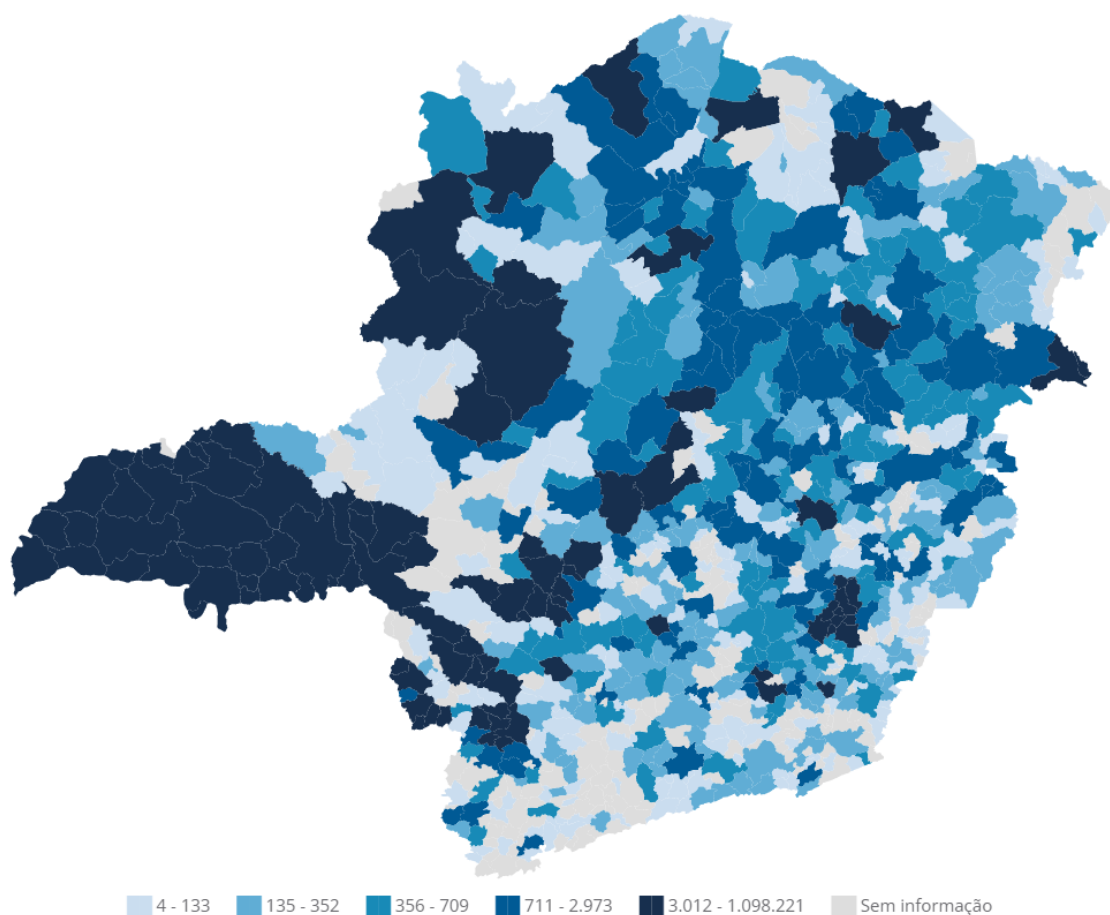
A Figura 3.16, apresenta a série histórica da produção de cana de açúcar no estado de Minas Gerais, em que, em 2021, obteve um valor de produção de 8.992.756 mil reais, referente a produção de 69.915.645 Toneladas. (IBGE, 2021). A partir de dados do IBGE, tem-se que o município de Ibiracatu, no ano de 2021, obteve valor de produção equivalente a 840 mil reais.

Figura 3.16 - Série histórica da Cana de açúcar em Minas Gerais.



Fonte: IBGE (2021).

Figura 3.17 - Valor da produção de Cana-de-açúcar em Minas Gerais (Mil reais).



Fonte: IBGE (2021).

O bagaço da cana de açúcar, advindo da moagem da cana de açúcar, é um resíduo agrícola abundante e economicamente viável de utilização como biomassa renovável (KARNITZ, 2007). Silva et.al (2007), trabalhando com o bagaço de cana de açúcar como biomassa na

adsorção de poluentes orgânicos obteve uma composição média do bagaço de cana de açúcar após moagem conforme apresentado na Tabela 3-5.

Tabela 3-5 - Composição média do bagaço de cana-de-açúcar.

Composição química média	
Carbono	39,7 - 49%
Oxigênio	40 - 46%
Hidrogênio	5,5 - 7,4%
Nitrogênio e cinzas	0 - 0,3%
Propriedades físico-químicas	
Umidade	50%
Fibra	46%
Briax	2%
Impurezas minerais	2%
Composição média da fibra do bagaço de cana-de-açúcar	
Celulose	26,6 - 54,3%
Hemicelulose	14,3 - 24,4%
Lignina	22,7 - 29,7%

FONTE: Silva *et al.* (2007).

O bagaço de cana-de-açúcar é rico em fibras orgânicas, a qual é composta por celulose, hemicelulose e lignina (SOARES, 2012). Suas funcionalidades variam desde a geração de energia, uso como ração até produção de papel.

A utilização de biomassa como material adsorvente tem sido intensificada pelo baixo custo e sua potencial capacidade de remoção de metais. A utilização do bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente com EDTA, como observado por Assis (2012), aumenta a capacidade de adsorção de metais.

Visto isso, a argila expandida e o bagaço de cana constituem-se como alternativas de baixo custo e boa capacidade de remoção de metais, o que justifica a escolha destas para os testes do presente estudo.

3.8.3 Estudos desenvolvidos com o tema

Ao comparar diversos estudos relacionados a aplicação de técnicas no abrandamento é possível obter um panorama das abordagens e conclusões em estudos na área. Enquanto alguns pesquisadores enfatizam o uso de técnica já consolidadas como a utilização de resinas e carvão ativado, outros se concentram mais intensamente em alternativas naturais, como argila e bagaço de cana.

Em relação à resina, estudos demonstram uma eficiência acima de 80% no abrandamento da dureza. Moraes (2021), a partir de seu estudo obteve uma eficiência acima de 95%, utilizando 10g/L de resina do tipo catiônica. Enquanto Hailu et. Al (2019), por meio do ajuste de parâmetros no estudo, conseguiu uma redução de 658,3 mg/L de CaCO_3 para 125 mg/L de CaCO_3 , ou seja, uma remoção de 81,0% da dureza. Outro estudo realizado por Bessa (2016), em um tempo de contato de 20 minutos atingiu uma eficiência de remoção de dureza de 97,57% e 96,87%.

Tratando-se do carvão ativado, Paim e Oliveira (2010), atingiram, por meio de sua utilização, uma eficiência de 57% no abrandamento da dureza. Em um estudo realizado por Silva (2014), com a utilização do carvão ativado advindo do bagaço de cana, foi observada uma eficiência do abrandamento da dureza de 74%, além de sua efetividade na melhora de outros parâmetros, como cor e turbidez.

Como alternativas de substituição a outros métodos, Costa (2022), verificou a utilização das argilas no abrandamento da dureza. Seu uso no estado natural atingiu uma eficiência de 40% no abrandamento, enquanto os testes realizados com a argila ativada com NaOH, apresentaram eficiência de remoção de dureza total de 79% e 88%. Nos estudos conduzidos por Lima (2017), as argilas modificadas, bentonita e vermiculita, revelaram notável capacidade na remoção de metais. Destaca-se que a vermiculita ativada com NaCl alcançou uma eficiência de remoção de 45%, destacando-se como a mais eficaz entre as argilas testadas. Os resultados de ambos os estudos subsidiam a promissora aplicação dessas argilas modificadas como agentes adsorventes para o abrandamento da dureza total.

Tratando-se de fibras vegetais, alguns autores realizam estudos no intuito de se avaliar o potencial adsorativo destas na remoção de metais. Um estudo realizado por Karnitz (2007), avaliou o potencial adsorativo do bagaço de cana ativado com EDTA na remoção dos metais chumbo, cádmio, cálcio e magnésio. A partir do estudo foi concluída a capacidade adsorativa e o potencial do material para utilização em tratamentos de águas e efluentes. Moreira (2009), realizou um estudo com bagaço de caju tratado com NaOH 0,1 mol/L, em que este demonstrou ser um eficiente material adsorvente para íons metálicos chumbo, cobre, níquel, cádmio e zinco em solução aquosa, além de uma alternativa de substituição promissora para remoção de metais em solução aquosa.

À medida que se aprofunda nessa área de conhecimento, é possível avaliar que estudos acerca da eficiência da resina e do carvão demonstram-se mais consolidados. Contudo, a argila e o uso de fibras vegetais têm apresentado resultados promissores na remoção de íons metálicos, o que subsidia o investimento em maiores estudos nessa área.

4 METODOLOGIA

4.1 Método de Abordagem

Demo (2000, p. 20), defende que a “Pesquisa é entendida tanto como procedimento de fabricação do conhecimento, quanto como procedimento de aprendizagem (princípio científico e educativo), sendo parte integrante de todo processo reconstrutivo de conhecimento.” O método de abordagem de uma pesquisa se refere a lógica dos processos que se aplicam à pesquisa. Também chamado de método geral, oferece normas genéricas científicas que orientam a sistemática a ser seguida (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Em relação ao enquadramento metodológico, quanto à sua natureza e abordagem, o presente projeto se deu de forma aplicada e quali-quantitativa, respectivamente. Prodanov e Freitas (2013, p. 51) destacam que “a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”. A pesquisa quali-quantitativa como observado por Creswell (2010, p. 27) “envolve suposições filosóficas, o uso de abordagens qualitativas e quantitativas e a mistura das duas abordagens em um estudo”.

Quanto aos objetivos, a pesquisa se deu de forma descritiva e explicativa. A pesquisa descritiva, busca descrever, observar, analisar, explicar e interpretar, por meio da aplicação de questionário, determinado fenômeno ou população, enquanto a explicativa busca identificar fenômenos e supor novas ideias a respeito do tema, geralmente por meio de experimento (PRODANOV; FREITAS, 2013). No que se refere aos procedimentos, o projeto utilizou a pesquisa de levantamento para a investigação da percepção ambiental e a pesquisa experimental para a coleta de amostras de água, análise e testes de adsorção. Durante o processo de execução do projeto realizou-se o levantamento bibliográfico, tendo com o objetivo selecionar ferramentas alternativas para o abrandamento de águas duras.

Para a fundamentação do referencial teórico foram utilizados, de forma diligente, livros, artigos científicos, periódicos, teses, dissertações, assim como organizações, institutos e associações empresariais relevantes, acerca das temáticas de água potável e saneamento básico, águas duras, técnicas de abrandamento de dureza convencionais, técnicas alternativas e legislações aplicáveis à potabilidade.

A obtenção do material utilizado se deu principalmente de forma digital, por meio de periódicos Capes, Google Acadêmico, Scielo, Science Direct e afins, utilizando-se as palavras chaves: abrandamento de dureza, resina catiônica, carvão ativado, argila expandida, adsorção, bagaço de cana-de-açúcar e tratamento de água.

4.2 Método dos Procedimentos

Os métodos dos procedimentos de uma pesquisa constituem os procedimentos práticos a serem executados pelo pesquisador ao desenvolver a pesquisa (PRODANOV; FREITAS, 2013).

O presente projeto realizou, inicialmente, um estudo acerca da percepção ambiental dos moradores do município de Ibiracatu, por meio da aplicação de questionários, seguido da coleta de amostras de água no município a fim de se analisar a qualidade da água quanto ao parâmetro dureza total, além de caracterizá-la em relação a outros parâmetros físico-químicos (pH, Condutividade elétrica, potencial redox (Eh) e temperatura da amostra). No intuito de se avaliar metodologias de minimização dos índices de dureza da água tratada da ETA que abastece o município de Ibiracatu, foi avaliado a eficiência e a viabilidade de utilização de adsorventes sintéticos (resina catiônica e carvão ativado) e naturais (argila expandida e bagaço de cana). Adicionalmente foi avaliada a capacidade de remoção da dureza em condições controladas com a exposição à mesma condição de águas duras em diferentes concentrações.

O trabalho foi desenvolvido no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, no laboratório de Microbiologia, Ecologia Aplicada e Química Ambiental (localizados no Campus I de Belo Horizonte) bem como nos Laboratórios de Química do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (Locado na Universidade Federal de Minas Gerais no campus Belo Horizonte).

Ademais, o trabalho se dividiu em 3 fases, sendo estas a investigação da percepção ambiental dos moradores de Ibiracatu, a coleta e análise de amostras de água do município, além da avaliação preliminar dos adsorventes sintéticos e naturais no abrandamento da dureza. A partir dos capítulos 4.3 à 4.6 tem-se o detalhamento das etapas desenvolvidas ao longo do projeto.

4.3 Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao município de Ibiracatu localizado na mesorregião Norte de Minas Gerais, tendo como coordenada geográfica de referência 589431.73 E / 8268372 N. O município em questão faz limites territoriais com os municípios Pedras de Maria da Cruz,

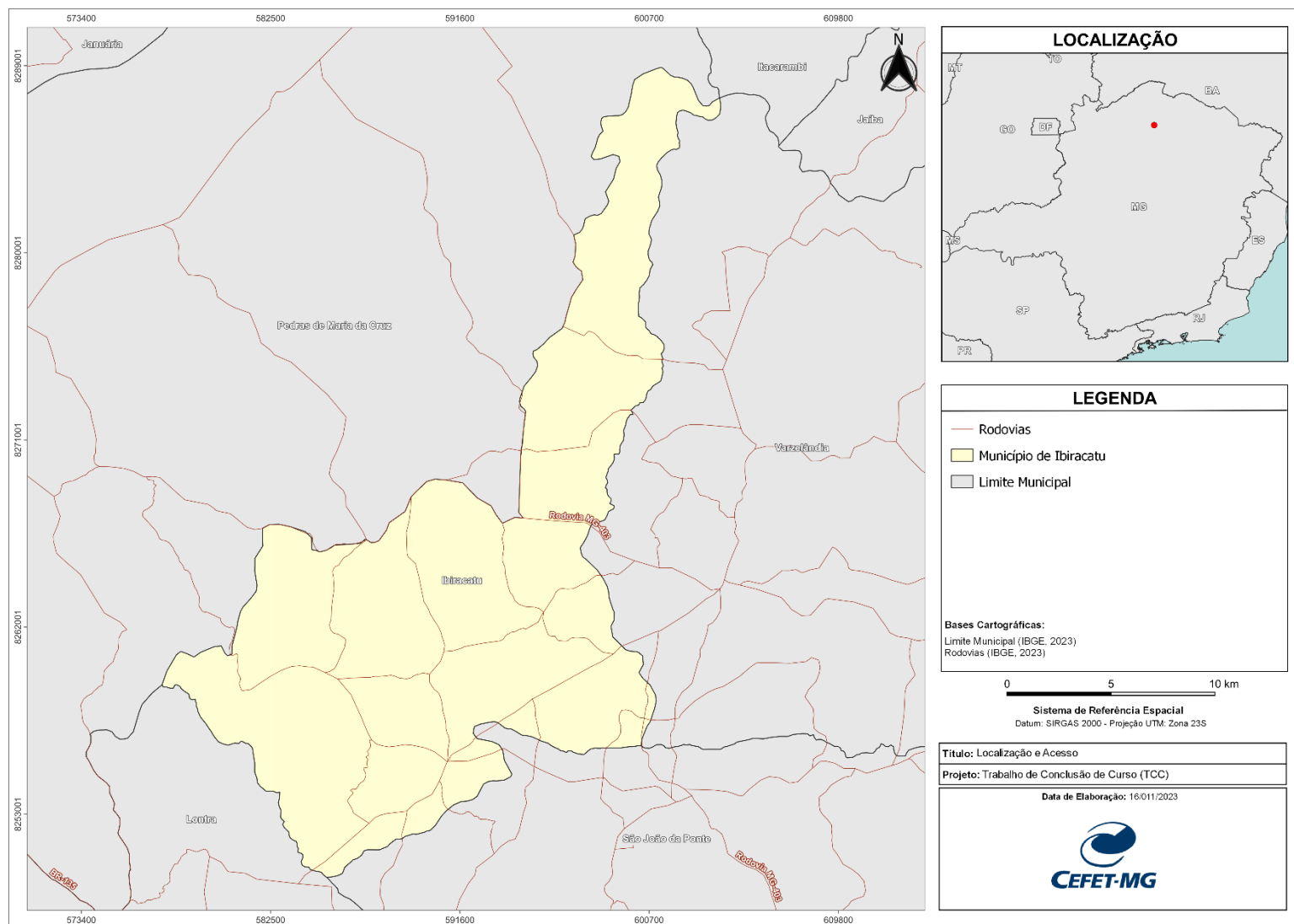
Lontra, São João da Ponte, Varzelândia e Itacarambi. Além disso, o território é atravessado pela Rodovia MG-403, que desempenha um papel significativo na integração regional.

Como discutido no tópico 3.2, o município localiza-se dentro da delimitação referente ao semiárido brasileiro, logo, possui também características como extremos de seca e chuvas torrenciais. O município possui os biomas Caatinga e Cerrado, marcado por invernos secos e verões chuvosos (COURA, 2006).

Em relação a hidrografia, o município pertence a bacia do Rio São Francisco, na região fisiográfica do alto São Francisco. A Bacia do Rio São Francisco corresponde a 8% do território brasileiro e possui extensão 2.863 km. O alto São Francisco corresponde a 40% do total da bacia e possui a maior concentração demográfica, abastecendo cerca de 15 milhões de habitantes.

Para fins de representação geográfica, foi construído um mapa de localização do município foco deste estudo. Para a composição do mapa, por meio do software gratuito Qgis, foram utilizadas as bases cartográficas do limite municipal (IBGE, 2023) e das rodovias (IBGE, 2023), com sistema de projeção Universal Transversal de Mercator – UTM Sirgas 2000 Zona 23S. A seguir tem-se, na Figura 4.1 o mapa da localização da área.

Figura 4.1 - Mapa de localização do município de Ibiracatu-MG.



Fonte: Autora (2023).

4.4 Investigação da percepção quanto à qualidade da Água

Nesta fase foi realizada a aplicação de questionário à população do município de Ibiracatu, no intuito de se avaliar o grau de percepção ambiental destes frente ao abastecimento de água e à qualidade da água fornecida. Gil (1999, p. 128), define o questionário “como a técnica de investigação composta por questões apresentadas por escrito às pessoas, tendo por objetivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas.”.

A aplicação dos questionários sob uma amostra representativa da população de Ibiracatu se deu de forma on-line, por meio da plataforma Survio, e de forma física, compostos por questões que abordem os principais aspectos referentes ao abastecimento de água, tais como as formas de abastecimento e consumo de água, a qualidade da água e suas visões frente ao assunto. Buscou-se, portanto, compreender o tratamento de água utilizado, histórico do tratamento de água na região e principais desafios associados ao abastecimento público, sejam estes relacionados à problemas sociais ou ambientais.

Para a realização do estudo de percepção foi necessário um levantamento prévio das informações a serem coletadas em campo e criação de um *questionário* com esses dados, que foi aplicado entre os dias 19 de agosto e 20 de outubro, conforme Apêndice A.

Para a compilação e análise dos dados coletados, foi utilizado a plataforma Survio, na qual são gerados resultados resumidos, por meio de tabelas e gráficos de forma automática. A partir destes foi realizada uma interpretação e compilação dos resultados. Para garantir a interpretação e confiabilidade, os dados foram disponibilizados pela plataforma e encontram-se disponíveis no Anexo A. Para fins de garantia da ética em pesquisa, os entrevistados não foram identificados.

4.5 Coleta, Análise e Caracterização da Água Tratada

A implementação de um sistema de abastecimento de água é essencial para garantir o acesso ao recurso hídrico, além de promover a saúde da população. Um sistema de abastecimento abrange desde a captação da água até sua distribuição, exigindo-se seguir padrões e legislações.

Para que se possa compreender a qualidade da água de um município é essencial ter uma visão acerca do sistema de abastecimento e sua forma de operação. Ao conhecer a fonte de captação,

os processos de tratamento, distribuição e armazenamento da água, também é possível compreender quais os desafios associados a operação.

Logo, no intuito de haver a coleta, análise e caracterização da água de forma mais assertiva, foi feito um diagnóstico simplificado do sistema de abastecimento do município de Ibiracatu, de forma a se ter a coleta, conservação e acondicionamento de água em diferentes pontos, e, posteriormente a avaliação destas águas quanto ao parâmetro dureza total, pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução (eh) e temperatura da amostra.

Visto isso, durante as visitas de campo que ocorreram nos dias 08 e 09 de setembro de 2023, além da coleta de amostras para avaliação da dureza, também foi realizada uma avaliação visual e prática do sistema de abastecimento no município, abrangendo aspectos como sua extensão, desafios principais, métodos de captação, processos de tratamento, armazenamento e distribuição. Durante essas visitas, optou-se por percorrer diferentes localidades do município e realizar a coleta de amostras de água tanto de pontos sob responsabilidade da concessionária como de locais de distribuição coletiva em propriedades particulares.

4.5.1 Coleta, conservação e acondicionamento

As coletas foram realizadas no município de Ibiracatu-MG conforme procedimentos descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011), a qual dispõe sobre as condições exigíveis para a coleta e preservação de amostras em rede de distribuição. A água foi coletada com o auxílio de um recipiente de amostragem (.

Figura 4.2), a fim de garantir a homogeneidade das amostras, e depois distribuída pelos diversos frascos de coleta limpos, com capacidade de 1000 mL (CETESB, 2011). O procedimento adotado consistiu na realização de uma coleta de amostragem simples, sem aferição da vazão.

Figura 4.2 - Frasco estriado com capacidade de 1000 mL.



Fonte: Autora (2023).

A coleta de água contemplou 9 pontos distribuídos ao longo do município, além de uma duplicata, conforme observado na Tabela 4-1. Destes, 7 são de distribuição da Concessionária, enquanto os demais correspondem a pontos de captação particular.

Tabela 4-1 - Detalhamento dos Pontos de Coleta de amostra de água.

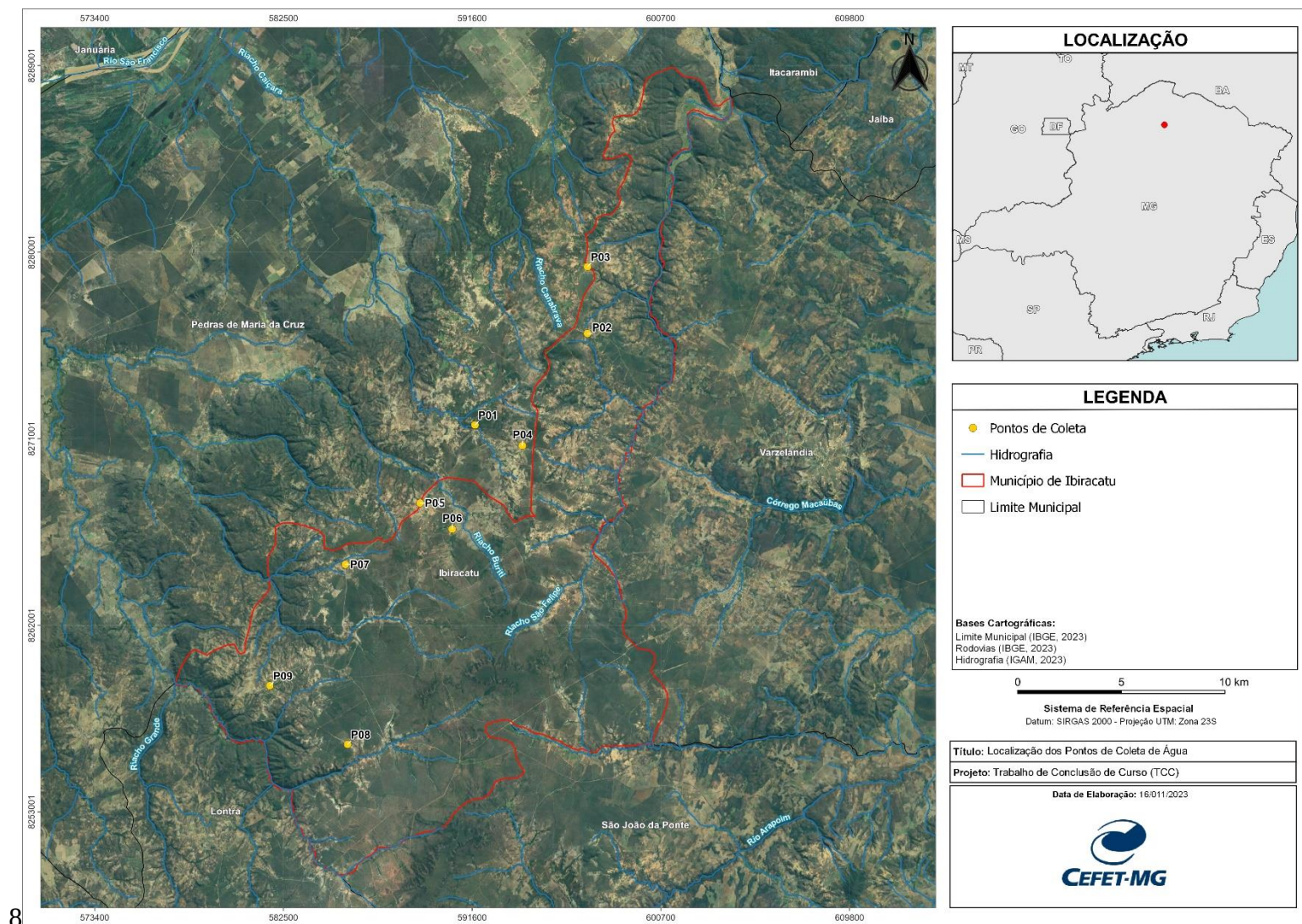
Pontos de Coleta								
PONTO	MUNICÍPIO	DISTRITO	MATRIZ	Distribuição	COORDENADAS SAD'69		DATA DE COLETA	OBSERVAÇÃO
					UTME	UTM N		
P01	Ibiracatu	Ibiracatu	Subterrânea	Copasa	591735	8271663	08/09/2023	Ponto de captação da Copasa
P02	Ibiracatu	Campo Alegre	Subterrânea	Copasa	597162	8276076	08/09/2023	Residência
P03	Ibiracatu	São Domingo	Subterrânea	Copasa	597161	8279297	08/09/2023	Residência
P04*	Pedras de Maria da Cruz	Traspassa	Subterrânea	Particular	594025	8270666	08/09/2023	Residência que possui poço de captação coletiva
P05	Ibiracatu	Ibiracatu	Subterrânea	Copasa	589093	8267896	08/09/2023	Residência
P06	Ibiracatu	Paraterra	Subterrânea	Particular	590640	8266638	08/09/2023	Residência que possui poço de captação coletiva
P07	Ibiracatu	Vertentes	Subterrânea	Particular	585489	8264940	08/09/2023	Residência que possui poço de captação coletiva.
P08	Ibiracatu	Quatis	Subterrânea	Copasa	585594	8256259	09/09/2023	Ponto de captação da Copasa
P08*	Ibiracatu	Quatis	Subterrânea	Copasa	585594	8256259	09/09/2023	Duplicata
P09	Ibiracatu	Bonança	Subterrânea	Copasa	581843	8259091	09/09/2023	Residência

Nota: *Ponto localizado na divisa dos municípios Ibiracatu e Pedras de Maria da Cruz.

Fonte: Autora (2023).

Para uma visualização mais clara dos pontos de coleta foi construído o mapa apresentado na Figura 4.3. Para a composição deste, por meio do software gratuito Qgis, foram utilizadas as bases cartográficas do limite municipal (IBGE, 2023), rodovias (IBGE, 2023) e hidrografia (IGAM, 2023), com sistema de projeção Universal Transversal de Mercator – UTM Sirgas 2000 Zona 23S. A coleta das coordenadas dos pontos foi feita por meio do aplicativo Gaia GPS. A seguir tem-se, na Figura 4.1 o mapa da localização da área.

Figura 4.3 - Mapa de localização dos pontos de Coleta de água.



Fonte: Autora (2023).

Para garantir a integridade das amostras, aumentar a confiabilidade dos resultados e minimizar as interferências é importante que sejam feitos os devidos controles para avaliar a presença de contaminação em partes específicas dos procedimentos de coleta. Desta forma foi realizada a duplicata de amostra coletada, correspondente ao ponto P09 (pertencente à Copasa).

O método de duplicata de amostras, ou seja, duas amostras retiradas ao mesmo tempo de um local e encaminhadas ao laboratório como amostras “cegas” é utilizado para mensurar a precisão e a repetitividade do processo analítico, e deve ser processada independentemente, por meio de toda a etapa de preparação e análise das amostras (USEPA, 2005).

Deste modo, este método de validação de dados em questão permite calcular o erro percentual relativo a dois valores de uma mesma amostra, ou seja, o erro associado à análise de amostras com duplicatas, no caso, o cálculo da diferença percentual relativa (RPD) das amostras R1 e R2. De modo que variações de até 20% são consideradas como aceitáveis. (AUSTRALIA, 2007 apud CETESB, 2011).

O cálculo da diferença percentual relativa (RDP) é feito através da Equação:

$$RDP (\%) = \frac{|R1-R2|}{\left(\frac{R1+R2}{2}\right)} \times 100 \quad (4.1)$$

em que:

RDP = Diferença Percentual Relativa.

R1 = Resultado encontrado para a amostra avaliada.

R2 = Resultado encontrado para a duplicata da amostra avaliada.

A coleta de amostras de água seguiu os procedimentos da CETESB (2011), a qual dispõe sobre as condições exigíveis para a coleta e preservação de amostras em rede de distribuição. Para isto, foi escolhida uma torneira próxima ao hidrômetro da residência por receber água diretamente da rede pública ou do poço particular, sem passagem pela caixa d'água. Em seguida, abriu-se a torneira, permitindo que a água fluísse de 3 a 4 minutos, no intuito de se eliminar a água parada na tubulação. A partir disso, foi posicionado o frasco estriado de coleta, com volume de 1000mL, sem contato com a torneira para evitar contaminações cruzadas.

As amostras foram preservadas conforme as diretrizes de conservação do Guia de Coleta e Conservação de Amostras, preservadas com 10 mL de HNO_3 , concentração 1:1, lacradas com batoque e em seguida acondicionadas em uma caixa térmica refrigerada $4\pm 2^\circ\text{C}$) para transporte e posterior análise. Para a produção da solução conservante, utilizou-se 500 mL de Ácido Nítrico (HNO_3) para igual volume de água deionizada perfazendo um total de 1000 mL de solução 1:1. A solução foi preparada no laboratório do CEFET, para preservação em pH menor que 2, conforme Figura 4.4. (CETESB, 2011).

Figura 4.4 - HNO_3 para preservação.



Fonte: Autora (2023).

4.5.2 Medições dos parâmetros físico-químicos *in situ*

No momento da coleta de água foram tomadas *in situ* medidas de pH, potencial de oxirredução (mV), condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e temperatura da água e do ar ($^\circ\text{C}$). As leituras desses parâmetros foram realizadas através de um medidor Ultrometer III 9P da marca Myron L, conforme Figura 4.5.

Figura 4.5 - Medidor Ultrometer III 9P da marca Myron L.



Fonte: Autora (2023).

Como forma de registro, para cada ponto foi preenchida uma ficha de coleta, conforme Apêndice B. Ressalta-se que os valores registrados foram concebidos com valores de potencial redox referentes ao eletrodo padrão de hidrogênio. Portanto, para utilizar os dados com as medidas de Eh efetuadas as mesmas foram convertidas para o eletrodo padrão de hidrogênio, segundo a equação abaixo (JARDIM, 2014):

$$Eh (\text{padrão de hidrogênio}) = Eh (\text{medido}) + 199 \text{ mV} \quad (4.2)$$

4.5.3 Procedimento Experimental

Para a determinação da dureza total das amostras em termos de mg L^{-1} de CaCO_3 foram utilizados materiais e reagentes disponíveis no laboratório do CEFET – Campus 1.

4.5.3.1 Materiais e reagentes

Como materiais foram utilizados 02 béqueres de 100 mL, 01 bureta de 25 mL, 03 erlenmeyer de 250 mL, 01 papel indicador de pH, 01 pêra de borracha, 01 pipetador, 01 pipeta volumétrica de 10 mL, 01 pisseta de 500 mL, 01 espátula e 01 suporte e garras (Figura 4.6).

Figura 4.6 - Materiais disponíveis no laboratório.



Fonte: Autora (2023).

Como reagentes foram utilizados, 25 mL de solução padronizada de EDTA $0,02 \text{ mol L}^{-1}$, 01 ponta de espátula de Preto de Ericromo-T (Indicador metalocrômico), 0,5 mL de solução de NaOH $0,05 \text{ mol l}^{-1}$ e 4,0 mL e solução tampão pH 10 ($\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$) (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Reagentes disponíveis no laboratório.



Fonte: Autora (2023).

4.5.3.2 Preparo das soluções

Para a produção da amostra sintética, utilizou-se água destilada, ácido clorídrico (HCl) e cloreto de cálcio (CaCl_2). Inicialmente, preparou-se uma solução de água dura sintética combinando cloreto de cálcio (CaCl_2) com ácido clorídrico (HCl) em uma bureta, resultando em uma solução concentrada. A partir disso, foi adicionada água destilada à solução em um balão volumétrico de 1000 mL e, após, terminou-se de adicionar mais água destilada até se obter o volume de 5000 mL. Em seguida, a amostra foi titulada no intuito de verificar a dureza da água em relação à concentração em mg/L de CaCO_3 .

4.5.3.3 Determinação da Dureza total

Inicialmente foram transferidos 50,00 mL da amostra de água para um erlenmyer limpo. Em seguida foram adicionados 0,5 mL de solução de NaOH $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e 4,0 mL solução tampão pH 10 ($\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$). Posteriormente adicionou-se uma ponta de espátula de Preto de Ericromo-T e agitou-se. A partir disso, titulou-se com a solução padrão de EDTA, até que a alteração de cor do titulado foi observada, variando de rosa para azul. O volume gasto da solução de EDTA para a viragem do indicador, foi identificado e registrado. O processo foi realizado em triplicata para cada uma das amostras coletadas a fim de haver maior confiabilidade dos dados.

As análises foram realizadas de acordo com os métodos padronizados por Rocha *et al.* (2009). Posteriormente a titulação, a dureza total foi calculada em termos de mg de CaCO_3 por litro de amostra, analisada estatisticamente (média e desvio padrão) e comparada com a classificação de dureza conforme Custódio e Llamas (1983).

A dureza total da água é frequentemente expressa em termos de concentração de íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) convertidos por meio cálculos estequiométricos em mg/L de CaCO_3 . A determinação da dureza total é obtida por meio de titulação complexiométrica. Uma titulação complexiométrica é uma titulação que se fundamenta na formação de complexos, sendo o EDTA um dos complexantes mais utilizados para este fim, visto sua funcionalidade de ligar-se aos íons metálicos e formar complexos estáveis (MENDHAM *et al.*, 2002).

Assim, as concentrações são obtidas por titulação direta. A reação de Ca^{2+} e Mg^{2+} com EDTA é do tipo 1:1, conforme exemplificado abaixo:

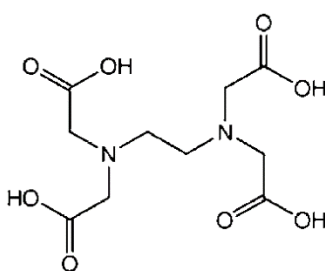


Na titulação de íons cálcio e magnésio com EDTA são formados os complexos, conforme observado nas reações abaixo.



Onde H_2Y^{2-} , refere-se a molécula de EDTA.

Figura 4.8 – Molécula do EDTA.



Fonte: Rekab *et al.* (2014).

Contudo a fórmula geral para calcular a dureza total em miligramas por litro, como especificado por Skoog (*et al.*, 2006) pode ser expressa como:

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{\text{Volume de amostra analisado}} = n \text{ EDTA} \quad (4.6)$$

$$\text{Dureza Total} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \frac{C_{\text{EDTA}} \times V_{\text{EDTA}} \times M_{\text{CaCO}_3}}{\text{Volume de amostra analisado (mL)}} \times 1000^* \quad (4.7)$$

Nota: *Conversão de g de CaCO_3 para mg

Onde:

C_{EDTA} : Concentração de EDTA (mg/L)

V_{EDTA} : Volume de EDTA gasto na titulação (mL)

M_{CaCO_3} : massa molar CaCO_3 (g/mol)

Para o cálculo da eficiência de remoção foi utilizada:

$$\text{Eficiência} = \left(\frac{\text{Dureza Inicial} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) - \text{Dureza Final} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)}{\text{Dureza Inicial} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)} \right) \times 100 \quad (4.8)$$

4.5.4 Tratamento estatístico dos dados

Os dados analíticos obtidos em campo e laboratório foram compilados, analisados estatisticamente (média e desvio padrão,) e representados graficamente. Para a realização do tratamento estatísticos dos dados foi utilizado o software Excel.

A opção pela média aritmética como método de análise não apenas reforça a confiabilidade dos resultados, mas também desempenha um papel fundamental na homogeneização dos dados, especialmente considerando a importância de terem sido realizadas análises em triplicatas e/ou duplicatas. Logo, a tomada de médias e desvios padrão foram essenciais para fins de avaliação e visualização gráfica, proporcionando uma representação mais clara das informações obtidas.

4.6 Avaliação de Potencial adsorativo

Um dos objetivos deste trabalho é avaliar o potencial adsorativo de resina catiônica, carvão ativado, argila expandida e bagaço de cana no abrandamento da dureza da água. Visto isso, o presente tópico irá descrever os materiais adsorventes, a metodologia dos ensaios de adsorção, assim como da análise e avaliação do desempenho empregadas nestas etapas no intuito de se avaliar a eficiência da implementação de adsorventes sintéticos e naturais como atores na remoção da dureza da água. Todas as fases deste capítulo foram realizadas no laboratório do CDTN, em Belo Horizonte.

4.6.1 *Materiais adsorventes*

A escolha dos materiais adsorventes foi definida de acordo com uma análise do referencial bibliográfico realizado, assim como as peculiaridades do município, tais como a produção de cana. Conforme citado, o Estado mineiro é um grande produtor de cana-de-açúcar que, por sua vez, tem o bagaço como subproduto de maior expressão. O bagaço da cana-de-açúcar se mostra bastante versátil sendo utilizado para co-geração de energia elétrica, fabricação de ração animal e fertilizante para as lavouras além de se mostrar promissor como componente de sistemas adsorventes. Assim, tem-se uma matéria-prima de qualidade a baixo custo.

No Brasil, vários experimentos utilizam o sistema de tratamento de água convencional, dotado de precipitação química e troca catiônica, apresentando eficiências satisfatórias no abrandamento de dureza da água, contudo, em pequenos municípios, sua implantação muitas vezes não é viável. Dessa forma, foram utilizados a resina catiônica e o carvão ativado para efeito de comparação.

O abrandamento da dureza da água por meio de adsorventes desenvolvidos a base de fibra vegetal fartamente disponíveis e baixo custo, torna-se atraente como parte de um sistema de tratamento de água. Uma vez saturado o adsorvente, a fibra carregada com as espécies químicas removidas será o único produto a ser tratado, podendo, por exemplo, ser normalmente incinerado em usinas para a produção de energia elétrica. Em relação a argila, além da sua capacidade adsorviva, esta poderá entrar na composição de concretos em projetos de paisagismo com plantas artificiais, por exemplo.

Para o projeto em si, foi proposto avaliação do potencial adsorvivo em resina catiônica, carvão ativado, argila expandida e do bagaço-de-cana no abrandamento da dureza. Tais materiais foram testados de forma individual.

A resina catiônica e o carvão ativado foram escolhidos em função de sua eficiência já consolidada (Figura 4.9 e Figura 4.10). A fibra vegetal utilizada foi o bagaço de cana devido a sua elevada produção no norte de Minas Gerais e por ser facilmente encontrada (Figura 4.12). A argila expandida foi escolhida em função de suas potencialidades no abrandamento da água (Figura 4.11).

Figura 4.9 - Amostra de resina catiônica.

Fonte: Autora (2023).

Figura 4.10 - Amostra de carvão ativado.

Fonte: Autora (2023).

Figura 4.11 - Amostra de argila expandida.

Fonte: Autora (2023).

Figura 4.12 - Amostra de bagaço-de-cana.

Fonte: Autora (2023).

4.6.2 Amostras e Soluções

Os testes de adsorção foram realizados inicialmente em amostras com dureza elevada preparadas em laboratório (com 500 mg/L próximas a maior concentração e 50 mg/L, diluída 10 vezes para representar a menor concentração de dureza das amostras reais). Posteriormente, para validação dos adsorventes, empregou-se as amostras reais.

Para os testes utilizando amostras reais, combinou-se 150 mL de água de cada ponto, conforme indicado na Tabela 4-2, com o objetivo de criar uma amostra composta que representasse de maneira abrangente o município. Após a formação da amostra composta, esta foi titulada no intuito de se verificar sua concentração de dureza. As amostras dos pontos P02, P05 e P08 não foram utilizadas em função da quantidade insuficiente por terem sido as amostras principais nos ajustes preliminares de titulação para determinação da dureza. Tendo em vista que o volume de apenas uma amostra composta não seria suficiente, foram realizadas duas composições (PCI 1 e PCI 2). Vale ressaltar que ambas as amostras foram compostas em volumes iguais com amostras dos mesmos pontos.

Tabela 4-2 - Pontos utilizados para a formulação da amostra composta.

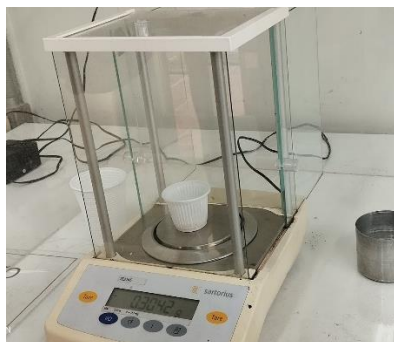
AMOSTRA COMPOSTA		
Pontos	PCI 1 (Amostra composta 1)	PCI 2 (Amostra composta 2)
P01	150 mL	150 mL
P03	150 mL	150 mL
P04	150 mL	150 mL
P06	150 mL	150 mL
P07	150 mL	150 mL
P08 (duplicata)	150 mL	150 mL
P09	150 mL	150 mL

Fonte: Autora (2023).

4.6.3 Preparo dos adsorventes

Anterior aos testes preliminares houve a caracterização, separação e preparo dos materiais. Para os testes iniciais com amostra de água sintética, houve a pesagem dos adsorventes carvão ativado, argila expandida e bagaço de cana (natural e ativado com EDTA) em diferentes massas, sendo estas 0,3 g, 0,75 g e 1,5g (Figura 4.13, Figura 4.14 e Figura 4.15).

Figura 4.13 - Amostra de adsorvente com 0,3 g.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.14 - Amostra de adsorvente com 0,75 g



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.15 - Amostra de adsorvente com 1,5 g.



Fonte: Autora (2023).

A partir dos testes em diferentes massas, foi selecionada a massa com maior potencial adsorvente para os testes com amostras reais. Em relação as amostras de resina e carvão, estas foram utilizadas “*in natura*”. As amostras de bagaço foram preparadas, conforme descrito nos tópicos abaixo. Destaque para a resina catiônica que foi incluída apenas na segunda fase de testes, com amostras reais, sendo utilizado, portanto, apenas amostras com 1,5 g de resina.

4.6.3.1 Resina Catiônica

A resina utilizada nos testes de adsorção foi a Resina Catiônica Purolite SSTPPC60H. A resina utilizada tem como aplicação principal a desmineralização industrial, possuindo como vantagens um Sistema de Regeneração Co-Corrente (PUROLITE, 2023). A Figura 4.16 e Figura 4.17 apresentam a resina utilizada nos testes de adsorção.

Figura 4.16 - Resina Catiônica Purolite SSTPPC60H.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.17 - Amostra de resina utilizada nos testes.



Fonte: Autora (2023).

Suas características físico-químicas estão descritas na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 - Características físico-químicas da Resina.

Estrutura Polimérica	Reticulado de poliestireno gel com divinilbenzeno (DVB)
Aparência	Esferas
Grupo Funcional	ácido sulfônico
Forma Iônica	H ⁺

Fonte: Purolite (2023).

4.6.3.2 Carvão ativado

O Carvão ativado utilizado foi o da marca NORIT GAC 400 PLUS (Figura 4.18) - um carvão ativado granular lavado com ácido, produzido por ativação a vapor, recomendado em aplicações químicas, alimentícias, farmacêuticas e no tratamento de água, tendo em vista que atende aos padrões para uso de água potável.

Figura 4.18 - Carvão ativado Norit GAC 400.



Fonte: Autora (2023).

Na Tabela 4-4 se apresenta as especificações técnicas do carvão utilizado, essenciais para a garantia da qualidade e do desempenho do uso do carvão. Estas descrevem limites para propriedades como pH, tamanho de partícula, conteúdo de cinzas solúveis em ácido e umidade do carvão ativado NORIT GAC 400 PLUS.

Tabela 4-4 - Especificações técnicas do carvão NORIT GAC 400 PLUS

pH	5 a 8
Tamanho de partícula	Entre 0,425 mm e 2 mm

Fonte: Cabot (2016).

4.6.3.3 Argila expandida

A argila expandida utilizada, também conhecida como argila de jardim, foi adquirida em floricultura no município de Belo Horizonte, Minas Gerais (**Figura 4.19**).

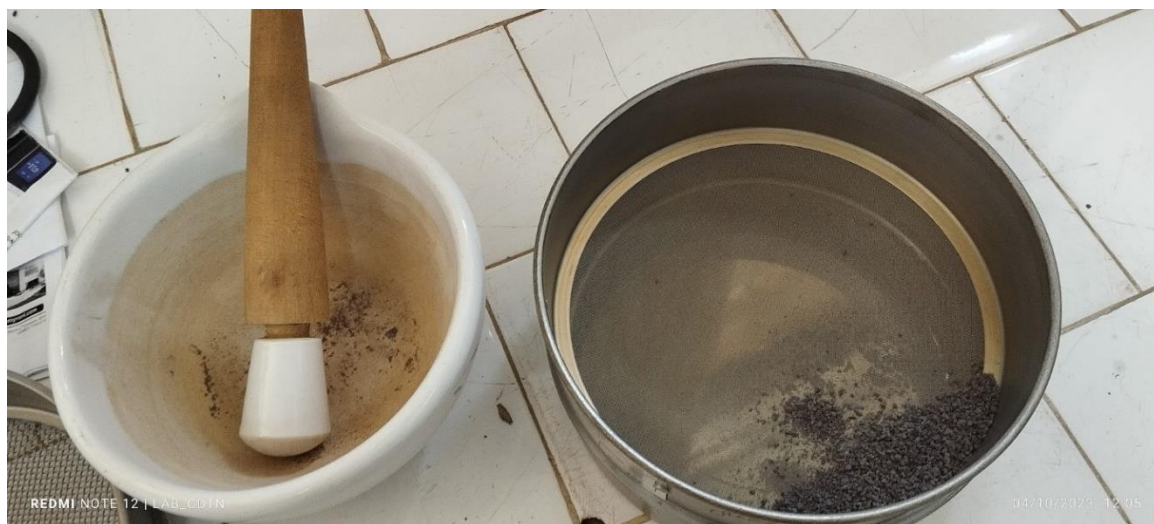
Figura 4.19 - Amostra de argila expandida empregada no estudo.



Fonte: Autora (2023).

Para sua utilização como adsorvente houve, primeiramente, sua trituração, no intuito de se obter uma menor granulometria, e consequentemente, maior superfície de contato entre adsorvente e adsorbato. Para sua trituração utilizou-se um almofariz e um pistilo, conforme Figura 4.20.

Figura 4.20 - Materiais utilizados para moagem da argila.



Fonte: Autora (2023).

Em seguida o material foi peneirado a fim de utilizar-se a argila com granulometria entre 0,25 mm e 2mm (Figura 4.21).

Figura 4.21 - Argila expandida com granulometria entre 0,25 mm e 2mm.



Fonte: Autora (2023).

4.6.3.4 Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana, empregado neste estudo, foi recolhido no município de Belo Horizonte/MG. Para a realização dos testes de adsorção com o bagaço de cana, optou-se pela utilização de uma amostra no estado puro e uma amostra ativada com EDTA, conforme estudo de Assis (2012), que demonstrou eficácia desta no abrandamento. Inicialmente, o bagaço de cana foi seco em estufa (Marca fanem) durante 24 horas a temperatura de 40°C, conforme observado na Figura 4.22, Figura 4.23 e Figura 4.24.

Figura 4.22 - Bagaço de cana preparado para secagem em estufa.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.23 - Bagaço de cana em estufa.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.24 - Estufa Fanem com circulação de ar forçado utilizada para secagem do bagaço de cana.



Fonte: Autora (2023).

Para a amostra pura, após a secagem, houve a posterior moagem e acondicionamento. Para o preparo da amostra ativada, separou-se uma parcela do bagaço de cana seco para ativação com EDTA.

A ativação consistiu em deixar em contato 15g de bagaço com 600 mL de solução saturada de EDTA (a 10% m/v ou 100 g/L ou 0,27 mol/L) por 24 horas. O procedimento ocorreu à temperatura ambiente, sem ajuste de pH.

Em seguida, para a ativação, o processo de ativação foi conduzido em um agitador rotativo não volátil (marca Tecnal, modelo TE-743) a temperatura ambiente, por um período de 24 horas, conforme ilustrado na Figura 4.25. Posteriormente, as amostras foram filtradas e secas em estufa a 40°C por 24 horas. O bagaço de cana ativado com EDTA resultante foi reservado para ser utilizado como adsorvente nos testes de abrandamento da dureza em etapas subsequentes do experimento.

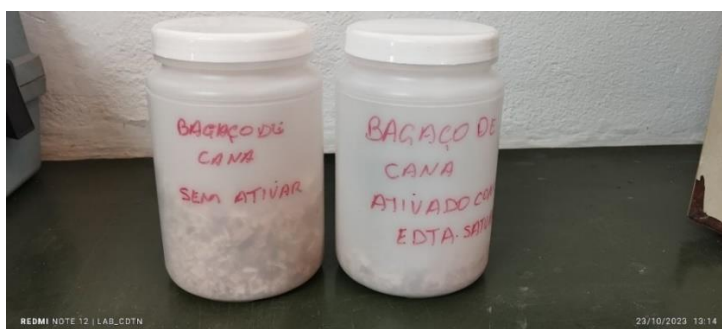
Figura 4.25 - Processo de ativação do EDTA em agitador rotativo.



Fonte: Autora (2023).

Ambas as amostras de bagaço de cana puro e bagaço de cana ativado com EDTA foram reservadas e identificadas conforme Figura 4.26.

Figura 4.26 - Amostras de bagaço de cana sem ativação com EDTA e com Ativação com EDTA.



Fonte: Autora (2023).

4.6.4 Ensaios de Adsorção

Para a realização dos ensaios de adsorção, utilizou-se o processo de agitação, sendo estes realizados em incubadora shaker de bancada com refrigeração (Nova Ética, modelo 430 RDB) e em agitador magnético da marca Fisatom, conforme observado nas figuras Figura 4.27 e Figura 4.28.

Figura 4.27 – Incubadora shaker de bancada com refrigeração (Nova Ética, modelo 430 RDB).



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.28 - Agitador magnético (Fisatom).



Fonte: Autora (2023).

As principais hipóteses da metodologia de acordo com Giles *et al.* (1960), Souza (2005) e Meurer (2004) são:

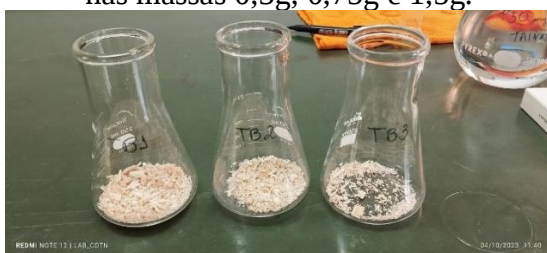
(i) A adsorção ocorre em sítios específicos no adsorvente e não além de uma monocamada de recobrimento. (ii) Cada sítio pode ser ocupado por apenas uma molécula e não há interações entre as moléculas adsorvidas em sítios vizinhos. (iii) Todos os sítios de adsorção são equivalentes em termos de energia de adsorção. (iv) A superfície do adsorvente é homogênea e apenas um número limitado de sítios é ocupado pelo soluto; e (v) A reação de adsorção é reversível.

Logo, a promoção da agitação estimula o processo de adsorção por meio do aumento da superfície de contato entre adsorvente e solução resultando na ocupação progressiva dos sítios do adsorvente.

4.6.4.1 Testes preliminares com amostra sintética

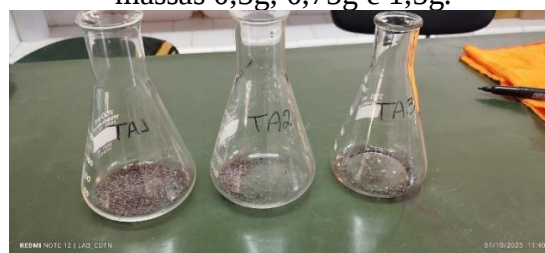
O processo preliminar, foi feito a temperatura ambiente ($\sim 25^{\circ}\text{C}$), empregando inicialmente amostra sintética produzida em laboratório e concentrações variadas dos adsorventes carvão ativado, argila e bagaço de cana (0,3 g, 0,75 g e 1,5 g), sob agitação mecânica, por um período de 24 horas, na Incubadora shaker de bancada com refrigeração (Nova Ética, modelo 430 RDB), com velocidade de 170 rpm.

Figura 4.29 - Amostras de bagaço de cana nas massas 0,3g, 0,75g e 1,5g.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.30 - Amostras de argila nas massas 0,3g, 0,75g e 1,5g.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.31 - Amostras de argila, bagaço de cana e carvão ativado.



Fonte: Autora (2023).

Foram testadas, ao todo 4 replicações por adsorvente descrito, sendo 3 testes com solução com concentração de 50 mg/L de CaCO_3 e um teste com 500 mg/L de CaCO_3 , conforme descrito na Tabela 4-5. Além disso, preliminarmente, foram medidos o pH e a condutividade das amostras. Vale destacar que para os testes iniciais não foi realizada a correção de pH das amostras.

Tabela 4-5 - Teste de adsorção preliminar.

Teste de adsorção preliminar				
Vidraria	Réplica	Concentração de adsorvente	Volume de amostra para teste	Dureza Inicial (mg/L CaCO_3)
Erlenmeyer de 250 mL	R1	1,5	150 mL	50
Erlenmeyer de 250 mL	R2	0,75	150 mL	50
Erlenmeyer de 250 mL	R3	0,3	150 mL	50
Erlenmeyer de 250 mL	R4	0,75	150 mL	500

As Figura 4.33 e Figura 4.34 demonstram as amostras já prontas para o processo de agitação.

Figura 4.32 – Amostras com concentração de dureza em contato com adsorventes.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.33 - Amostras em processo de agitação em Shake.



Fonte: Autora (2023).

Posteriormente, após 24 horas, as amostras foram filtradas e acondicionadas para posterior determinação da dureza total. Além disso, também foram tomadas as medidas de condutividade e pH (Figura 4.34 e Figura 4.35).

Figura 4.34 - Filtração das amostras após processo de agitação.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.35 - Medição dos parâmetros de condutividade e pH das amostras após o processo de agitação.



Fonte: Autora (2023).

4.6.4.2 Testes com amostra reais

Posterior a testagem preliminar, foi feito a temperatura ambiente ($\sim 25^{\circ}\text{C}$), empregando amostra composta representativa do município, com massa fixa de 1,5g dos adsorventes resina catiônica, carvão ativado, argila e bagaço de cana, sob agitação mecânica, por um período de 5 horas, no agitador magnético (Fisatom). Além disso, para estes testes foi realizada a correção do pH das amostras com NaOH, principalmente devido ao HNO_3 adicionado para preservação das amostras, conforme Figura 4.36 e Figura 4.37.

Figura 4.36 - Testes de adsorção em agitador magnético da argila e do carvão ativado.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.37 - Testes de adsorção em agitador magnético do bagaço de cana puro e ativado.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.38 - Filtração após agitação por 5 horas.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.39 - Amostras filtradas para análise ICP.



Fonte: Autora (2023).

Posteriormente, as amostras foram filtradas e acondicionadas para posterior determinação da dureza total e análise ICP (Figura 4.38 e Figura 4.39). Além disso, também foram tomadas as medidas de condutividade e pH.

4.6.5 *Análise e avaliação do desempenho*

Para análise e avaliação do desempenho dos testes de adsorção, foram utilizados como parâmetros indicadores a dureza total, pH e condutividade elétrica. Para a avaliação da dureza total, utilizou-se a titulação e a análise ICP, conforme descrito nos tópicos a seguir.

4.6.5.1 *Determinação de Dureza Total*

Inicialmente foram transferidos 25,00 mL da amostra de água para um Erlenmyer limpo. Em seguida foram adicionados 1,0 mL de Solução de Hidroxilamina e 2,0 mL de Solução tampão pH 10 (NH₄OH/NH₄Cl). Posteriormente adicionou-se 3 gotas de Preto de Ericromo-T e agitou-se. No intuito de se melhorar a visualização no momento de titulação, completou-se a solução com água deionizada até atingir 100 mL. A partir disso, titulou-se com a solução padrão de EDTA, até que a alteração de cor do titulado foi observada, variando de rosa para azul. O volume gasto da solução de EDTA para a viragem do indicador, foi identificado e registrado. O processo foi realizado em triplicata para os testes preliminares com as amostras sintéticas e duplicata com as amostras reais para cada uma das amostras coletadas a fim de haver maior confiabilidade dos dados.

As análises foram realizadas de acordo com os métodos padronizados por Rocha *et al.* (2009). Posteriormente a titulação, a dureza total foi calculada em termos de mg de CaCO₃ por litro de amostra, analisada estatisticamente (média e desvio padrão) e comparada com a classificação de dureza conforme Custódio e Llamas (1983).

A dureza total da água é frequentemente expressa em termos de concentração de íons de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) por meio de cálculos estequiométricos. Os cálculos de dureza total e eficiência de remoção foram realizados conforme especificado por Skoog (*et al.*, 2006) e descrito no tópico 4.5.3.3

4.6.5.2 *Análise ICP-OES*

A determinação de metais em amostras com alto teor de salinidade pode advir de várias técnicas como a espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Esta tem apresentado muitas vantagens por apresentar maior precisão, sensibilidade e conseguir avaliar uma ampla faixa de elementos e concentrações. Esta técnica por já se encontrar

consolidada é muito utilizada em pesquisas, desenvolvimento e prestação de serviços para a indústria (CADOORE *et al.*, 2008).

No intuito de se complementar as análises, tanto as amostras líquidas dos ensaios de adsorção com amostras reais, quanto os materiais adsorventes foram avaliados pelo laboratório do CDTN.

Figura 4.40 - Amostras de água e adsorventes sintéticos para análise no laboratório do CDTN.



Fonte: Autora (2023).

Para a determinação de Ca nas amostras líquidas, conforme explicitado pelo laboratório, CDTN (2023):

“A determinação foi feita por meio da técnica ICP-OES nos comprimentos de onda 317,393 nm para o cálcio, ambos analisados a partir da regressão linear de uma curva analítica obtida após diluição de material certificado até concentrações de 2; 5; 10; 25 e 50 mg/L em meio ácido nítrico 2%. Foi feita uma leitura direta nas amostras para determinação de Ca e realizadas diluições quando a concentração de algum analito ultrapassou 50 mg/L. Equipamento: Espectrômetro de emissão atômica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP-OES), marca: Spectro.”.

As Figura 4.41 e Figura 4.42 demonstram o equipamento utilizado e as amostras analisadas pelo laboratório.

Figura 4.41 - Espectrômetro de emissão atômica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES), marca Spectro.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.42 - Amostras de água para análise no laboratório do CDTN.



Fonte: Autora (2023).

Para a determinação dos constituintes da argila a amostra foi determinada utilizando a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por comprimento de onda. A amostra foi seca a 100C° por uma hora e fundida com mistura de boratos para confecção da pérola de vidro, a qual foi analisada por meio de curva de calibração com matriz de argila. Equipamento: Primus2, Rigaku.

Figura 4.43 - Argila expandida anterior a trituração.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.45 - Amostra de argila para análise.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.47 - Pérola de vidro constituída a partir da argila.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.44 - Argila triturada.



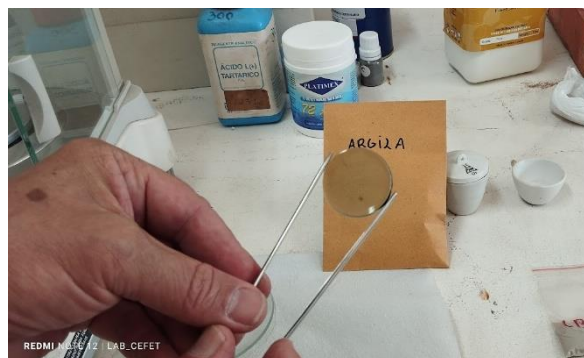
Fonte: Autora (2023).

Figura 4.46 - Processo de secagem e fundição da argila.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4.48 - Pérola de vidro constituída a partir da argila.



Fonte: Autora (2023).

Para a determinação dos constituintes do bagaço de cana, a amostra foi determinada utilizando a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X por comprimento de onda. Para o bagaço foi realizado, inicialmente, a pesagem de 10g da amostra de bagaço, que foi posteriormente levada ao forno mufla a 1000 °C, resultando em uma perda de 98% dos voláteis. A partir disso, foi feita a leitura a partir das cinzas, a partir do equipamento Primus2, Rigaku (Figura 4.49).

Figura 4.49 – Equipamento Primus2, Rigaku.



Fonte: Autora (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa buscou avaliar de forma preliminar a eficiência de adsorventes sintéticos e naturais no abrandamento da dureza, com foco no município de Ibiracatu, em Minas Gerais. O caráter preliminar se justifica por limitações de tempo para a execução do trabalho em função da finalização da atividade acadêmica.

Em resumo o trabalho dividiu-se em um estudo de percepção ambiental acerca da qualidade da água no município, avaliação do sistema de abastecimento, além de coleta e caracterização química da água do município e, posteriormente, a condução de testes de adsorção no intuito de se avaliar alternativas para o abrandamento da dureza.

Antes de apresentar os achados específicos, é importante ressaltar que esta pesquisa reconhece suas limitações, incluindo a natureza preliminar dos testes realizados. Para uma melhor compreensão dos resultados, estes serão apresentados de forma individual, em ordem cronológica de execução nos tópicos 5.1 à 5.3.

5.1 Investigação da Percepção Ambiental

A compreensão da percepção ambiental, principalmente no que diz respeito ao acesso e à qualidade da água, foco deste trabalho, desempenha um papel vital na avaliação do impacto das interações entre as pessoas e o meio ambiente. Visto isso, este capítulo oferece uma análise detalhada dos resultados obtidos por meio de uma pesquisa sobre a percepção ambiental realizada no município de Ibiracatu, em Minas Gerais. A investigação buscou capturar um panorama geral do acesso à água no município, as formas de abastecimento, tratamento e o grau de satisfação da população em relação à água, principalmente no que diz respeito a dureza da água.

O questionário, foi disponibilizado de forma online pela plataforma Survio, mas também foi aplicado de forma presencial durante os dias de coleta de amostra de água no município. A partir da aplicação presencial pôde-se observar uma dificuldade por parte da população em relação ao acesso à internet e ao uso de tecnologias, o que possivelmente justifica a baixa participação.

Em resumo, durante o período em que o questionário esteve disponível, do dia 06 de agosto ao dia 10 de novembro de 2023, houve a participação de trinta e dois moradores de um total de 97 visitas, correspondendo à uma conclusão do questionário de 33%, contemplando-se

participantes de diferentes idades e distritos. O questionário se deu na maior parte no formato múltipla escolha, contudo, foi aberta a oportunidade de comentários e opiniões caso o morador considerasse pertinente.

Em relação ao perfil dos entrevistados, a maior parte foram mulheres, entre 18 e 35 anos, como observado na Figura 5.1.

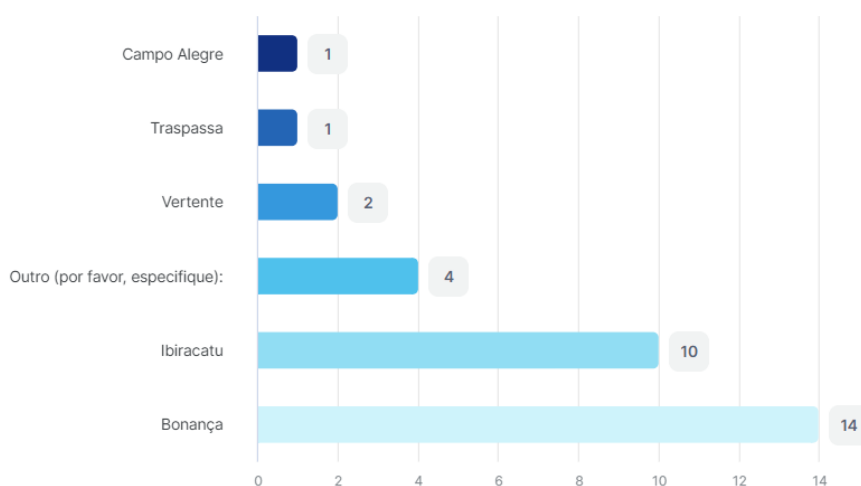
Figura 5.1 - Relação de entrevistados quanto ao sexo e idade.

	Feminino	Masculino	Total
Menos de 18 anos	1	1	2
18 a 35 anos	8	4	12
36 a 53 anos	2	3	5
54 a 64 anos	4	3	7
acima de 65 anos	5	1	6
Total	20	12	32

Fonte: Survio (2023).

Em relação ao local de residência, a pesquisa conseguiu contemplar, além da sede do município, os distritos de Campo Alegre, Traspassa, Vertente, Bonança, como observado na Figura 5.2.

Figura 5.2 - Local de residência dos moradores do município.

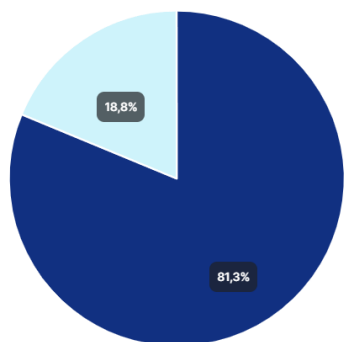


Nota: Em relação à resposta “outro”, não foi especificado por parte dos entrevistados.

Fonte: Survio (2023).

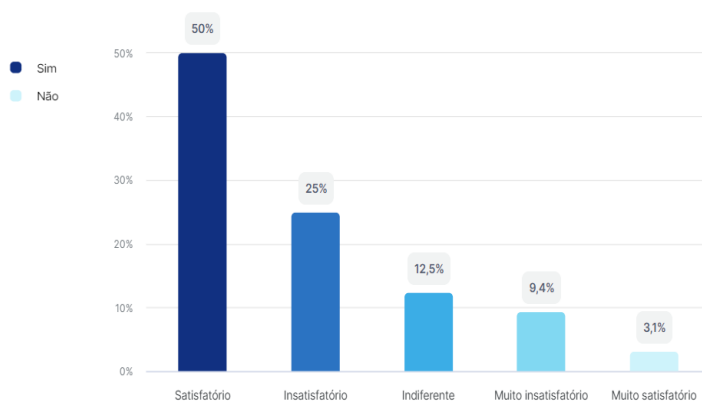
Em relação à situação do acesso à água tratada, 81,25% dos entrevistados possuem acesso, mas apenas 50% consideram o abastecimento satisfatório, como observado nas Figura 5.3 e Figura 5.4.

Figura 5.3 – Entrevistados com acesso à água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água.



Fonte: Survio (2023).

Figura 5.4 - Grau de percepção sobre o acesso a água no seu município.

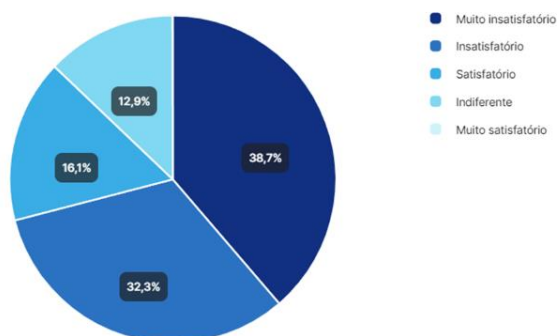


Fonte: Survio (2023).

Quando questionados acerca das alternativas utilizadas em situações em que não é possível utilizar a água fornecida pela Companhia de Tratamento, algumas respostas foram mais recorrentes, como o uso de caminhão pipa fornecido pela prefeitura, poço artesiano comunitário, água da chuva e a coleta em comunidades vizinhas.

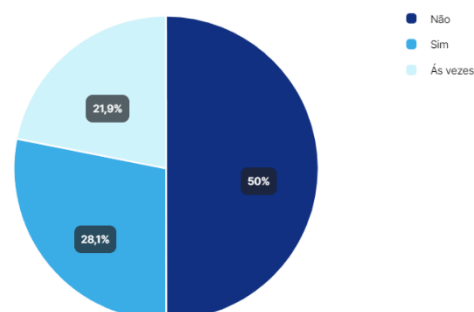
Em relação à percepção sobre a qualidade da água para consumo, quanto às características como cor, odor, turbidez e sabor, a maior parcela considera muito insatisfatório (38,7%) ou insatisfatório (32,3%), além disso, quando questionados acerca do consumo da água disponibilizada, 50% dos entrevistados não consomem a água, optando-se pela compra de água mineral ou coleta de água da chuva, como observado nas Figura 5.5 e Figura 5.6.

Figura 5.5 – Percepção sobre a qualidade da água para consumo, quanto à características como cor, odor, turbidez e sabor.



Fonte: Survio (2023).

Figura 5.6 - Consumo da água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água por parte dos entrevistados.



Fonte: Survio (2023).

As principais justificativas quanto à consideração insatisfatória das águas foram referentes ao “calcário” presente na água, resultando na compra de água mineral ou captação de água da chuva para consumo pela maior parte dos entrevistados. Abaixo seguem algumas respostas quanto à percepção da qualidade da água fornecida:

Em relação à percepção acerca da dureza, foco deste trabalho, 71,9 % dos entrevistados concordam totalmente que é uma situação que incomoda (Figura 5.7) e 78,1% concordam que é um problema para as tubulações da casa (Figura 5.8). Abaixo tem-se as principais justificativas por parte dos entrevistados quanto à essa percepção:

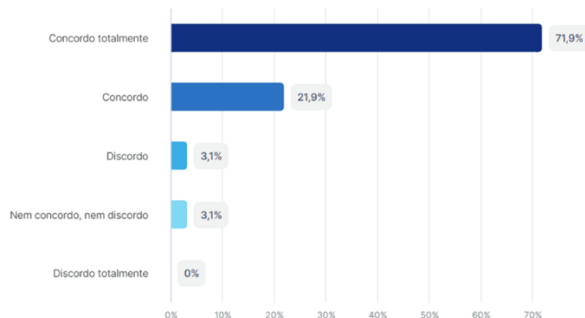
"Sabor desagradável, prejuízo para saúde e entupimento de tubulações." (Entrevistado 1, 2023).

"Principal incômodo para o consumo humano, especialmente para beber." (Entrevistado 2, 2023).

"Manchas nas panelas e comprometimento das tubulações." (Entrevistado 3, 2023)

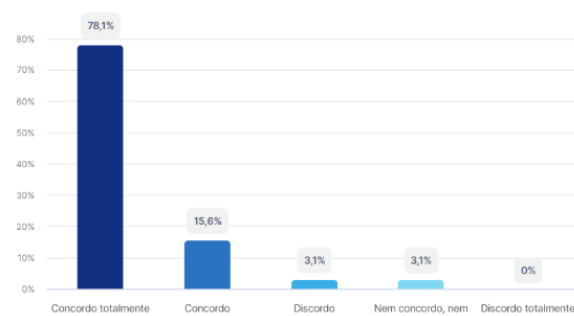
"Entupimentos diversos, sujeira nas caixas d'água e calcário em paredes." (Entrevistado 4, 2023).

Figura 5.7 – Grau de incômodo dos entrevistados quanto à água dura.



Fonte: Survio (2023).

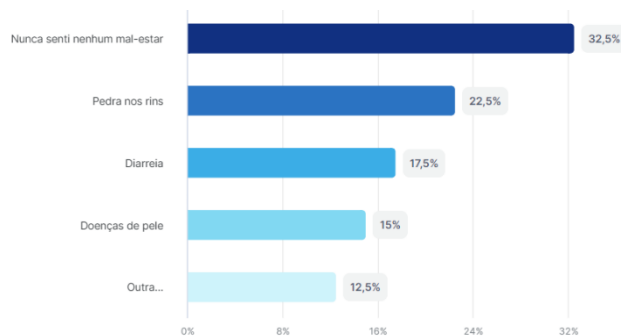
Figura 5.8 – Percepção acerca da água dura ser um problema para as tubulações da casa.



Fonte: Survio (2023).

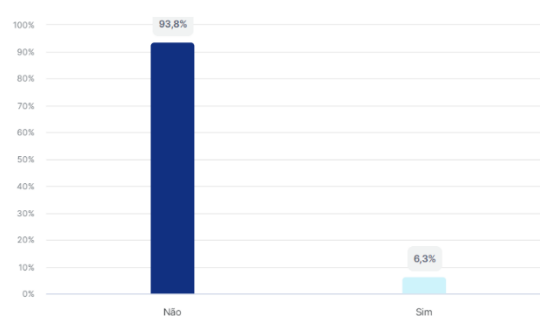
Conforme observado, a preocupação com a saúde foi um dos pontos mais mencionados e na Figura 5.9, pode-se perceber que os principais sintomas relacionados ao consumo dizem respeito à pedra nos rins e a diarreia e expressivos 93,8% dos entrevistados não fazem uso de nenhuma estratégia de abrandamento da dureza (Figura 5.10). Logo, sugere-se estudos no intuito de se verificar a correlação entre o consumo de água dura e a recorrência de problemas renais.

Figura 5.9 – Mal-estar relacionado ao consumo de água da região.



Fonte: Survio (2023).

Figura 5.10 – Uso de estratégias de abrandamento da dureza.



Fonte: Survio (2023).

Foi possível notar que todos possuem uma visão semelhante ao cenário atual do abastecimento de água na comunidade. A maioria se incomoda com a situação atual da qualidade da água e compreende o impacto da dureza na qualidade de vida e na saúde da comunidade, optando-se, quando possível, por não consumir a água da região. As respostas do questionário na íntegra estão no ANEXO A.

Por meio das perguntas abertas foi oportunizado aos moradores responderem os incômodos em relação à qualidade da água, o porquê de não consumirem a água e o que poderia melhorar em relação ao abastecimento.

Em suma, a partir da pesquisa, embora esta não represente estatisticamente o município, foi possível ter uma percepção acerca dos principais desafios e incômodos associados ao abastecimento, acesso e qualidade da água, principalmente no que diz respeito à dureza, o que justifica e embasa a necessidade de se investigar tecnologias alternativas de abrandamento da dureza.

Após realizar pesquisa e dialogar com os residentes locais, tornou-se evidente a insatisfação da população em relação ao parâmetro de dureza. Os principais inconvenientes identificados referem-se ao entupimento das tubulações e à qualidade da água para consumo. A preocupação com a saúde destaca a necessidade de estudos mais aprofundados para avaliar uma possível correlação entre o consumo de água e doenças renais. Apesar da participação relativamente baixa na pesquisa, sua importância ressalta-se na obtenção de uma escuta ativa junto à comunidade, compreendendo suas insatisfações e reforçando a urgência de investir em estudos e tecnologias para melhorar a qualidade de vida dessas populações.

5.2 Coleta, análise e caracterização da água tratada

As coletas e avaliação do sistema de abastecimento do município foram realizadas nos dias 08 e 09 de setembro de 2023. No total, foram coletadas 10 amostras de água de 1000 mL segundo procedimentos descritos na metodologia, totalizando a coleta de 09 (nove) pontos, sendo que um correspondeu a coleta de uma duplicata. Foram coletadas amostras no distrito sede de Ibiracatu e nos distritos vizinhos Campo Alegre, São Domingo, Traspassa, Paraterra, Vertentes, Quatis e Bonança. Destes, cinco correspondiam a pontos de captação de responsabilidade da Copasa e quatro referentes a poços artesianos de abastecimento coletivo do distrito, com destaque para o ponto P04, referente ao distrito de Traspassa, que embora faça divisa com o município de Ibiracatu, pertence ao município de Pedras de Maria da Cruz.

Durante a coleta, tentou-se escolher torneira próxima ao hidrômetro da residência ou outra que receba água diretamente da rede pública ou do poço particular, sem passagem pela caixa d'água, contudo, em alguns locais não foi possível a realização deste procedimento devido a ligação direta do abastecimento à caixa d'água do morador.

Em relação ao tipo de captação, todos os pontos possuem matriz de captação subterrânea, conforme observado no relatório da Copasa (2022). A partir da coleta em diferentes pontos foi possível, além da coleta de amostras mais representativas do município como um todo, compreender acerca do tipo de captação, responsabilidade de distribuição e tratamento, extensão e dificuldades enfrentadas tanto pela concessionária como pelos moradores, principalmente referente a escassez hídrica em períodos de seca.

As Figura 5.11 e Figura 5.12, demonstram um ponto de captação da concessionária e um reservatório utilizado para o armazenamento da água captada do poço subterrâneo, para que posteriormente fosse distribuído a população, conforme observado no croqui disponibilizado pela Copasa (2022).

Figura 5.11 - Ponto de captação subterrânea monitorada pela companhia de abastecimento.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.12 - Reservatório utilizado para o armazenamento da água captada do poço subterrâneo.



Fonte: Autora (2023).

5.1.1 Parâmetros físico-químicos

A avaliação dos parâmetros físico-químicos constituiu na tomada das medidas de pH, condutividade elétrica (CE), potencial de oxirredução (Eh) e temperatura da amostra *in situ*. Os resultados dos parâmetros físico-químicos compilados estão disponíveis na íntegra no Apêndice C.

A Tabela 5-1 apresenta a média dos resultados dos parâmetros físico-químicos monitorados *in situ*. Os valores de Eh já se encontram convertidos para o eletrodo padrão de hidrogênio. Para uma melhor avaliação dos dados (análises realizadas em triplicata) foi realizada média e o desvio padrão dos valores referentes ao pH, a Condutividade elétrica, o Eh (potencial redox) e a temperatura da amostra. Vale destacar que ambos os parâmetros foram realizados em triplicata.

Tabela 5-1 – Média e desvio padrão dos resultados dos parâmetros físico-químicos monitorados *in situ*.

PARÂMETRO		pH		Condutividade		Eh ou Potencial Redox		Temperatura da amostra	
UNIDADE		-		$\mu\text{S/cm}$		mV		$^{\circ}\text{C}$	
Portaria GM/MS nº 888, de 4 de MAIO de 2021		-	-	-	-	-	-	-	-
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
P01	Ibiracatu	6,9	0,1	782,3	2,5	418,33	4,6	25,2	0,3
P02	Campo Alegre	7,2	0,0	714,1	1,3	906,33	6,1	26,4	0,7
P03	São Domingo	6,8	0,1	726,4	2,1	935,00	17,6	26,0	0,2
P04	Traspassa	7,1	0,1	713,6	5,2	524,00	4,6	26,0	0,1
P05	Ibiracatu	7,1	0,1	339,5	7,9	882,33	20,6	26,4	0,2
P06	Paraterra	7,2	0,0	654,4	3,5	541,33	4,5	28,5	0,1
P07	Vertentes	7,6	0,0	407,0	0,2	536,00	1,0	27,7	0,2
P08	Quatis	7,7	0,1	300,6	1,3	493,83	4,8	26,2	0,4
P08 - DP	Quatis	7,7	0,1	300,3	0,4	452,67	2,3	25,7	0,3
P09	Bonança	7,6	0,0	437,5	1,0	858,00	8,9	28,8	0,6

Fonte: Autora (2023).

É possível perceber que os pontos monitorados apresentaram condutividade elétrica média a alta, registrando variações entre 300,3 $\mu\text{S/cm}$ e 782,33 $\mu\text{S/cm}$, condizentes com águas mineralizadas, com significativas concentrações de espécies iônicas. No que diz respeito aos valores de Eh, este esteve entre 418,33 mV e 935 mV, amostras com características oxidantes, ou seja, indica a presença de espécies químicas capazes de participar em reações de oxirredução, tais como íons de metais. Já o valor de pH variou entre 6,8 e 7,72, remetendo a águas na faixa da neutralidade a levemente alcalinas. Por fim, teve-se temperatura das amostras entre 25,2 $^{\circ}\text{C}$ e 28,2 $^{\circ}\text{C}$. A partir dos resultados foi possível ter-se um panorama das características das águas do município, assim como um indicativo de águas com teores de dureza total elevadas.

As Figura 5.13 à Figura 5.30 é demonstrado o momento da coleta nos nove pontos propostos. A partir das fotos observa-se que em alguns locais não foi possível a coleta próxima ao hidrômetro, sendo necessário sua realização a partir de uma mangueira ou em uma torneira, como foi o caso dos pontos P06 e P09.

Figura 5.13 - Ponto de coleta P01.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.14 - Ponto de coleta P01.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.15 - Ponto de coleta P02.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.16 - Ponto de coleta P02.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.17 - Ponto de coleta P03.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.18 - Ponto de coleta P03.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.19 - Ponto de coleta P04.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.20 - Ponto de coleta P04.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.21 - Ponto de coleta P05.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.22 - Ponto de coleta P05.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.23 - Ponto de coleta P06.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.24 - Ponto de coleta P06.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.25 - Ponto de coleta P07.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.26 - Ponto de coleta P07.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.27 - Ponto de coleta P08.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.28 - Ponto de coleta P08.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.29 - Ponto de coleta P09.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.30 - Ponto de coleta P09.



Fonte: Autora (2023).

5.1.2 Determinação da dureza total via titulação com complexante EDTA

Após a coleta, foi realizada, por meio do procedimento de titulação a determinação da dureza das amostras. Todo o processo foi realizado em triplicata no intuito de se garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. Para o procedimento de titulação foi utilizado 0,5 mL de NaOH, 4 mL de solução tampão e 50 mL de amostra, como demonstrados nas Figura 5.31 a Figura 5.34.

Figura 5.31 - Amostras antes da titulação para determinação de dureza.



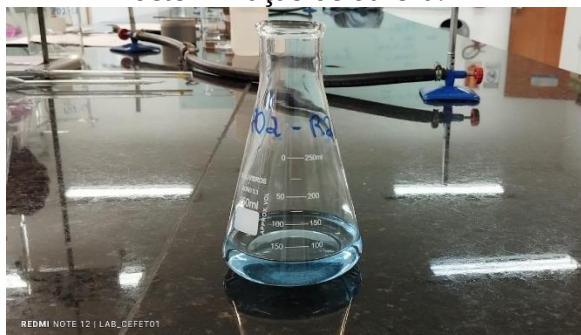
Fonte: Autora (2023).

Figura 5.32 - Amostras antes da titulação para determinação de dureza.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.33 - Amostras após titulação para determinação de dureza.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5.34 - Amostras após titulação para determinação de dureza.



Fonte: Autora (2023).

Para a determinação da dureza, seguiu-se os cálculos descritos no tópico 4.5.3.3 Inicialmente, registrou-se os volumes de EDTA gastos para o ponto de viragem de cada titulação, conforme Tabela 5-2.

Tabela 5-2 - Volume de EDTA registrado durante a titulação.

Ponto	Volume de EDTA em mL									
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P08 - DP	P09
R 1	10,75	9,70	9,87	9,90	3,41	9,00	5,17	2,90	2,89	4,61
R2	10,80	9,82	9,75	9,71	3,32	8,99	5,11	2,98	2,85	4,60
R3	10,80	9,58	9,93	9,70	3,30	9,09	5,10	2,87	2,80	4,69

Volume de EDTA em mL										
Ponto	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P08 - DP	P09
Média	10,78	9,70	9,85	9,77	3,34	9,03	5,13	2,92	2,85	4,63
Desvio Padrão	0,03	0,12	0,09	0,11	0,06	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04

Nota: R*: Replicata.

Para se determinar a dureza total de uma água, foi realizado, inicialmente, o cálculo da quantidade total de Ca^{2+} mol L^{-1} presente na solução, de acordo com a equação 4.6. Os resultados foram apresentados conforme Tabela 5-3.

Tabela 5-3 – Concentração Ca^{2+} mol L^{-1} .

Concentração Ca^{2+} mol L^{-1}										
Ponto	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P08 - DP	P09
R1	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001	0,004	0,002	0,001	0,001	0,002
R2	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001	0,004	0,002	0,001	0,001	0,002
R3	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001
Média	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001	0,004	0,002	0,001	0,001	0,002
Desvio padrão	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Nota: R*: Replicata.

Posteriormente foi calculada a concentração da dureza total das amostras, de acordo com a equação 4.7. Os resultados foram apresentados conforme Tabela 5-4.

Tabela 5-4 - Concentração de Dureza mg/L de CaCO_3 .

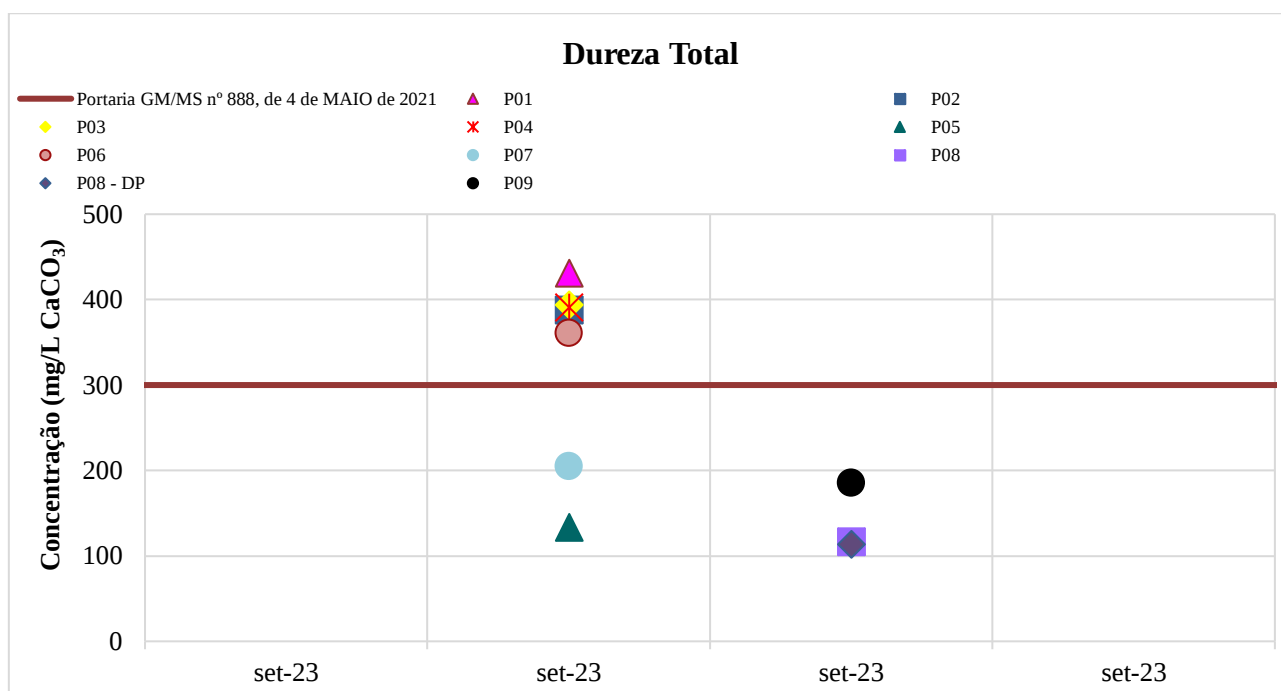
Dureza mg/L de CaCO_3										
Ponto	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P08 - DP	P09
R1	430	388	395	396	136	360	207	116	116	184
R2	432	393	390	388	133	360	204	119	114	184
R3	432	383	397	388	132	364	204	115	112	188
Média	431	388	394	391	134	361	205	117	114	185
Desvio Padrão	1	5	4	5	2	2	2	2	2	2

Nota: R*: Replicata.

A partir dos cálculos, pode-se observar que os pontos P05, P08 e P09 apresentam os melhores resultados, com águas consideradas “duras”. Os demais pontos apresentam águas consideradas “muito duras”, em que o menor valor se refere ao ponto P07, com média de 206 mg/L de CaCO_3 . Os demais pontos apresentaram concentrações elevadas, variando a média de 361 mg/L de CaCO_3 à 431 mg/L de CaCO_3 . As replicatas R1, R2 e R3 para cada ponto mostram uma consistência razoável, considerando a pequena variação nas médias e desvios padrão. A interpretação destes dados sugere que a dureza da água varia entre os pontos de amostragem,

sendo o ponto P05 uma exceção notável. Comparando-se com a localização dos pontos no mapa, infere-se que a porção sul do município apresenta águas com menor concentração de dureza total em relação a porção mais ao norte. O gráfico abaixo demonstra a concentração de Dureza Total das amostras em comparação com a legislação.

Figura 5.35 - Concentração de Dureza Total das amostras em comparação com a legislação.



Fonte: Autora (2023).

Como observado no gráfico acima, apenas os pontos P01 (431 mg/L de CaCO₃), P02 (388 mg/L de CaCO₃), P04 (391 mg/L de CaCO₃) e P06 (361 mg/L de CaCO₃) apresentaram valores acima do permitido pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de MAIO de 2021 para Dureza total, registrando o maior valor no ponto P01, com concentração média de 431,33 mg/L de CaCO₃. Os demais pontos monitorados estiveram em conformidade com a legislação que determina o máximo valor permitido de 300 mg/L de CaCO₃.

5.1.3 Duplicata

A partir do método de validação de dados em questão foi possível calcular o erro percentual relativo a dois valores de uma mesma amostra, ou seja, o erro associado à análise de amostras com duplicatas. A Tabela 5-5 representa o cálculo referente ao ponto P08 e sua duplicata.

Tabela 5-5 - Diferença percentual relativa calculada para as duplicatas.

PARÂMETROS	UNIDADE	P08	P08 - Duplicata	RDP (%)
Matriz Data		Subterrânea		
		09/08/2023	09/08/2023	
Dureza Total	mg/L de CaCO ₃	116,67	113,87	2,43%
pH	-	7,72	7,67	0,74%
Condutividade	uS/cma	300,63	300,30	0,11%
Eh	mV	294,83	253,67	15,01%
Temperatura da amostra	°C	26,17	25,70	1,80%

A análise indica que o ponto P08 apresentou um erro percentual relativo (EPR) calculado para a amostra e sua duplicata abaixo do limite admissível de 20% para ambos os parâmetros monitorados. Isso sugere que as discrepâncias entre os resultados do ponto e da duplicata estão dentro de uma faixa aceitável, demonstrando a confiabilidade dos dados e dos procedimentos de coleta.

5.3 Testes de adsorção

Para a realização dos ensaios de adsorção, utilizou-se o processo de agitação, em que a partir da agitação de uma solução aquosa (amostra de água dureza) com presença de adsorvente (resina catiônica, carvão ativado, argila ou bagaço de cana), há o aumento da superfície de contato entre adsorvente e solução resultando na ocupação progressiva dos sítios do adsorvente.

5.1.4 Caracterização química dos adsorventes

A caracterização química dos adsorventes argila e bagaço de cana foi realizada pelo laboratório do CDTN, por meio do processo de espectrometria de fluorescência de raios X disponibilizada conforme as Tabela 5-6 e Tabela 5-7.

Tabela 5-6 - Caracterização química da argila.

Elemento	Porcentagem na argila (%)
Al ₂ O ₃	19,0
SiO ₂	67,7
K ₂ O	5,05
Fe ₂ O ₃	8,20

Fonte: CDTN (2023).

A partir da caracterização química da argila foi possível obter-se a porcentagem de elementos em sua composição. Observou-se a maior concentração para o dióxido de silício 67,7%. Vale

destacar que ambos os elementos encontrados fazem parte da composição natural da argila, o que demonstra que, embora seja uma argila encontrada em floricultura, seu uso para o tratamento de água não apresenta risco potencial à saúde humana. Como descrito por Oliveira (p. 20, 2003) a “argila designa um mineral ou mistura de minerais em que predominam os chamados minerais argilosos que são silicatos hidratados em que podem participar cátions tais como Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , e outros”.

Em relação à caracterização química das cinzas do bagaço de cana, Cordeiro (*et al.*, p.84, 2009) destaca que “o método de queima adotado se revela muito adequado para a remoção de carbono e compostos voláteis presentes na cinza”. A partir da tabela observa-se a presença de 98% de carbono. Os demais compostos, assim como estudo realizado por Cordeiro (*et al.*, 2009), constituem-se como composição natural do bagaço de cana, contudo, podem variar de acordo com condições de plantio, clima e solo. Ademais, a presença de óxidos demonstra o potencial adsorativo do bagaço de cana.

Tabela 5-7 - Caracterização química do bagaço de cana.

Elemento	Porcentagem no bagaço de cana (%)
C	98,0
Al_2O_3	0,05
SiO_2	0,37
P_2O_5	0,46
SO_3	0,12
Cl	0,12
K_2O	0,48
CaO	0,33
Fe_2O_3	0,03

Fonte: CDTN (2023).

Esta avaliação teve como objetivo apenas compreender a composição química dos materiais utilizados, tendo em vista que, a partir dos resultados é possível aprofundar no tocante as interações entre adsorbato e adsorvente, capacidade de regeneração e eficiência do processo, no intuito de se subsidiar estudos futuros.

5.1.5 Caracterização química das amostras de água

5.3.1.1 Testes preliminares com amostra sintética

O processo preliminar, foi feito a temperatura ambiente ($\sim 25^\circ\text{C}$), empregando inicialmente amostra sintética produzida em laboratório, nas concentrações de 50 mg/L CaCO_3 e 500 mg/L

CaCO₃, em que foram tomadas medidas de pH, condutividade e temperatura da amostra, conforme Tabela 5-8.

Tabela 5-8 – Caracterização da amostra sintética.

AMOSTRA	Dureza mg/L CaCO ₃	pH	CE (uS/cm)	Temperatura (°C)	OBS
AMOSTRA 1	5	3,89	209	25 °	Amostra foi diluída 10x (CaCO ₃) em água destilada
AMOSTRA 2	500	2,77	1889	26 °	Amostra Real

Foram utilizados os adsorventes carvão ativado, argila e bagaço de cana (0,3 g, 0,75 g e 1,5 g), sob agitação mecânica, por um período de 24 horas, na Incubadora shaker de bancada com refrigeração (Nova Ética, modelo 430 RDB), com velocidade de 170 rpm. Em seguida, estes foram titulados, obtendo-se os resultados Tabela 5-9 à Tabela 5-11.

Tabela 5-9 - Resultados após teste de adsorção com carvão ativado.

Teste amostra - Carvão ativado										
Amostra	Massa de adsorvente	Volume de amostra	Granulometria do adsorvente		pH	CE (uS/cm)	Dureza Inicial (mg/L CaCO ₃)	Volume EDTA (mL)	Ca 2+	Dureza Final (mg/L CaCO ₃)
TC1	1,5	150 mL	>0,25 mm	<2mm	6,5	120	50	2,6	0,0005	52
TC2	0,75	150 mL	>0,25 mm	<2mm	6,5	120	50	2,7	0,0005	53
TC3	0,3	150 mL	>0,25 mm	<2mm	4,6	150	50	2,7	0,0005	53
TC4	0,75	150 mL	>0,25 mm	<2mm	3,3	1267	500	28,5	0,0057	570

Tabela 5-10 - Resultados após teste de adsorção com argila expandida.

Teste amostra - argila expandida										
Amostra	Massa de adsorvente	Volume de amostra	Granulometria do adsorvente		pH	CE (uS/cm)	Dureza Inicial (mg/L CaCO ₃)	Volume EDTA (mL)	Ca 2+	Dureza Final (mg/L CaCO ₃)
TA1	1,5	150 mL	>0,25 mm	<2mm	4,1	178	50	2,9	0,0006	58
TA2	0,75	150 mL	>0,25 mm	<2mm	4,0	179	50	3,4	0,0007	68
TA3	0,3	150 mL	>0,25 mm	<2mm	4,0	200	50	2,9	0,0006	58
TA4	0,75	150 mL	>0,25 mm	<2mm	2,7	1723	500	29,5	0,0059	590

Tabela 5-11 - Resultados após teste de adsorção com bagaço de cana (natural).

Teste amostra - bagaço natural sem ativação										
Amostra	Massa de adsorvente	Volume de amostra	Granulometria do adsorvente		pH	CE (uS/cm)	Dureza Inicial (mg/L CaCO ₃)	Volume EDTA (mL)	Ca 2+	Dureza (mg/L CaCO ₃)
TB1	1,5	150 mL	-	-	3,7	305	50	1,8	0,0007	72
TB2	0,75	150 mL	-	-	3,8	253	50	3	0,0006	60
TB3	0,3	150 mL	-	-	4,0	189	50	3,5	0,0007	70
TB4*	0,75	150 mL	-	-	2,8	1766	500	-	0,0000	-

Nota: *O ponto TB4 não foi titulado devido ao alto gasto de EDTA para amostras com 500 mg/L de CaCO₃, além da ineficiência já observada no processo.

As amostras referentes ao adsorvente de bagaço de cana ativado não foram passíveis de titulação devido ao excesso de EDTA, não sendo possível a observação do ponto de viragem. A partir dos resultados expostos, conclui-se que os adsorventes, sem ajuste de pH foram ineficientes no abrandamento da Dureza Total para todas as amostras em testes. Além disso, disto a discordância dos valores finais, não foram realizados cálculos de taxa de remoção. Ademais, ficou evidente que o ajuste de pH é essencial aos processos de adsorção.

5.3.1.2 Testes com Ajuste de pH

Anterior aos testes de adsorção com as amostras reais, simulou-se um teste de adsorção com ajuste de pH para o carvão ativado com a amostra sintética, o qual houve uma taxa de remoção de 45,63% (Tabela 5-12).

Tabela 5-12 – Testes De Adsorção Inicial com ajuste de pH utilizando Carvão Ativado.

Testes De Adsorção Inicial – Amostra Sintética Com Carvão Ativado	
Volume Amostra (mL)	150
Adsorvente (g/L)	1,5
Data teste de ajuste de pH	28/10/2023
Tipo de Teste	Agitador magnético
Dureza Inicial (mg/L CaCO ₃)	518
Ph Inicial	2,73
pH corrigido	10,29
Tempo p estabilização	5 horas
Volume Naoh estabilização	10,3
Vol EDTA	6,9
Dureza Total Final em mg/L CaCO ₃	281
Rotação	4
% em relação ao total	54,36
Taxa de remoção (%)	45,63

Fonte: Autora (2023).

Posteriormente, após a composição da amostra composta, foram realizados os procedimentos para determinação da dureza total, Tabela 5-13.

Tabela 5-13 - Avaliação dos resultados após teste de adsorção.

Caracterização amostra composta	Data teste de ajuste de pH	Ph Inicial	pH corrigido	Volume de NaOH	CE (mS/cm)	Vol EDTA	Dureza Total em mg/ L CaCO₃
amostra composta 1 (150 mL)	17/out	1,52	10	14,2	>2	7,8	318
amostra composta 1 (150 mL) duplicata	17/out	1,39	10	14,2	>2	7,8	318
amostra composta 1 (150 mL) triplicata	17/out	1,51	10	14,2	>2	7,6	310
amostra composta 2 (150 mL) *	18/out	1,27	6,08	10,3	>2	7,7	314
Média Dureza Total em mg/ L CaCO₃						Desvio Padrão	
315						3,91	

Nota: Amostra composta 2 diz respeito ao mesmo procedimento de composição da amostra composta (Capítulo 4.6.4.2).

Fonte: Autora (2023).

Durante os ensaios de adsorção a amostra composta 1 demonstrou-se insuficiente, visto isso, seguiu-se o mesmo procedimento para a composição de um volume maior. Em seguida, foi calculada a média e o desvio padrão para utilização destes dados nas etapas seguintes.

Posterior iniciou-se os ensaios de adsorção, a temperatura ambiente ($\sim 25^{\circ}\text{C}$), empregando amostra composta representativa do município, com massa fixa de 1,5g dos adsorventes resina catiônica, carvão ativado, argila e bagaço de cana, sob agitação mecânica, por um período de 5 horas, no agitador magnético (Fisatom), com velocidade de 4 de rotação, com exceção da resina catiônica que foi testada na incubadora, durante 24 horas. Além disso, para estes testes foi realizada a correção do pH das amostras com NaOH, principalmente devido ao HNO_3 adicionado para preservação das amostras. Posteriormente, as amostras foram filtradas e acondicionadas para posterior determinação da dureza total e análise ICP. Além disso, também foram tomadas as medidas de condutividade e pH. Não foram observadas variações na

condutividade elétrica, que seguiram com condutividade igual a >2 mS/cm, estourando o condutivímetro, logo não foram representadas nas tabelas. A Tabela 5-14 apresenta o código da amostra e sua especificação, ambas foram realizadas em duplicata.

Tabela 5-14 - Código e especificação das amostras de teste.

Código	Amostra
PCRC 1 (Com ajuste de pH)	Amostra com Resina Catiônica (150 mL) - teste 1
PCRC 1 (Com ajuste de pH)	Amostra com Resina Catiônica (150 mL) - teste 2
PCRC 1 (Sem ajuste de pH)	Amostra com Resina Catiônica (150 mL) teste 1
PCRC 2 (Sem ajuste de pH)	Amostra com Resina Catiônica (150 mL) teste 2
PCC1	Amostra com carvão ativado (150 mL) - teste 1
PCC2	Amostra com carvão ativado (150 mL) - teste 2
PCA1	Amostra com Argila Expandida (150 mL) - teste 1
PCA2	Amostra com Argila Expandida (150 mL) - teste 2
PCB1	Amostra com bagaço de cana (150 mL) - teste 1
PCB2	Amostra com bagaço de cana (150 mL) - teste 2
PCBA1	Amostra com bagaço de cana ativado (150 mL) - teste 1
PCBA2	Amostra com bagaço de cana ativado (150 mL) - teste 2

Fonte: Autora (2023).

Na Tabela 5-15 tem-se os valores compilados, tanto da determinação de dureza, como a taxa de remoção em relação a amostra inicial.

Tabela 5-15 - Valores compilados de pH, NaOH, EDTA, determinação de dureza e taxa de remoção em relação a amostra inicial.

Código	Teste	pH antes	pH depois	Volume Naoh (Correção até pH 10)	Volume NaOH (Estabilização)	Volume EDTA	Dureza Total em mg /L CaCO₃	% em relação ao total	Taxa de remoção (%)
PCRC 1 (Com ajuste de pH)	Incubadora	10	1,89	14,3	0,7	0,4	16	5,18	94,82
PCRC 1 (Com ajuste de pH)	Incubadora	10	1,89	14,3	0,7	0,6	24	7,77	92,23
PCRC 1 (Sem ajuste de pH)	Incubadora	7,28	1,8	14,3	0,7	0,8	33	10,39	89,61
PCRC 2 (Sem ajuste de pH)	Incubadora	7,28	1,8	14,3	0,7	0,9	37	11,69	88,31
PCC1	Agitador magnético	10	10,11	14,3	0,7	1,6	65	20,71	79,29
PCC2	Agitador magnético	10	9,98	14,3	0,7	1,5	61	19,48	80,52

Código	Teste	pH antes	pH depois	Volume Naoh (Correção até pH 10)	Volume NaOH (Estabilização)	Volume EDTA	Dureza Total em mg /L CaCO ₃	% em relação ao total	Taxa de remoção (%)
PCA1	Aagitador magnético	10	10,39	14,3	0,7	2,4	98	31,07	68,93
PCA2	Aagitador magnético	10	10,12	14,3	0,7	2,6	106	33,77	66,23
PCB1	Aagitador magnético	10	10,39	17,7	3,4	6,2	253	80,52	19,48
PCB2	Aagitador magnético	10	10,19	15,1	0,8	6,1	249	79,22	20,78
PCBA1	Aagitador magnético	10	10,39	17,7	3,4	-	-	-	-
PCBA2	Aagitador magnético	10	10,19	15,1	0,8	-	-	-	-

Nota: *O ponto PCB1 e PCB2 não foram titulados devido ao excesso de EDTA, não sendo possível a observação do ponto de viragem.

Fonte: Autora (2023).

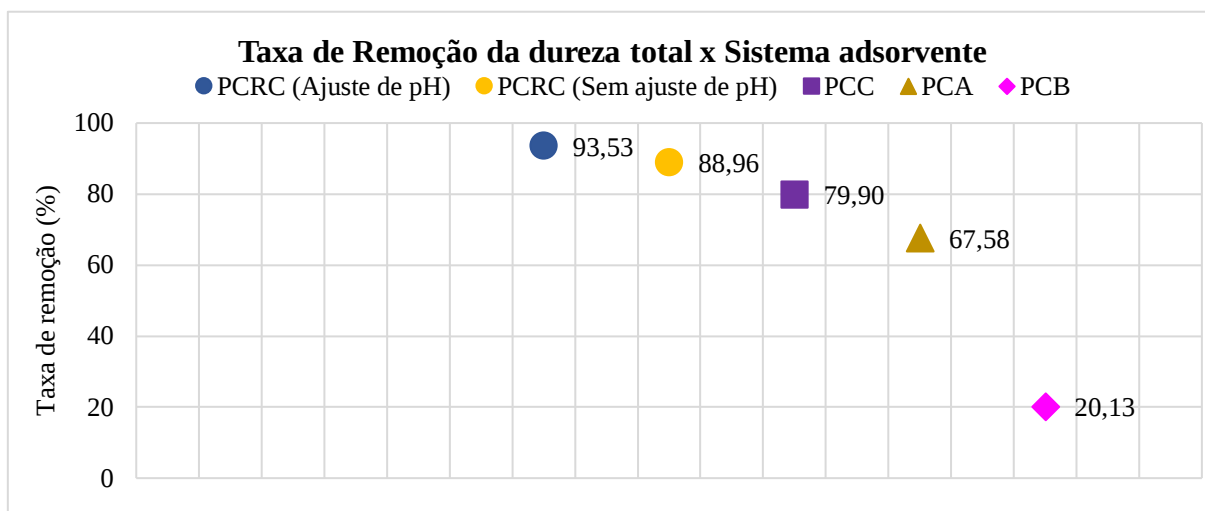
Para uma melhor avaliação dos dados, foi realizada a média e o desvio padrão das amostras, conforme observado na Tabela 5-16.

Tabela 5-16 - Média das concentrações de Dureza Total, taxa de remoção e desvio padrão.

CÓDIGO	Dureza Total Média em mg/L CaCO ₃	Desvio Padrão Dureza Total	Taxa de remoção Média	Desvio Padrão Taxa de remoção
PCI 1 e PCI2 (Amostra Inicial composta)	315	3,91	0	-
PCRC (Ajuste de pH)	20,408	5,77	93,53	1,83
PCRC (Sem ajuste de pH)	34,6936	2,89	88,96	0,92
PCC	63,2648	2,89	79,90	0,87
PCA	102,04	5,77	67,58	1,91
PCB	251,0184	2,89	20,13	0,92
PCBA *	-	-	-	-

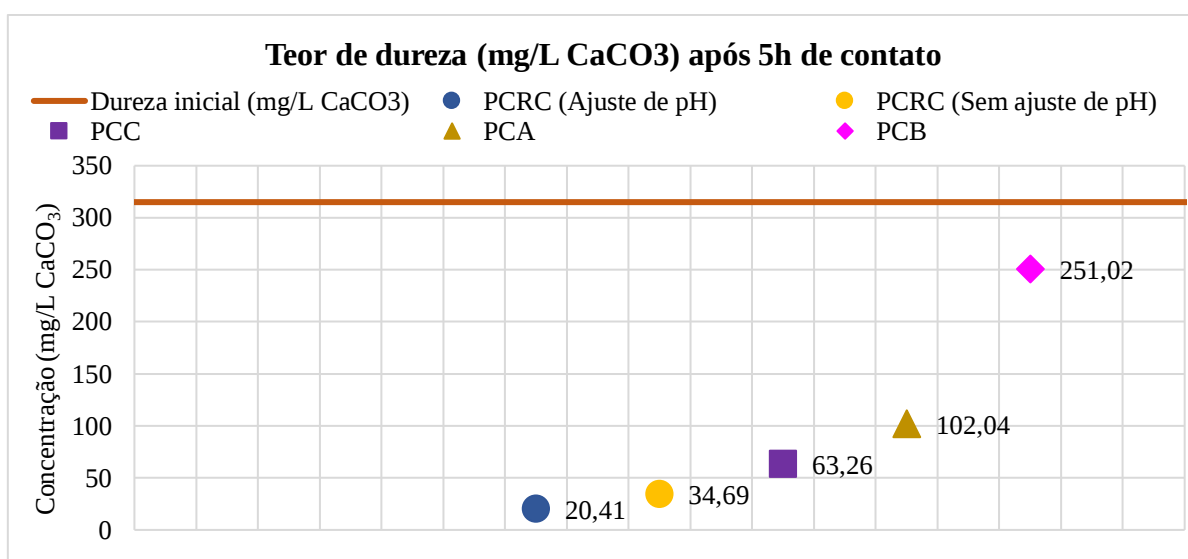
Fonte: Autora (2023).

Em relação as demais amostras, a resina catiônica apresentou o melhor resultado com pouca variação em relação a amostra com e sem ajuste de pH. Seguidas do carvão ativado, argila e bagaço de cana, conforme pode ser observado na Figura 5.36. A resina catiônica apresentou uma taxa de remoção de 93,53% com ajuste de pH e de 88,96% sem o ajuste de pH. O carvão ativado apresentou 79,90% de taxa de remoção, enquanto a argila e o bagaço de cana apresentaram 67,58% e 20,13%.

Figura 5.36 - Taxa de Remoção da dureza total x Sistema adsorvente.

Fonte: Autora (2023).

A partir da Figura 5.37, quando comparado com a amostra inicial de 318 mg/L CaCO_3 , todos os adsorventes apresentaram redução do teor de dureza total após 5 horas de contato em agitação. A resina e o carvão, como já destacado por outros autores, possui eficácia comprovada no abrandamento da dureza, porém um custo elevado na sua implementação, principalmente em comunidades rurais. Portanto, os valores referentes a argila e ao bagaço de cana demonstram-se promissores, tendo em vista seu baixo custo e alta disponibilidade. A Argila, como observado no gráfico, apresenta melhor eficiência em relação ao bagaço, que passou de 318 mg/L CaCO_3 para 251 mg/L CaCO_3 após 5 horas de contato.

Figura 5.37 - Teor de dureza (mg/L CaCO_3) após 5h de contato.

Fonte: Autora (2023).

Em resumo, a partir dos testes preliminares, ambos os adsorventes demonstram potencial no abrandamento da dureza, com destaque para a resina, que variou pouco em se tratando do ajuste de pH. Em relação as demais amostras, o carvão ativado, a argila e o bagaço, quando em pH básico, demonstraram potencial no abrandamento, com destaque para o carvão e para a argila que obtiveram os melhores resultados. Em relação ao bagaço de cana, este apresentou os resultados menos favoráveis, além disso, alterou a cor da amostra, o que, ao ser implementado, necessitaria de correção. Vale destacar que os testes propostos tiveram como intuito apenas avaliar o potencial adsorativo, logo, estudos futuros devem aprofundar a viabilidade econômica e a possibilidade de regeneração dos adsorventes no intuito de se obter o melhor custo-benefício.

5.3.1.3 Análise por ICP-OES

No intuito de se complementar e corroborar as análises, as amostras líquidas dos ensaios de adsorção com amostras reais foram avaliadas pelo laboratório do CDTN por meio do método ICP-OES.

Como os resultados foram expressos em concentração de cálcio mg/L, foi necessário realizar a conversão em Dureza total (mg/L CaCO_3). A conversão foi feita por meio de cálculos estequiométricos (SKOOG, 2006).

$$\text{Dureza} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L CaCO}_3} \right) = \frac{\text{Concentração de Cálcio (mg/L Ca)}}{40,08 \text{ mg/mol}} \times 100,09 \text{ mg/mol} \quad (5.1)$$

Em que a concentração de cálcio foi obtida por meio de análise por ICP-OES, 40,08 mg/mol corresponde a massa do cálcio e 100,09 corresponde a massa molar do carbonato de cálcio. A partir dos resultados de cálcio em mg/L foram obtidos os valores de concentração de Dureza total em mg/L de CaCO_3 . Ambos foram apresentados na Tabela 5-17.

Tabela 5-17 - Resultados das análises ICP de cálcio em mg/L.

Amostra	Ca (mgL⁻¹)	Dureza Total (mg/L CaCO_3)
PCI1	134,8	336,5551
PCI2	135,5	338,3531
PCRC1	6,0	14,8612
PCRC2	5,7	14,3492
PCC	16,7	41,6342
PCA	29,1	72,7151
PCB	114,9	286,9097
PCBA	129,3	322,8452

Fonte: Autora (2023).

A partir dos resultados da análise por ICP-OES, foi possível observar uma maior precisão e confirmação dos resultados obtidos pelo método de titulação. As concentrações nas amostras iniciais, representativas da composição original do município, revelaram uma dureza média de 337 mg/L de CaCO_3 .

Ao aplicar o tratamento com resina, tanto com, quanto sem ajuste de pH, as concentrações foram reduzidas para 15 mg/L e 14 mg/L de CaCO_3 , respectivamente. A amostra tratada com carvão ativado apresentou uma dureza de 41 mg/L de CaCO_3 , enquanto a tratada com argila registrou 73 mg/L de CaCO_3 .

Por outro lado, os resultados menos favoráveis foram observados na amostra tratada com bagaço de cana, que exibiu uma dureza de 287 mg/L de CaCO_3 em seu estado natural e 323 mg/L de CaCO_3 quando ativada com EDTA. Curiosamente, a amostra em seu estado puro demonstrou ser mais eficiente em termos de redução de dureza do que a amostra ativada com EDTA.

De forma a verificar a similaridade entre as análises por titulação e por ICP-OES foram compilados os valores referentes à dureza total em mg/L CaCO_3 e suas respectivas taxas de remoção da dureza após o processo de agitação (Tabela 5-18). A resina demonstrou não sofrer interferência do pH, enquanto o carvão e a argila demonstraram taxa de remoção superior pela análise ICP-OES, demonstrando sua eficiência no abrandamento.

Tabela 5-18 - Comparativo dos resultados das análises de dureza total e taxa de remoção por titulação e ICP.

Tipo de análise	Análise por Titulação		Análise por ICP	
Código	Dureza Total Média em mg/ L CaCO ₃	Taxa de remoção Média (%)	Média Dureza Total em mg/L CaCO ₃	Taxa de remoção Média (%)
PCI 1 e PCI2 (Amostra Inicial composta)	315	0	337	0
PCRC (Ajuste de pH)	20,408	93,53	15	95,67
PCRC (Sem ajuste de pH)	34,6936	88,96	42	95,75
PCC	63,2648	79,9	73	87,66
PCA	102,04	67,58	287	78,45
PCB	251,0184	20,13	323	14,98
PCBA *	-	-	-	4,33

Fonte: Autora (2023).

Esses achados destacam a variabilidade na eficiência dos diferentes tratamentos nas amostras de água do município, ressaltando a importância de escolher abordagens de tratamento específicas para otimizar a redução da dureza da água.

6 CONCLUSÃO

Ao avaliar o contexto hídrico no Norte de Minas Gerais, principalmente no que diz respeito à escassez hídrica e a gestão dos recursos hídricos, é notório a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de estratégias no intuito de se garantir o acesso a água com qualidade para a população. O processo de abrandamento da dureza da água, como revelado por outros estudos, tem se mostrado fundamental para a melhoria da qualidade de vida da comunidade, considerando as diversas questões associadas à dureza.

Em relação a percepção ambiental dos moradores do município de Ibiracatu quanto a qualidade da água utilizada, foi possível verificar que a dureza é o principal fator de incomodo em relação ao abastecimento no município. Fica evidente que a ausência de alternativas eficazes de abrandamento impacta não apenas a qualidade de vida, mas também a situação financeira e emocional da população, que se vê obrigada a recorrer à compra de água mineral, resultando em custos adicionais mensais. Além disso, as incrustações nas tubulações representam um outro ponto de desconforto, influenciando a durabilidade das instalações e, conseqüentemente, acarretando em despesas adicionais. Diante disso, a investigação da população se demonstrou essencial para fundamentar e justificar a relevância deste estudo.

A partir da avaliação do município constatou-se que em algumas localidades ainda não há abastecimento pela concessionária, exigindo-se muitas vezes o abastecimento por caminhão pipa em momento de seca. No tocante aos parâmetros avaliados em campo, os pontos monitorados revelaram condutividade elétrica média a alta, variando entre 300,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 782,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores de Eh oscilaram entre 418,33 mV e 935 mV, pH variou de 6,8 a 7,72 e temperatura das amostras entre 25,2 °C e 28,2 °C. Esses resultados proporcionaram um panorama das características das águas do município, indicando águas mineralizadas com concentrações significativas de espécies iônicas. Em relação à dureza, pode-se verificar que, ao longo do município há pontos com diferentes concentrações de sais, com destaque para a porção norte, que apresentou as maiores concentrações, com destaque para os pontos P01 (431 mg/L de CaCO_3), P02 (388 mg/L de CaCO_3), P04 (391 mg/L de CaCO_3) e P06 (361 mg/L de CaCO_3) com valores superiores a 300 mg/L de CaCO_3 , em desconformidade com a Portaria 888/2021.

Visto isso, avaliar o potencial adsorptivo dos adsorventes sintéticos resina catiônica e carvão ativado, além dos adsorventes naturais argila e bagaço foi fundamental para contribuir com maiores discussões à respeito do assunto em busca de alternativas que se demonstrem mais

viáveis em áreas rurais. Após a realização dos experimentos foi possível observar que o pH, com exceção da resina, que não teve sua eficiência alterada, é fator crucial para o processo de abrandamento por adsorção, tendo em vista que os testes sem ajuste de pH se demonstraram ineficientes no abrandamento da dureza.

As análises com titulação e ICP-OES não demonstraram grande variação nos resultados, demonstrando a confiabilidade dos dados. Em relação aos testes com ajuste de pH, a resina catiônica e o carvão ativado demonstraram alto potencial no abrandamento da dureza, como era esperado, com eficiência 95,75% para a resina catiônica (sem ajuste de pH) e 87,66% para o carvão ativado. A argila expandida, dentre os adsorventes, demonstrou o melhor potencial para ser aplicada em áreas rurais, com eficiência de 78,45%. No que diz respeito ao bagaço de cana, embora tenha apresentado pouca eficiência, em seu estado natural este apresentou 14,98% de abrandamento da dureza. O bagaço de cana ativado com EDTA não demonstrou eficiência no processo. Além disso, nos ensaios de adsorção, foi observado que o bagaço de cana natural confere cor ao efluente o que influencia negativamente na sua capacidade de remoção de dureza ao longo do tempo.

Por fim, o abrandamento da dureza demonstrou ser importante para alcançar o acesso à água com qualidade no Norte de Minas Gerais, devido às altas concentrações de dureza total nos corpos hídricos da região. Logo, tendo em vista o potencial adsortivo dos materiais empregados neste estudo é interessante a continuidade e aprofundamento, principalmente do potencial da argila e do bagaço de cana, no intuito de serem verdadeiramente implementados de forma viável com baixo custo.

7 RECOMENDAÇÕES

Este estudo se mostrou de caráter preliminar na avaliação da aplicabilidade dos diferentes adsorventes no abrandamento da dureza. Estudos posteriores são necessários no intuito de investigar:

- A capacidade de dessorção da dureza nos adsorventes, bem como a aplicação de técnicas de recuperação dos adsorventes para nova utilização;
- Um estudo de adsorção em coluna em escala de bancada para avaliar a possibilidade de utilização dos adsorventes em estações de tratamento de água;
- O tratamento de adsorção utilizando a argila expandida e o bagaço de cana como etapa de pós-tratamento da água para abastecimento;
- A relação custo-benefício da utilização destes adsorventes em tratamento em escala real, visto que ambos os precursores necessitam de tratamento físico ou químico para melhorar suas características em relação à eficiência de adsorção.
- Avaliar a correlação entre o consumo de águas com alto teor de dureza e doenças renais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. M. de. **A resina de troca iônica como extrator multielementar em análise de solos para fins de fertilidade**. Unicamp, IQ, Campinas, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1999.210684>>. Acesso em: 13 de nov. de 2023.
- AMIRI, H.; JAAFARZADEH, N.; AHMADI, M.; MARTÍNEZ, S. **Application of LECA modified with Fenton in arsenite and arsenate removal as an adsorbent**. Desalination, v. 272, p. 212-217, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411000294>>. Acesso em: 28 de maio de 2023.
- ANA, 2015. **Atlas de abastecimento urbano de água**. Agência Nacional de Águas Brasília. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: 12 de abril de 2023.
- ARAÚJO, A.C.S.; Botelho, C.S. **Remoção de Dureza Cálcica Utilizando Processo de Troca Iônica**. Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022. Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental do Curso da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/31788/1/durezacalcicatrocaionica.pdf>>. Acesso em: 13 de nov. de 2023.
- ARSAE. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Panorama da Prestação dos Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário no Município de Ibiracatu (Copasa)**. 2021. Disponível em: www.arsae.site/panoramas-municipais. Acesso em 05 de maio de 2023.
- ASSIS, P. A. de. **Adsorção de metais pesados em solução aquosa e em drenagem ácida de mina utilizando bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/2306>>. Acesso em: 06 de jun. de 2023.
- BAER, W. **Industrialization and Economic Development in Brazil**, Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, 1965.
- BESSA, R. A. **Síntese e caracterização de compósitos de zeólitas magnéticas utilizando caulim para abrandamento de água**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado em química)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/18551/1/2016_dis_rabessa.pdf>. Acesso em: 12 de dez. de 2023.
- BOAVENTURA, G. **Disodium EDTA**. Cosmética em Foco, 2022. Disponível em: <<https://cosmeticaemfoco.com.br/materias-primas/disodium-edta/>>. Acesso em: 21 de nov. de 2023.
- BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry New York: John Wiley**, 1979. 329p. Disponível em: <https://www.chemcome.com/wp-content/uploads/2020/11/Soil-Chemistry-by-Hinrich-L.-Bohn-George-A.-OConnor-Brian-L.-McNeal-z-lib.org_.pdf>. Acesso em: 06 de jun. de 2023.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 19 mai. 2023.

BRASIL. Decreto Federal n.º 79.367, de 9 de março de 1977: Brasil. **Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977**. Regulamenta a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 mar. 1977. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/d79367.htm. Acesso em: 05 de jun. de 2023.

BRASIL. Decreto Federal nº 5.440, de 4 de maio de 2005: Brasil. **Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005**. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 maio 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5440.htm. Acesso em: 05 de jun. de 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa / Fundação Nacional de Saúde**. – Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf. Acesso em 12 de nov. de 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de fluoretação da água para consumo humano / Fundação Nacional de Saúde**. – Brasília: Funasa, 2012. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/mnl_fluoretacao_2.pdf. Acesso em 12 de nov. de 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 1ª ed. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/analise_agua_bolso.pdf. Acesso em: 12 de dez. de 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, 2007. Seção 1, p. 3-7. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 19 mai. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 12 de abril de 2023.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Relatório Final Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semi-Árido Nordeste e do Polígono das Secas**. Brasília, 2005. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/publicacoes/relatorio_semi_arido.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde**. – 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/web/guest/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/->

/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/manual-de-saneamen-1?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.funasa.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fbiblioteca-eletronica%2Fpublicacoes%2Fengenharia-de-saude-publica%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_ZM23z1KP6s6q%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_101_INSTANCE_ZM23z1KP6s6q_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_ZM23z1KP6s6q_keywords%3D%26_101_INSTANCE_ZM23z1KP6s6q_delta%3D10%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_ZM23z1KP6s6q_cur%3D3%26_101_INSTANCE_ZM23z1KP6s6q_andOperator%3Dtrue>. Acesso em: 19 mai. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **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, 29 p. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. PDF. Acesso em 14 mar. 2023.

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. 2017. Disponível em: <http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.

CABOT. **Norit 400 Plus Activated Carbon**. Disponível em: <<https://www.indiamart.com/proddetail/norit-400-plus-activated-carbon-21998595355.html>>. Acesso em: 13 de nov. de 2023.

CADORE, S., Matoso, É., Santos, M. C. (2008). **A Espectrometria Atômica e a Determinação de Elementos Metálicos em Material Polimérico**. Química Nova, 31(6), 1533-1542. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, Brasil. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/mPQHBNFmYt8FJ4sqQK4n7kq/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 20 de nov. de 2023.

CARMO, C. M. do. **Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA**. 2003. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5836>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CBHSF, Comitê da bacia hidrográfica do São Francisco. **A Bacia**. 2023. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/#:~:text=A%20bacia%20hidrogr%C3%A1fica%20do%20rio,de%20Alagoas%20e%20de%20Sergipe.>>>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo | Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. SÃO PAULO: CETESB, Brasília: ANA, 2017. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2023.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília, DF: 2016. 252p. Disponível em: <<https://www.cgee.org.br/documents/10195/11009696/DesertificacaoWeb.pdf>>. Acesso em: 18 de nov. de 2023.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 13 de fevereiro de 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 de nov. de 2023.

COOK, C.; BAKKER, K. **Water security: Debating an emerging paradigm**. *Global Environmental Change*, v. 22, n. 1, p. 94-102, 2012. Disponível em: <http://web.mit.edu/mission/www/m2017/pdfs/watsec.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Relatório de qualidade da água**. Ibiracatu, 2022. Disponível em: <https://www2.copasa.com.br/servicos/RelatorioQualidade/index.html>. Acesso em: 11 de jun. de 2023.

CORDEIRO, GC, Toledo F. RD, Fairbairn E de MR. **Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios**. *Quím Nova* [Internet]. 2009;32(1):82–6. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000100016>>. Acesso em: 21 de nov. de 2023.

COSTA, W. M. da. **Utilização de adsorventes argilominerais visando redução de dureza como alternativa de pré-tratamento ao uso da osmose reversa**. 2022. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil- Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/70564>>. Acesso em: 06 de jun. de 2023.

COURA, S. M. C. **Mapeamento de vegetação do estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS** / Samuel Martins da Costa Coura. – São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/12.21.13.36/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 18 de nov. de 2023.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Relatório anual**. 2012. Disponível em: https://www.cprm.gov.br/publique/media/informacao_publica/rel_anual_%202012.pdf. Acesso em: 03 abr. 2023.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia Subterrânea**. Segunda Edición, 1983. Disponível em: https://www.academia.edu/41067940/Custodio_Llamas_Tomo. Acesso em: 18 mar. 2023.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000. Disponível em: <https://ufrb.edu.br/educacaodocampocfp/images/DEMO_Pedro._Metodologia_cient%C3%AAdfica_em_Si%C3%AAncias_Sociais.pdf>. Acesso em: 11 de jun. de 2023.

PAIM, Á.; OLIVEIRA, M. **Aplicação do carvão ativado vegetal no abrandamento da Dureza na água de alimentação de caldeira**. XIX Congresso de Iniciação Científica da ENPOS, 2010. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/profile/Agata->

Paim/publication/267707403_APLICACAO_DO_CARVAO_ATIVADO_VEGETAL_NO_ABRANDAMENTO_DA_DUREZA_NA_AGUA_DE_ALIMENTACAO_DE_CALDEIRA/links/55928ae608aed7453d4601d8/APLICACAO-DO-CARVAO-ATIVADO-VEGETAL-NO-ABRANDAMENTO-DA-DUREZA-NA-AGUA-DE-ALIMENTACAO-DE-CALDEIRA.pdf>. Acesso em: 25 de jun. de 2023.

FEITOSA, F.A.C. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM:LABHID, 2008. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/14818/3/livro_hidrogeologia_conceitos.pdf. Acesso em: 23 mai. 2023.

FERREIRA, R. V. de P. **Aplicação de bioissorvente no tratamento de rejeitos radioativos líquidos**. [Tese] Tecnologia Nuclear. Autarquia associada à Universidade de São Paulo, SP. 2014. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-03112014-143732/pt-br.php>>. Acesso em: 28 de maio de 2023.

FROTA, E. B.; VASCONCELOS, N. M. S. de. **Química Ambiental**. 2. ed. Fortaleza: UECE, 2019. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/559748/2/Livro%20Quimica_Ambiental.pdf>. Acesso em: 12 de nov. de 2023.

FUNCEME. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Governo do Ceará, 2023. Disponível em: < <http://www3.funceme.br/qualigraf/app/pagina/show/3> >. Acesso em 16 de abr. de 2023.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em: 11 de jun. de 2023.

GILES, C. H.; MACEWAN, T. H.; NAKHWA, S. N.; SMITH, D. **Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids**. Journal Chemical Society, 1960.

HAILU, Y; TILAHUN, E; BRHANE, A; RESKY, H; SAHU, O. **Ion exchanges process for calcium, magnesium and total hardness from ground water with natural zeolite**. Groundwater For Sustainable Development, [S.L.], v. 8, p. 457-467, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2019.01.009>.

HANTKE-DOMAS, M.; JOURAVLEV, A. **Lineamentos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento**. In: CEPAL. Documento de proyecto. Santiago de Chile: CEPAL, jun. 2011. n. 400. Disponível em: <<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2dd56e4f-ad16-4f8d-bb22-2ab7d0080cf6/content>>. Acesso em: 12 de nov. de 2023.

HILL, C. **An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design**. New York: John Wiley and Sons, 1977. 594 p. Disponível em: <<https://himatekkim.ulm.ac.id/wp-content/uploads/2021/06/Charles-G.-Hill-Jr-An-Introduction-To-Chemical-Engineering-Kinetics-Reactor-Design.pdf>>. Acesso em: 20 de nov. 2023.

IBGE. **Características gerais dos domicílios e dos moradores**. Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/1cd893a10b3cabf31fc31e994531632f.pdf>. Acesso em: 19 de nov. De 2023.

IBGE. **Coordenação de Estruturas Territoriais: Malha municipal digital e áreas territoriais**. Geociências, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias/15774-malhas.html>>. Acesso em: 16 de nov. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Disponível em: https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf. Acesso em: 04 mar. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa municipal de Ibiracatu**. Diretoria de Geociências, 2021. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_municipais/colecao_de_mapas_municipais/2020/MG/ibiracatu/3129657_MM.pdf>. Acesso em 18 de jun. de 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama das cidades: Ibiracatu**. 2022. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ibiracatu/panorama>>. Acesso em: 28 de maio de 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agropecuária de Cana-de-Açúcar em Minas Gerais**. 2021. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/mg>>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

IBGE. **Ligações Rodoviárias e Hidroviárias**. Geociências, 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 16 de nov. 2023.

IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 119 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

IBIRACATU. **Prefeitura de Ibiracatu**, 2023. Copyright 2022 | Todos os direitos reservados – Prefeitura Municipal de Ibiracatu – Desenvolvido por A.M.S Marketing Digital. Disponível em: <<https://ibiracatu.mg.gov.br/>>. Acesso em: 05 de jun. de 2023.

IGAM. **Base hidrográfica Ottocodificada**, Minas Gerais. 2023. Disponível em: <<https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/noticias/479-igam-apresenta-nova-base-de-dados-hidrograficos-atualizada-e-melhorada>>. Acesso em: 16 de nov. de 2023.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Água Potável e Saneamento**. Brasília: Ipea, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>. Acesso em: 23 abr. 2023.

KALHORI, E. M. *et al.* **Modeling of adsorption of toxic chromium on natural and surface modified light weight expanded clay aggregate (LECA)**. Applied Surface Science, v. 287, p. 428-442, 2013. Disponível em: <https://www.academia.edu/10655483/Modeling_of_adsorption_of_toxic_chromium_on_natural_and_surface_modified_lightweight_expanded_clay_aggregate_LECA_>. Acesso em: 28 de maio de 2023.

KANAMARLAPUDI, S. L. R. K.; CHINTALPUDI, V. K.; MUDDADA, S. **Application of biosorption for removal of heavy metals from wastewater**. Biosorption, Jan Derco and Branislav Vrana, IntechOpen, p. 70-116, 2018. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/62247>. Acesso em: 12 mai. 2023.

KARNITZ, O. **Modificação química do bagaço de cana de açúcar e celulose usando anidrido do EDTA. Uso destes materiais na adsorção de metais pesados em solução aquosa.** (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos – PROAGUA, UFOP, Ouro Preto – MG, 2007. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/2308>>. Acesso em 30 de abril de 2023.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** 4. ed. Campinas: Átomo, 2016.

LIMA, R. R. C. **Aplicação de argilas modificadas no abrandamento de águas duras.** 2017. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22683/1/AplicacaoArgilasModificadas_Lima_2017.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

MELO, M. J. de M. et al. **Estudo analítico da dureza e alcalinidade de águas de abastecimento visando abrandamento por meio de resina de troca iônica.** Trabalho de Conclusão de curso (Licenciatura em Química), 2011. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/14092>>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.

MELO, W. M. C. **Utilização de adsorventes argilominerais visando redução de dureza como alternativa de pré-tratamento ao uso da osmose reversa.** Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/70564/3/2022_tese_wmcosta.pdf>. Acesso em: 18 de jun. de 2023.

MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. J. K. **Análise Química Quantitativa.** Edição em Português, 2002.

MIERZWA, J. C. O. **Uso Racional e o Reúso como Ferramentas para o Gerenciamento de Águas e Efluentes na Indústria: estudo de caso da kodak brasileira.** 2002. 2 v. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14112002-203535/publico/TeseJCM.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2023.

MILHOMEM, M. P. S. **Estudo de isothermas no processo de adsorção.** Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins, Câmpus Universitário de Gurupi. Curso de Química Ambiental, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/3124/1/Mateus%20Pereira%20de%20Sousa%20Milhomem.pdf>>. Acesso em: 18 de nov. de 2023.

MINAS GERAIS. **DELIBERAÇÃO NORMATIVA CERH/MG N.º 49, DE 25 DE MARÇO DE 2015.** Estabelece diretriz e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=37775#:~:text=Ficam%20estabelecidas%20as%20diretrizes%20e,no%20Estado%20de%20Minas%20Gerais>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

MINAS GERAIS. **Plano Estadual de Ação Climática de Minas Gerais. Programa de Cooperação entre Brasil e Reino Unido em Finanças Verdes.** Secretária de Estado de Meio

Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. Sumário executivo, 2023. Disponível em: < <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2023/06/plac-mg-05062023.pdf> >. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

MORAES, G. de. **Métodos de Abrandamento de Água para Abastecimento: estudo de caso Habitasul - Jurerê Internacional**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC. 2021. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/220235>>. Acesso em: 03 de mar. de 2023.

MOREIRA, S. A., Sousa, F. W., Oliveira, A. G., Nascimento, R. F., & Brito, E. S. **Remoção de metais de solução aquosa usando bagaço de caju**. Química Nova, 2009. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S0100-4042200900070000>>. Acesso em: 12 set. 2023.

NASCIMENTO, R. F. DO; LIMA, A. C. A. DE; VIDAL, C. B.; MELO, D. DE. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: UFC. 2014. 258 pp. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/10267>>. Acesso em: 04 de jun.de 2023.

NBR 12216. **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992. Disponível em: <https://www.academia.edu/6512498/NBR_12216_1992_Projeto_de_esta%C3%A7%C3%A3o_de_>. Acesso em 03 de jun. de 2023.

NKANSAH, M. A. *et al.* **The use of lightweight expanded clay aggregate (LECA) as sorbent for PAHs removal from water**. Journal of Hazardous Materials, v. 217, p. 360-365, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412003172?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

OLIVEIRA, A. M. P. **Alcalinidade e Dureza das Águas**. 2020. Elaborado por Aline Maxiline Pereira Oliveira. Disponível em: <<http://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/alcalinidadee-dureza-das-aguas/>>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

OLIVEIRA, L. C. A. **Desenvolvimento de Novos Materiais Baseados em Argilas e Carvões para Aplicações como Catalisadores e Adsorventes em Processos de Remediação Ambiental**. Tese apresentada ao Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências - Química, 2003. Disponível em:<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/LFBA-5SMLD/1/qu_mica_luizcarlosalvesdeoliveira_tese.pdf >. Acesso em: 21 de nov. de 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sítio oficial de Año Internacional del Agua Dulce**. [s.l.]: ONU, 2003.

PEREIRA, F. V. **Remoção de íons zinco (II) de efluentes derivados de processos de galvanoplastia utilizando rejeitos de fibras vegetais modificadas quimicamente**. (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Ambiental PROAGUA, UFOP, Ouro Preto - MG, 2008. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/3004>>. Acesso em: 23 de maio de 2023.

PEREIRA, K. R. de O. **Estudo, em escala de laboratório, do uso de argilas do tipo Bofe na obtenção de argilas organofílicas e ativadas/** KR.O.Pereira. São Paulo, 2008. 139 p. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-02062008-165709/publico/Tese_KleberPereira.pdf>. Acesso em: 30 de maio de 2023.

PIVELI, R. **Curso Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos, Notas de Aula**, EEUSP, 2001. Disponível em:

<https://www.academia.edu/8411461/CURSO_QUALIDADE_DAS_%C3%81GUAS_E_PO_LUI%C3%87%C3%83O_ASPECTOS_F%C3%8DSICO_QU%C3%8DMICOS>. Acesso em: 23 abr. 2023.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Rio Grande do Sul: Editora Feevale, 2013. Disponível em: <<https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>>. Acesso em: 11 de jun. de 2023.

PUROLITE. **Ficha técnica: Shallow Shell**. (SSTPPC60H), 2023. Disponível em:

<<https://www.purolite.com/product/pt/sstppc60h>>. Acesso em 13 de nov. de 2023.

QUENAYA, M. S. S. **Consumo de Água dura em la población de las irrigaciones de la parte baja del río chili – Arequipa 2016**. Escuela Universitaria de Posgrado. Lima, Perú, 2019. Disponível em:

<<https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3642/MOLINA%20QUENAYA%20SHAMINY%20SILVIA%20-%20MAESTR%C3%8DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 mai. 2023.

REKAB, K., Lepeyre, C., Goettmann, F., Dunand, M., Guillard, C., & Herrmann, J.-M. **Degradation of a cobalt(II)-EDTA complex by photocatalysis and H₂O₂/UV-C**.

Application to nuclear wastes containing 60Co. Akademiai Kiado, Budapest, Hungary, 2014. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/271920693_Degradation_of_a_cobaltII-EDTA_complex_by_photocatalysis_and_H2O2UV-C_Application_to_nuclear_wastes_containing_60Co>. Acesso em: 13 de dez. de 2023.

RIBEIRO, E. M; GALIZONI, F. **Os costumes e a lei: normas de uso e conservação da água nas comunidades rurais do semi-árido de Minas Gerais**. In: III ENCONTRO DAS ÁGUAS, 2001, Chile. Anais. III Encontro das Águas. Santiago: Universidade Santiago de Compostela, Departamento de Engenharia Ambiental, 2001, p. 145-155. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Flavia-Galizoni/publication/228791356_Costumes_ea_lei_normas_de_uso_e_conservacao_da_agua_nas_comunidades_rurais_do_semi-arido_de_Minas_Gerais_Brasil/links/564cac0b08ae635cef2a7fe1/Costumes-ea-lei-normas-de-uso-e-conservacao-da-agua-nas-comunidades-rurais-do-semi-arido-de-Minas-Gerais-Brasil.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de Água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991. 332 p.

ROBIN, V.; TERTREA, E.; BEAUFORT, D.; REGNAULT, O.; SARDINI, P.; DESCOSTE, M. **Ion exchange reactions of major inorganic cations (H⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺) on beidellite: Experimental results and new thermodynamic database. Toward a better prediction of contaminant mobility in natural environments**. Applied Geochemistry. v. 59, p. 74–84, 2015. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/275060411_Ion_exchange_reactions_of_major_inorganic_cations_H_Na_Ca2_Mg2_and_K_on_beidellite_Experimental_results_and_new_thermodynamic_database_Toward_a_better_prediction_of_contaminant_mobility_in_natural_env>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

ROCHA, J. C., ROSA, A.H., CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. 2ª Ed. Porto Alegre. Bookman, 2009.

RODRIGUES, R. F; TREVENZOLI, R. L; SANTOS, L. R. G; LEÃO, V. A; BOTARO, V. R. **Adsorção de Metais Pesados em Serragem de Madeira Tratada com Ácido Cítrico**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.11 - Nº 1 - 21-26. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000100004>>. Acesso em: 12 mai. 2023.

RUTHVEN, D. M. **Fundamentals of adsorption equilibrium and kinetics in microporous solids**. Berlin: Springer, 2008.

SANTOS, P. S. **Ciências e tecnologia de argilas**. 2o ed ed. São Paulo: 1989, 1989. Disponível em: < <https://doceru.com/doc/ecxn1e5>>. Acesso em: 12 de abril de 2023.

SANTOS, T. Z.; ZRA, R. F.; LOBO, V. S.; WEBER, V.; SHEIDT, W. F.; DOTTO, F. **Estudo da utilização de floculantes alternativos e naturais em tratamentos de água**. II ENDICT – Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. 2010, Toledo - Paraná. p.108-111. Disponível em: <<http://meioambientesjp.no.comunidades.net/index.php?pagina>>. Acesso em: 01 mai. 2023.

SCHMIDT, T.M.; GOSS, T.M; AMICO, S.C.; LEKAKOU, C. **Permeability of hybrid reinforcements and Mechanical Properties of their Composites by Resin Transfer Molding**. Journal of Reinforced Plastics and Composites, p. 1-12, 2008.

SILVA, A. B. **Análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, Norte de Minas Gerais**. 1984. 198 f. Dissertação (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44131/tde-03072015-092054/pt-br.php>>. Acesso em: 09 mai. 2023.

SILVA, C. A. **Estudos aplicados ao uso da Moringa oleifera como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26786/1/EstudosAplicadosUso.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2023.

SILVA, D. O.; CARVALHO, A. R. P. **Abrandamento**. 2020. Elaborado por Diego de Oliveira e Silva/Antonio R. P. Carvalho. Disponível em: <<http://kurita.com.br/index.php/artigostecnicos/abrandamento/>>. Acesso em: 06 abril de 2023.

SILVA, R. **Remoção de cádmio e zinco proveniente de efluentes sintéticos: influência do adsorvente**. In: Encontro Brasileiro sobre Adsorção, 12., 2010, Gramado, RS. Anais... Gramado: EBA, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12767/1/RemocaoMetaisPesados_Silva_2010.pdf. Acesso em: 12 mai. 2023.

Silva, R.R. **Carvão ativado a partir do bagaço de cana de açúcar**. Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15929/1/RRS30092019.pdf>>. Acesso em: 25 de jun. de 2023.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C.; ALSINA, O. L. S. **Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, vol.1, p. 27-32, 2007. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/308305019_Utilizacao_do_bagaco_de_cana_de_a_cucar_como_biomassa_adsorvente_na_adsorcao_de_poluentes_organicos>. Acesso em 05 de jun. de 2023.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. 8 ed. São Paulo, 2006. Disponível em:

<https://www.academia.edu/86930715/Fundamentos_de_Quimica_Analitica_Skoog_1>.

Acesso em: 15 de nov. de 2023.

SOARES, L. C. S. R. **Destoxificação biológica do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar para utilização em processos fermentativos**. [Dissertação] Mestrado em Ciências. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Microbiologia Aplicada. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2012. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97132/tde-27082013-153809/publico/BID12002.pdf>>. Acesso em: 03 de jun. de 2023.

SOUTO, R. T., Brandão, F. G., Pinto, M. C. F., & Mourão, M. A. A. (2015). **Estudo comparativo de modelos de determinação da alcalinidade em amostras de água subterrânea**. *Águas Subterrâneas*. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28285>>. Acesso em: 18 de nov. de 2023.

SOUZA, E. **Fundamentos de termodinâmica e cinética química**, v.1, 1ª ed, Minas Gerais: UFMG, 2005.

SRIHARSHA, D.V., LOKESH, K. R., SAVITHA, J.; **Immobilized fungi on Luffacylindrica: An effective biosorbent for the removal of lead**; Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 000, 2017, pag. 1-7. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107017304352?via%3Dihub>>.

Acesso em: 09 mai. 2023.

STOFELA, S. K. F. **Remoção de compostos BTX em argila organofílica por adsorção em fase líquida**. 2014. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

TENEDINI, M. V. **Avaliação da eficiência do tratamento biológico, tipo lodo ativado, de uma indústria de laticínio**. Lajeado - RS, 2016. Disponível em:

<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1403/1/2016MarcosViniciusTenedini.pdf>>.

Acesso em: 02 fev. 2023.

TIRELI, A. A. **Preparação de novos materiais a base de argila natural para aplicação como adsorventes na remediação ambiental**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. Disponível em:

<http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1853/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Prepara%C3%A7%C3%A3o%20de%20novos%20materiais%20a%20base%20de%20argila%20natural%20para%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20como%20adsorventes%20na%20remedia%C3%A7%C3%A3o%20ambiental.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

TOLEDO, B. I. *et al.* **Bisphenol a removal from water by activated carbon, Effects of carbon characteristics and solution chemistry**. Environmental Science Technology, v. 39, p. 6246–6250, 9 jul. 2005. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0481169>>. Acesso em: 2 ABRIL. 2023.

USEPA, U. S. Environmental Protection Agency. (2005). **Field Sampling Manual**. New Jersey: Department of Environmental Protection, 2005. 574 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4.ed. Belo Horizonte: UFMG-DESA, 2014. 452p. (UFMG-DESA. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Disponível em:

<https://www.academia.edu/39149408/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_qualidade_das_%C3%A1guas_e_ao_tratamento_de_esgotos>. Acesso em: 23 abr. 2023.

YANG, J.; SANCHEZ-CORTEZON, E.; PFÄNDER, N.; WILD, U.; MESTL, G.; FIND, J.; SCHLÖG, R.; **Reaction of NO with Carbonaceous Materials: III. Influence of the Structure of the Materials**. Carbon 38, p. 2029-2039, 2000. Disponível em:

<https://www.academia.edu/27096654/Reaction_of_NO_with_carbonaceous_materials_III_Influence_of_the_structure_of_the_materials>. Acesso em: 10 de nov. de 2023.

APÊNDICE A – Questionário de percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

Por favor, responda as questões a seguir com sinceridade. As perguntas indicadas com um asterisco (*) são de preenchimento obrigatório. Seus dados não serão divulgados. Serão coletadas apenas informações pessoais necessárias para verificar a veracidade dos dados.	
Nome	
E-mail	
Sexo	☐ Feminino
	☐ Masculino
Idade	☐ Menos de 18 anos
	☐ 18 a 35 anos
	☐ 36 a 53 anos
	☐ 54 a 64 anos
	☐ acima de 65 anos
Qual seu local de residência?	☐ Ibiracatu
	☐ Bonança
	☐ Campo Alegre
	☐ Vertente
	☐ Traspassa
	☐ Outro (por favor, especifique):
Qual o seu nível de escolaridade?	☐ Ensino fundamental incompleto
	☐ Ensino fundamental completo
	☐ Ensino médio incompleto
	☐ Ensino médio completo
	☐ Ensino superior incompleto
	☐ Ensino superior completo
Qual sua atual situação profissional?	☐ Autônomo
	☐ Desempregado
	☐ Estudante
	☐ Empregado em período integral
	☐ Aposentado
Você possui acesso a água disponibilizada pela companhia de tratamento de água?	☐ Sim
	☐ Não
Em situações em que não é possível utilizar a água fornecida pela companhia de tratamento, como você costuma obter água para suas necessidades?	
Qual sua percepção sobre o acesso à água no seu município?	☐ Muito insatisfeito
	☐ Insatisfeito
	☐ Indiferente
	☐ Satisfeito
	☐ Muito satisfeito
Qual sua percepção sobre a qualidade da água para consumo? Por favor, leve em consideração características como cor, odor, turbidez e sabor.	☐ Muito insatisfeito
	☐ Insatisfeito
	☐ Indiferente
	☐ Satisfeito

Continuação do apêndice A

Por favor, responda as questões a seguir com sinceridade. As perguntas indicadas com um asterisco (*) são de preenchimento obrigatório. Seus dados não serão divulgados. Serão coletadas apenas informações pessoais necessárias para verificar a veracidade dos dados.	
	() Muito satisfeito
Se achar relevante, por favor, compartilhe abaixo quais aspectos justificam sua resposta.	
A água dura é uma situação que incomoda? "Água dura" ou "água com calcário" são expressões populares usadas para descrever a água que contém uma quantidade significativa de minerais, como cálcio e magnésio.	() Concordo totalmente
	() Concordo
	() Nem concordo, nem discordo
	() Discordo
	() Discordo totalmente
Se achar relevante, por favor, compartilhe abaixo quais situações relacionadas à água dura lhe causam incômodo.	
Você consome a água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água? Considere apenas consumo de água potável para beber e cozinhar.	() Sim
	() Às vezes
	() Não
Caso você não consuma a água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água, preencha o campo com sua forma de consumo.	
Já sentiu algum mal-estar relacionado ao consumo de água da região? Selecione uma ou mais respostas	() Nunca senti nenhum mal-estar
	() Diarreia
	() Doenças de pele
	() Pedra nos rins
	() Outra...
A água dura é um problema para as tubulações da casa?	() Concordo totalmente
	() Concordo
	() Nem concordo, nem discordo
	() Discordo
	() Discordo totalmente
Você faz uso de alguma estratégia para minimização da dureza na água?	() Sim
	() Não
Caso faça uso de alguma estratégia, preencha o campo abaixo.	
O que você gostaria que melhorasse em relação à água do seu município?	() Acesso
	() Disponibilidade/Constância
	() Qualidade no tratamento
	() Outra...
Caso tenha algum comentário ou complemento acerca do assunto, sinta-se livre para preencher o campo abaixo.	

Por favor, responda as questões a seguir com sinceridade. As perguntas indicadas com um asterisco (*) são de preenchimento obrigatório. Seus dados não serão divulgados. Serão coletadas apenas informações pessoais necessárias para verificar a veracidade dos dados.

Sua colaboração foi fundamental para enriquecimento e avanço do conhecimento. Suas respostas são confidenciais e serão usadas apenas para fins acadêmicos. Agradecemos novamente pelo apoio e colaboração.

Atenciosamente,

Taynara Lopes

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Se tiver alguma dúvida ou interesse nos resultados finais, entre em contato conosco.

Fonte: Autora (2023).

APÊNDICE B – Ficha para coleta de parâmetros em campo.

Ficha de campo					
Município	Distrito	Entidade Operadora	Abastecimento	Coordenada (UTM)	
Data		Hora			
Volume		Conservante HNO ³	Preservação		
Parâmetros de Campo					
	Hora	Ph	Condutividade	ORP	Temperatura
1°					
2°					
3°					

Fonte: Autora (2023).

APÊNDICE C – Tabela dos Resultados dos parâmetros in situ.

Pontos coletados no município de Ibiracatu																			
PONT O	DISTR ITO	Distribuiçã o	DATA DE COLETA	Hora			pH			Condutividade (us/cm)			ORP (mV)			Temperatura da água (°C)			OBSERVAÇÃO
				hora 1°	hora 2°	hora 3°	ph 1°	pH 2°	pH 3°	CE 1°	CE 2°	CE 3°	ORP 1°	ORP 2°	ORP 3°	T 1°	T 2°	T 3°	
P01	Ibiracatu	Copasa	08/09/2023	08:38	08:41	08:43	6,9	6,8	7,0	779,9	782,2	784,9	222,0	222,0	214,0	25,4	25,4	24,8	Ponto de distribuição da Copasa, área rural.
P02	Campo Alegre	Copasa	08/09/2023	10:19	10:21	10:24	7,2	7,2	7,2	715,5	713,7	713,0	706,0	714,0	702,0	27,1	25,8	26,2	Coletado em uma farmácia, próximo ao hidrômetro.
P03	São Domingos	Copasa	08/09/2023	11:11	11:13	11:16	6,9	6,8	6,7	728,5	724,4	726,2	723,0	729,0	756,0	26,1	26,0	25,8	Coletado em uma mercearia.
P04	Traspas sa	Particular	08/09/2023	12:24	12:27	12:30	6,9	7,2	7,2	719,6	710,4	710,7	320,0	326,0	329,0	26,0	26,1	26,0	Poço artesiano de abastecimento coletivo, possuem captação de água da chuva para consumo.
P05	Ibiracatu	Copasa	08/09/2023	14:47	14:50	14:53	7,23	7,07	7,03	335,5	348,6	334,4	664	681	705	26,6	26,4	26,3	Ponto de distribuição da Copasa, residência em município sede.
P06	Paraterra	Particular	08/09/2023	16:24	16:27	16:30	7,23	7,23	7,17	652	658,4	652,7	338	342	347	28,5	28,5	28,4	Poço artesiano particular de abastecimento coletivo.
P07	Vertentes	Particular	08/09/2023	17:30	17:35	17:38	7,54	7,58	7,62	407	407,2	406,9	336	338	337	27,9	27,6	27,6	Poço artesiano particular de abastecimento coletivo. Em períodos de seca o distrito enfrenta escassez hídrica, sendo necessário que a prefeitura disponibilize caminhão pipa.
P08	Quatis	Copasa	09/09/2023	10:21	10:26	10:30	7,65	7,75	7,77	300,3	302,1	299,5	290	295	299,5	26,5	26,3	25,7	Ponto em propriedade particular utilizado pela Copasa para distribuição e abastecimento de parte do município.
P08 - DP	Quatis	Copasa	09/09/2023	10:40	10:42	10:45	7,51	7,69	7,8	300,2	300,7	300	255	251	255	25,4	25,7	26	Ponto em propriedade particular utilizado pela Copasa para distribuição e abastecimento de parte do município.
P09	Bonança	Copasa	09/09/2023	14:52	14:57	15:02	7,54	7,56	7,57	436,4	437,7	438,3	652	656	669	28,7	28,3	29,4	Ponto de distribuição da Copasa, residência em distrito pertencente ao município.

Fonte: Autora (2023).

ANEXO A - Resultados do questionário de percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu – MG.

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

Geral



Nome da pesquisa

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG



Autor



Idioma



Português Brasileiro



URL da pesquisa

<https://www.survio.com/survey/d/T1E2H7W4L8R3Y1G2L>



Primeira resposta

24/08/2023



Última resposta

09/09/2023



Duração

17 dias

Fonte: Survio (2023).

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

Visitas do questionário

97

Total
de visitas

32

Respostas
prontas

0

Respostas
inacabadas

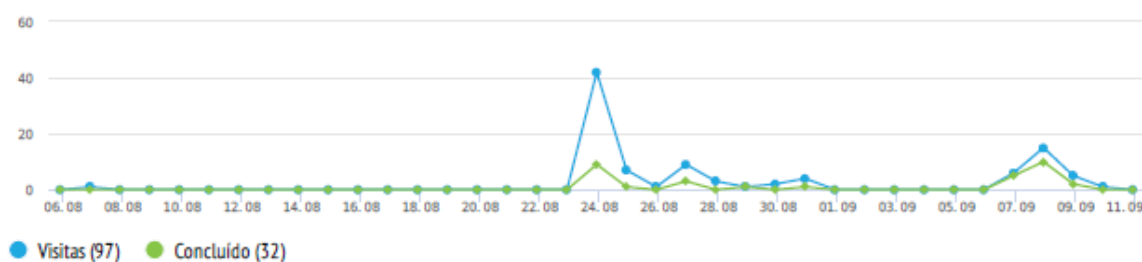
65

Apenas
mostrando

33,0%

Sucesso
geral

Histórico de visitas (24/08/2023 – 09/09/2023)

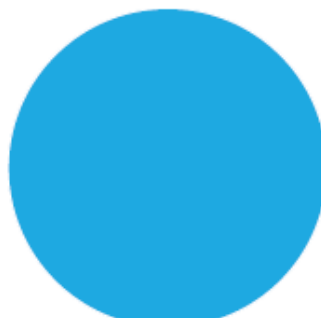


Total de Acessos



● Apenas mostrando (67,0 %)
● Concluído (33,0 %)
● Incompleto (0,0 %)

Fontes de visitas



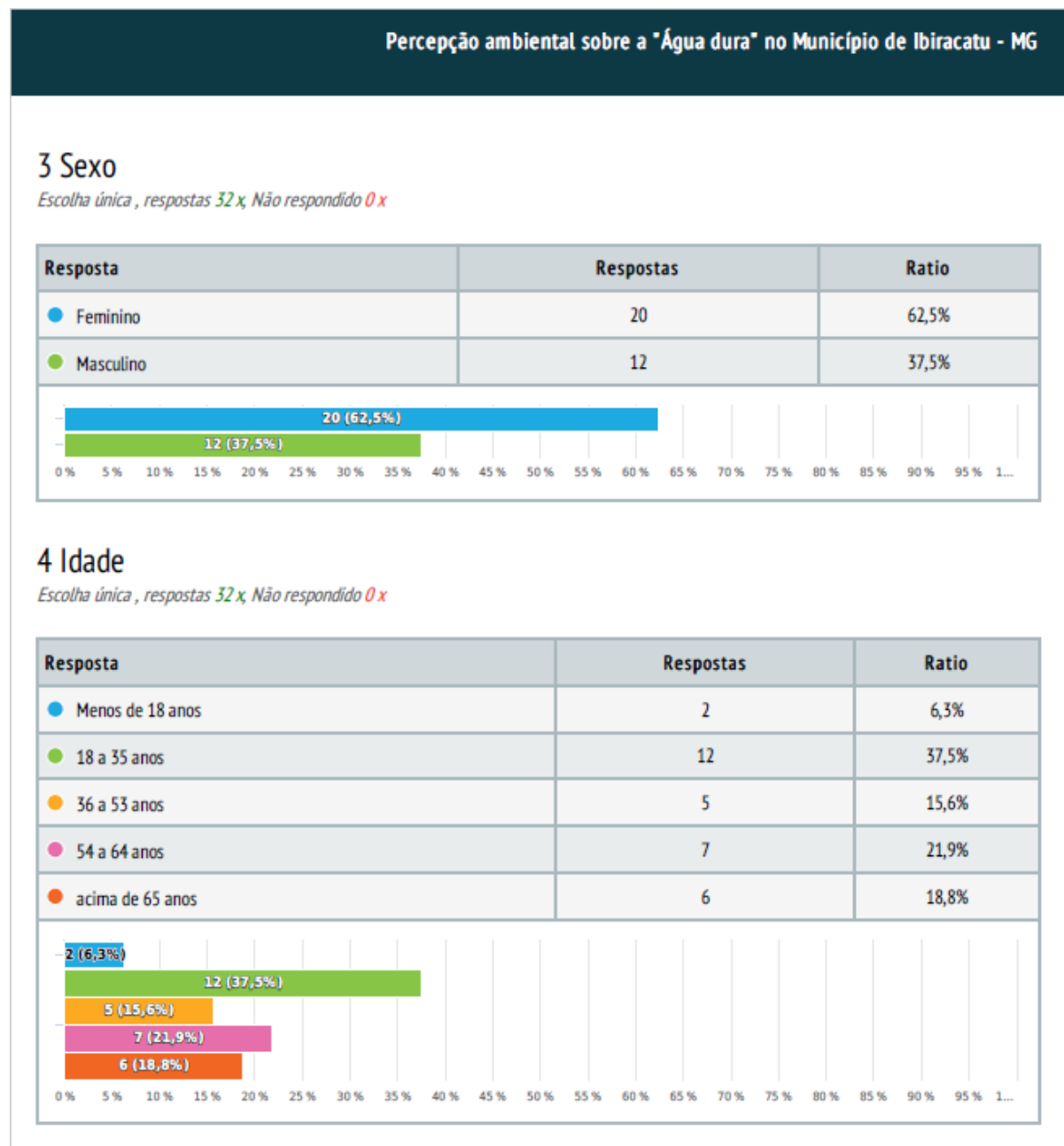
● Link direto (100,0 %)

Tempo médio de realização



● 2-5 min. (25,0 %)
● 5-10 min. (28,1 %)
● 10-30 min. (46,9 %)

Fonte: Survio (2023).

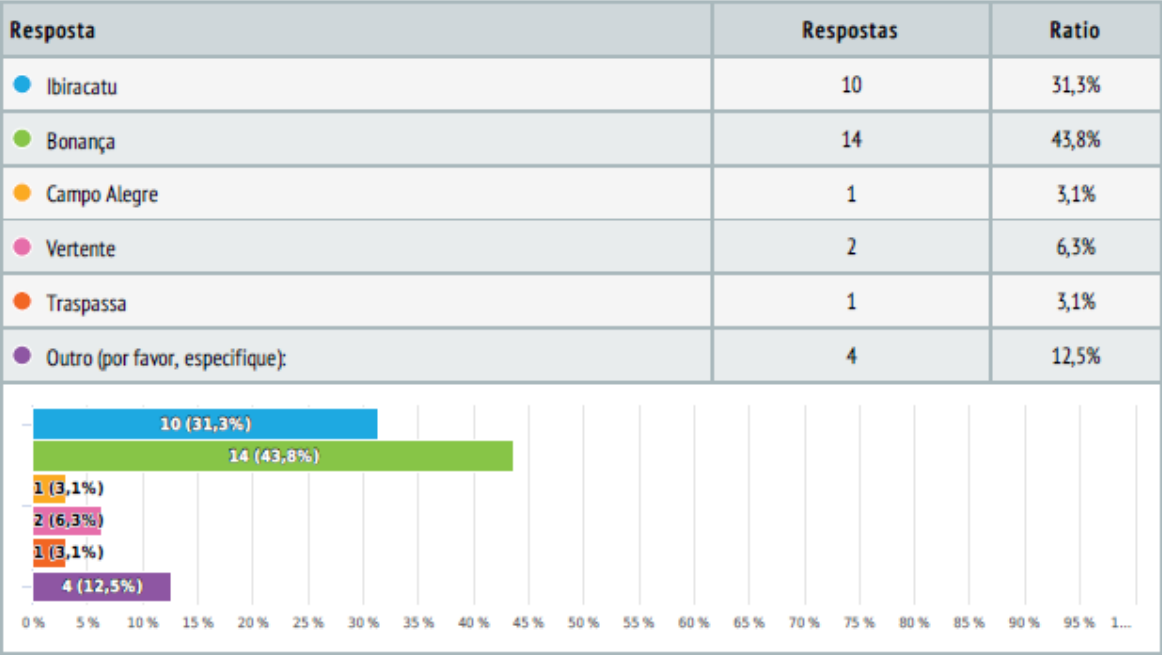


Fonte: Survio (2023).

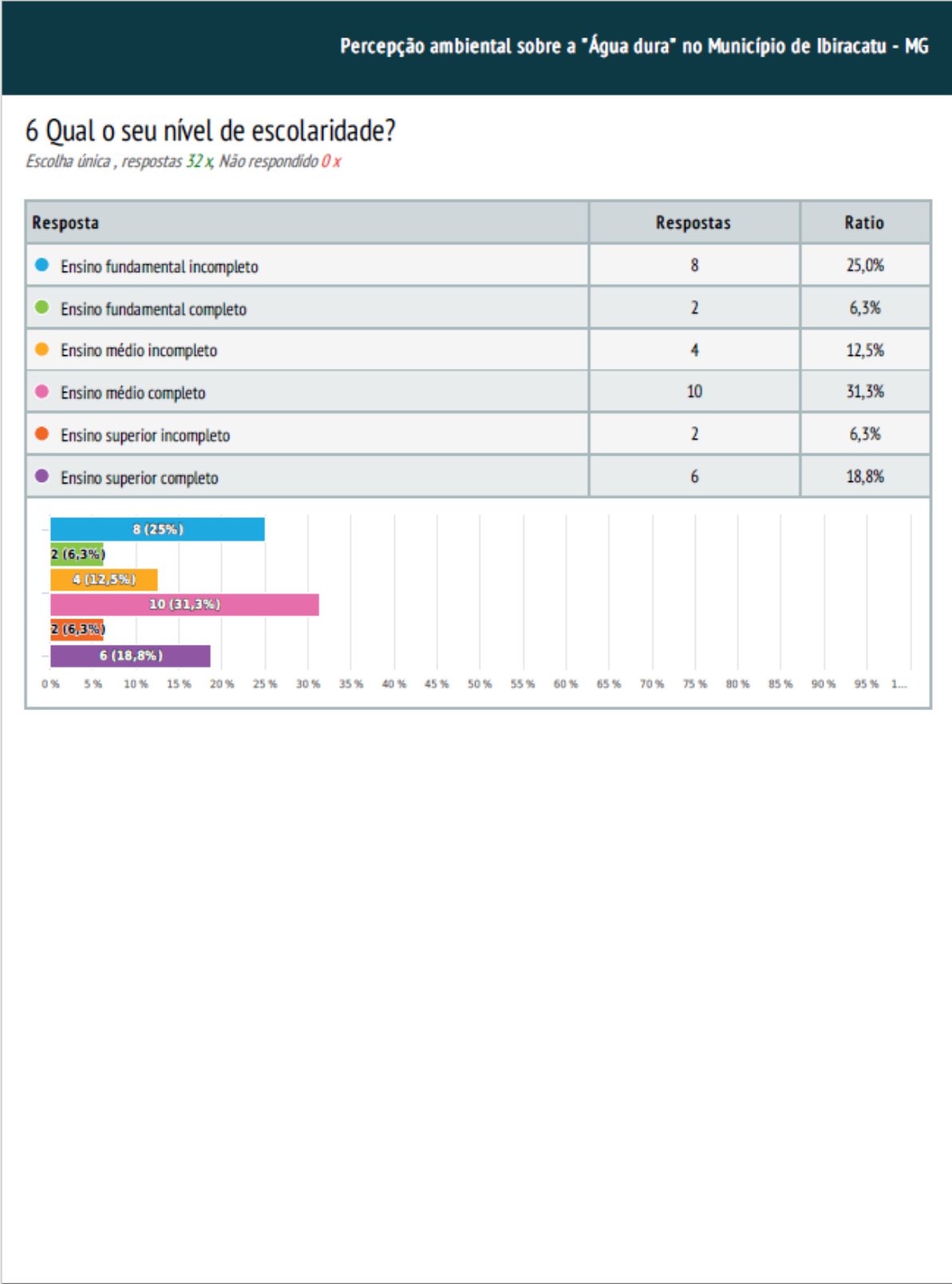
Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

5 Qual seu local de residência?

Escolha única , respostas 32 x, Não respondido 0 x



Fonte: Survio (2023).

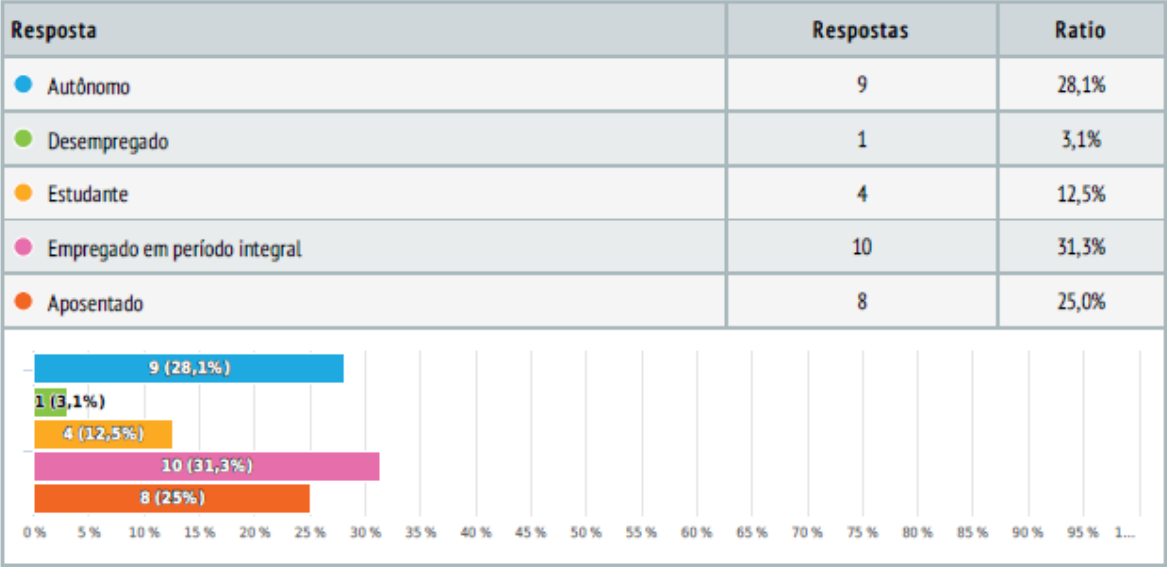


Fonte: Survio (2023).

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

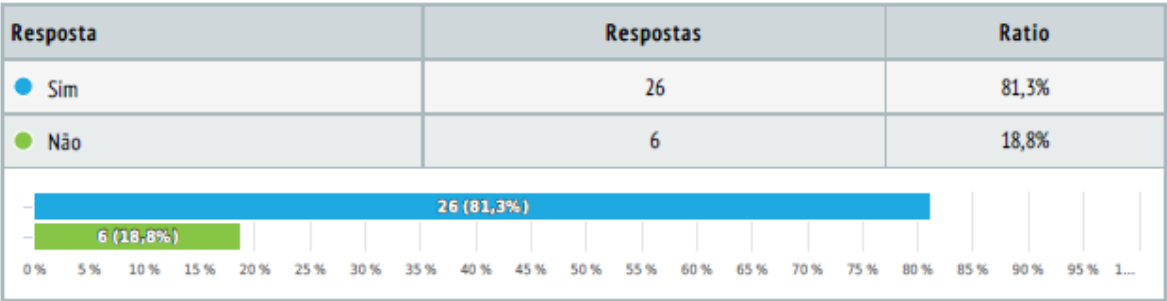
7 Qual sua atual situação profissional?

Escolha única , respostas 32 x, Não respondido 0 x



8 Você possui acesso à água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água?

Escolha única , respostas 32 x, Não respondido 0 x



9 Em situações em que não é possível utilizar a água fornecida pela Companhia de Tratamento, como você costuma obter água para suas necessidades?

Texto de resposta , respostas 32 x, Não respondido 0 x

- (10x)
- Água armazenada em caixas, ou pega em outra comunidade
- Água comprada.(mineral)
- Água da chuva!! Poco artesiano particular
- A prefeitura faz a entregas nas casas usando o carro pipa.

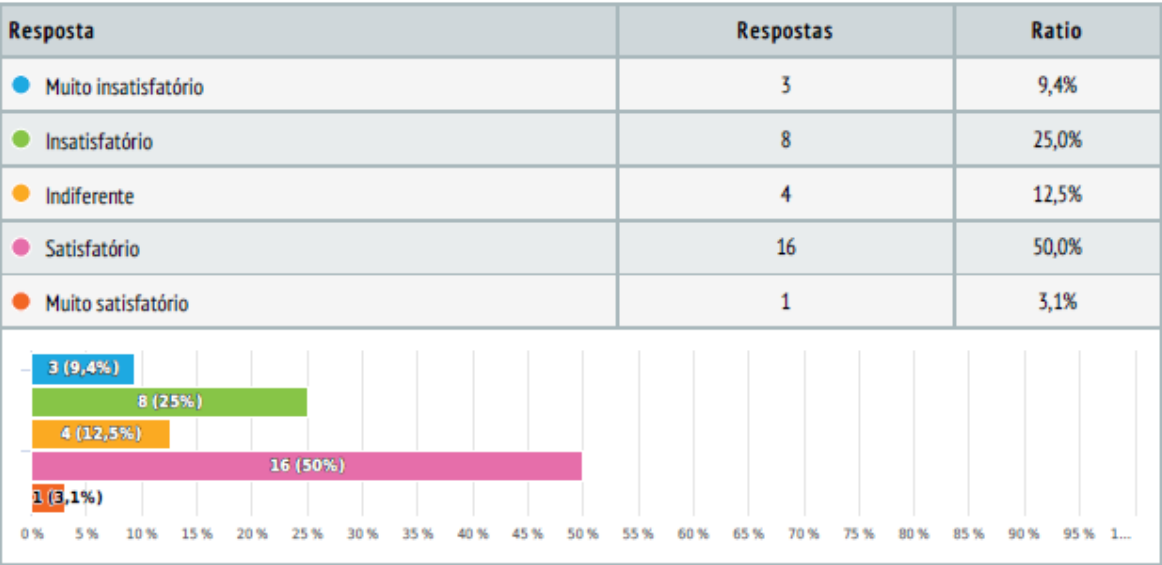
Fonte: Survio (2023).

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

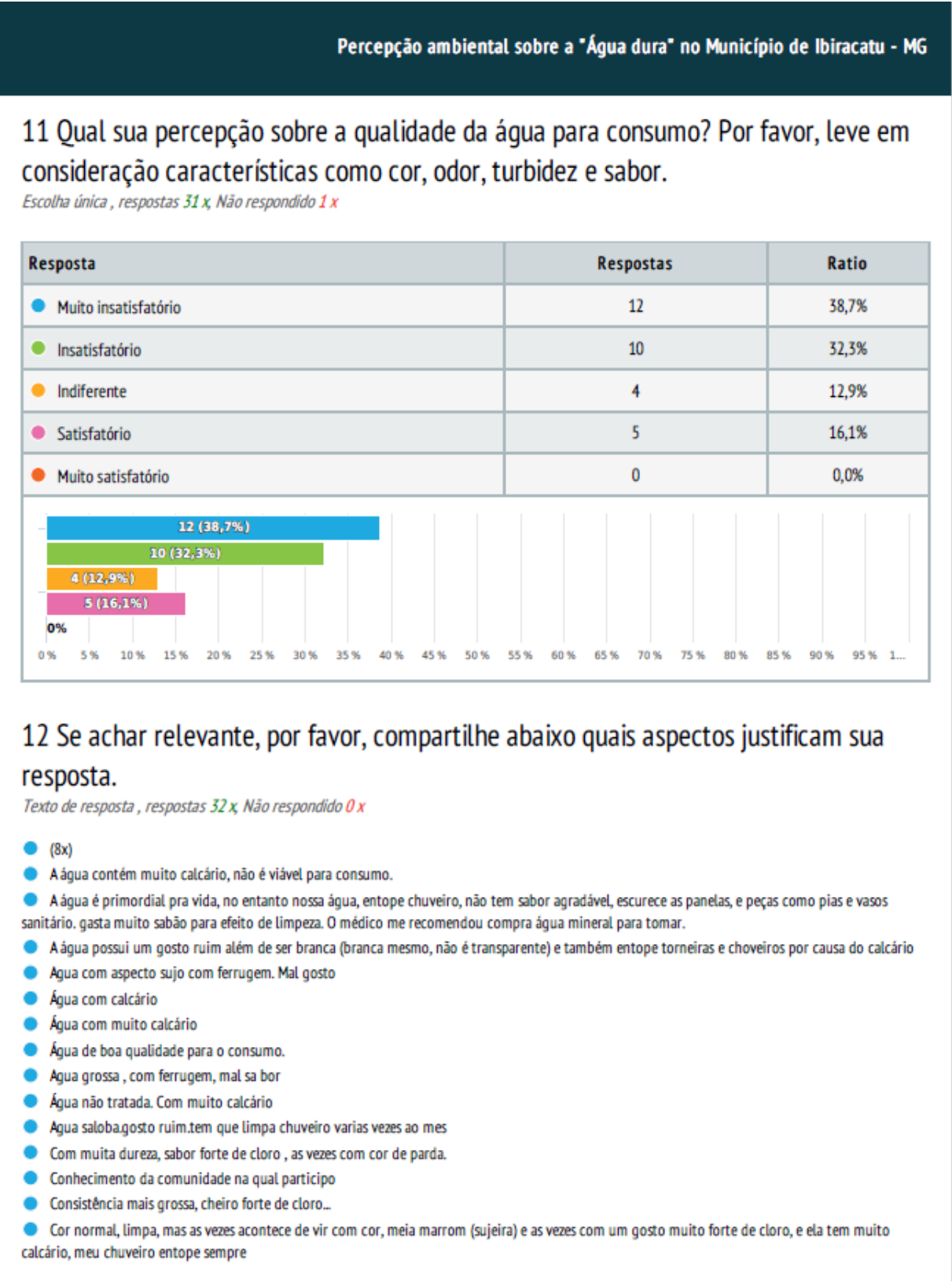
- Comprando água mineral
- Direto do poço artesiano
- Em nascentes próximo a comunidade ou adquirida nas cidades vizinhas e ou coletada da chuva.
- Eu uso água da chuva
- Fornecida pela pipa
- Lagoa
- Não
- Para beber e preparar alimentos
- Para o consumo água mineral e para as demais necessidades água da companhia
- Pipa
- Poço Artesiano comunitário
- Poço artesiano da comunidade
- Poco artesiano de rua
- Posso artesiano perfurado pela associação comunitária
- Procurar em outra localidade, ou abastecimento da pipa do município
- Reservatórios em c x. Ou caminhão pipa
- Uma caixa d'água pequena
- Usa agua da copasa

10 Qual sua percepção sobre o acesso a água no seu município?

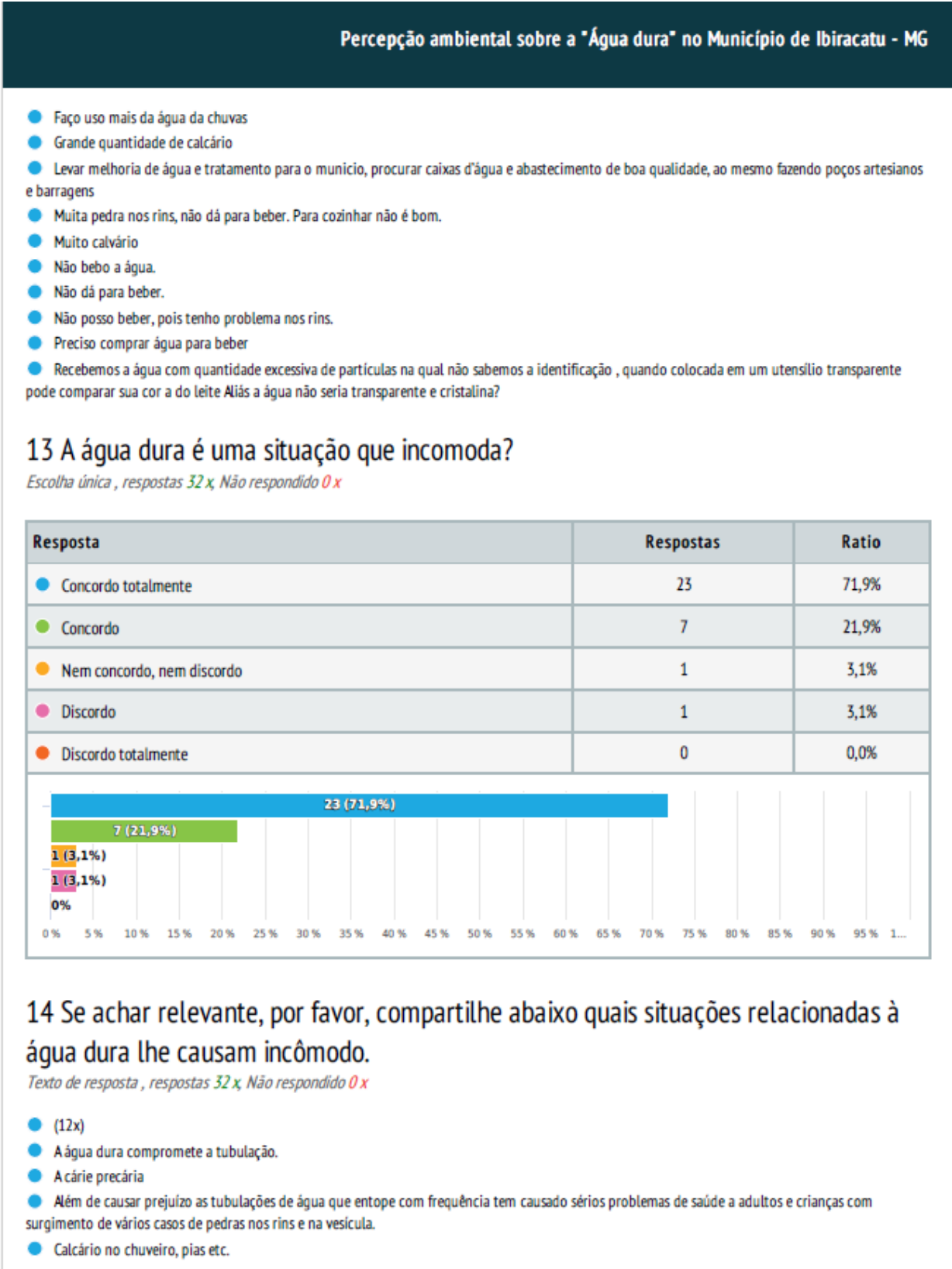
Escolha única , respostas 32 x, Não respondido 0 x



Fonte: Survio (2023).



Fonte: Survio (2023).

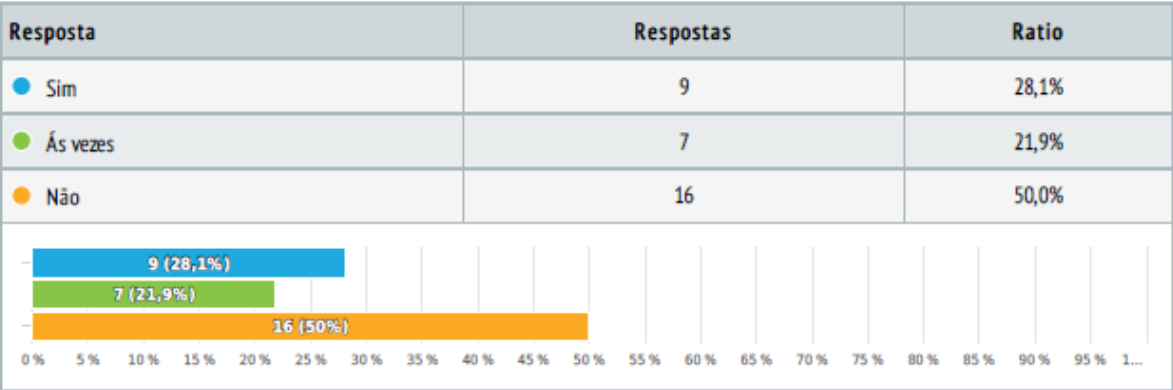


Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

- Deixa a pele áspera, sabor desagradável, entope os canos.
- Entope o chuveiro, todo mês tem que trocar. Chuveiro queima.
- Entope vasos sanitários e chuveiros constantemente e até a tubulação, causando pressão , que consequentemente poderá aumentar as contas de água, sem ter feito uso da quantidade usada.
- Entupimento da tubulação, chuveiro, mancha peças como pia e vaso sanitário.vasilhas ao ferver a água a panela escurece. Ao lavar roupa,o sabão não espuma. Ao tomar banho,a sensação que não estamos limpos.
- Entupimento de chuveiros, canos, caixas d'água suja, paredes onde bate água encardidas de calcário
- Escurese panelad, compromete as tubulações
- Faz mal pra saúde
- Gosto horrível. Entope tubulacao
- Gosto ruim, cor, além do calcário entupir chuveiro e etc ainda temos mais chances de ter pedra nos rins se for consumida a água
- Não posso beber a água por causa de pedra nos rins.
- O gosto, o mal que pode causar.
- Para uso em geral, o que mais incomoda é para o consumo humano (pra beber)
- Por causa do gosto.
- Roupa, saúde, ataca os rins.
- Sabor, prejuízo para saúde, entope as tubulações.
- Tem que limpar muito.

15 Você consome a água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água?

Escolha única , respostas 32 x, Não respondido 0 x



16 Caso você não consuma a água disponibilizada pela Companhia de Tratamento de Água, preencha o campo abaixo com sua forma de consumo.

Texto de resposta , respostas 32 x, Não respondido 0 x

- (15x)
- Água da copasa é para os afazeres domésticos. Para beber é agua comprada.
- Água de consumo é posso particular da comunidade e ou coletada das chuvas.
- Água comprada no mercado
- Água mineral

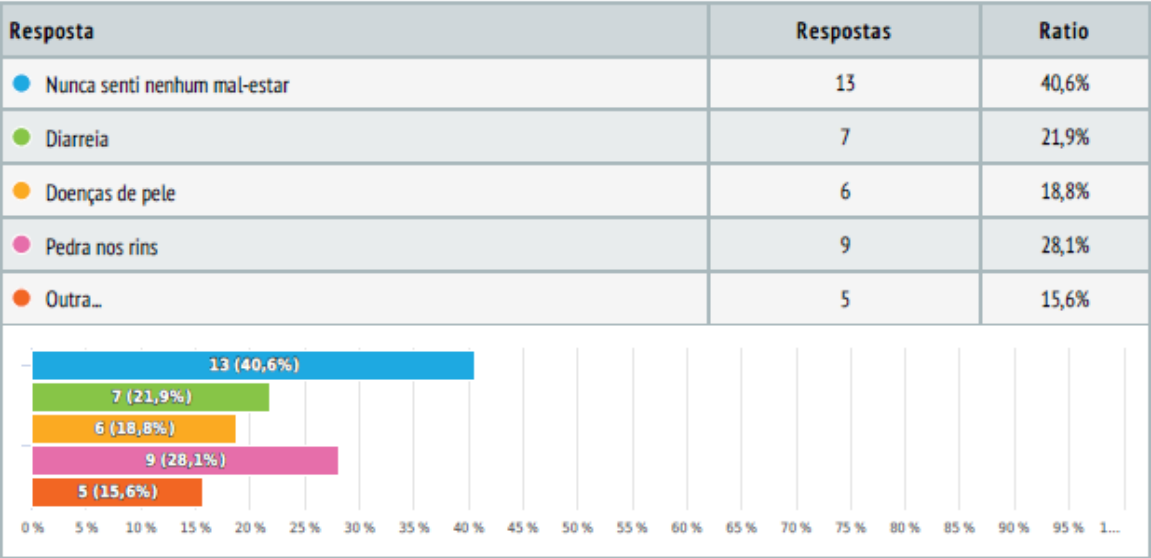
Fonte: Survio (2023).

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

- As vezes compro
- Compro água
- Compro água mineral
- (4x) Compro água mineral.
- Compro galão de água mineral
- Na maioria das vezes tenho que comprar agua
- Nós compramos água mineral.
- Para beber eu não consumo, tive pedras nos rins, e o médico proibiu o consumo de água da copasa para beber.
- Poço artesiano comunitário
- Tenho que comprar garrações de água mineral No período de chuva consumo água armazenada da chuva já que o custo extra com compra de galões comprometem o orçamento

17 Já sentiu algum mal-estar relacionado ao consumo de água da região?

Múltipla escolha , respostas 32 x, Não respondido 0 x

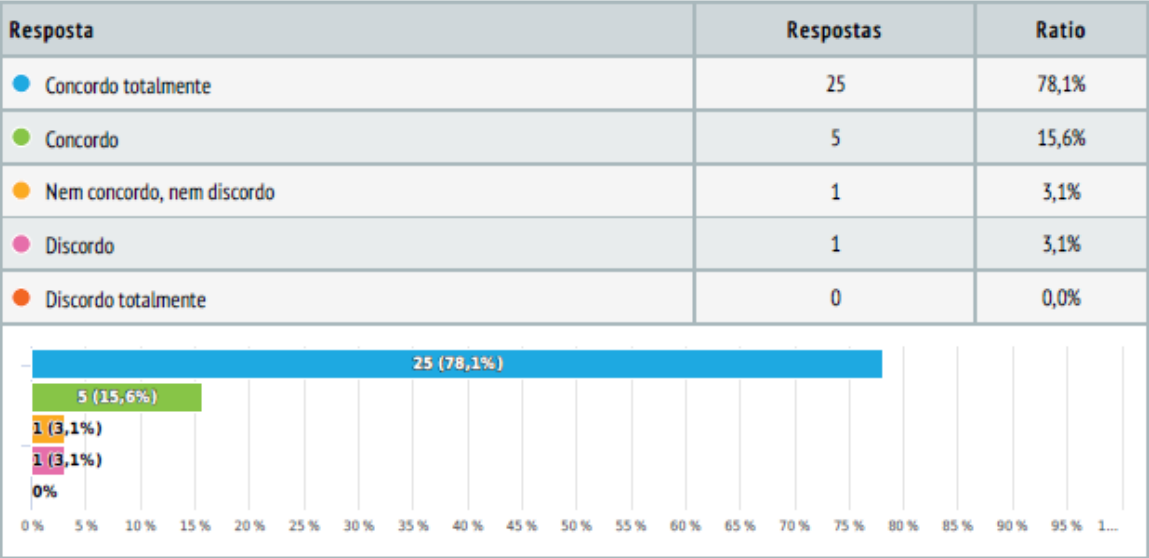


Fonte: Survio (2023).

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

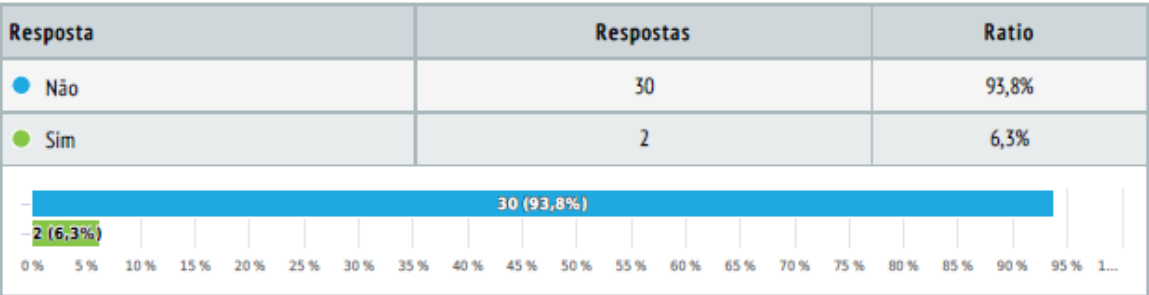
18 A água dura é um problema para as tubulações da casa?

Escolha única , respostas 32 x, Não respondido 0 x



19 Você faz uso de alguma estratégia para minimização da dureza na água?

Escolha única , respostas 32 x, Não respondido 0 x

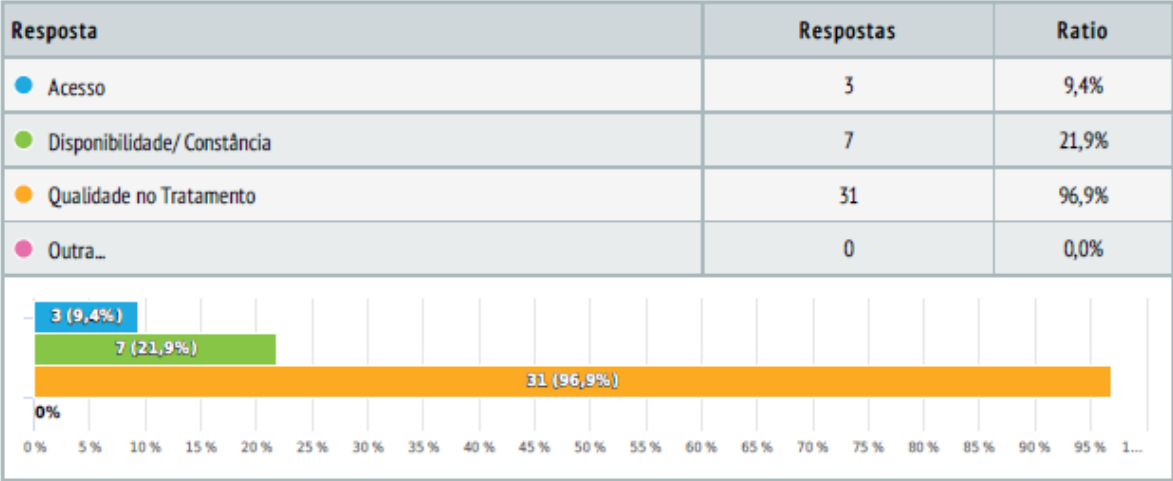


Fonte: Survio (2023).

Percepção ambiental sobre a "Água dura" no Município de Ibiracatu - MG

20 O que você gostaria que melhorasse em relação à água do seu município?

Múltipla escolha , respostas 32 x, Não respondido 0 x



21 Caso tenha algum comentário ou complemento acerca do assunto, sinta-se livre para preencher o campo abaixo.

Texto de resposta , respostas 32 x, Não respondido 0 x

- (21x)
- A água é muito calcária, não dá para beber, pode resultar em problemas de saúde.
- Água dura realmente, não é muito saudável para se ingerida eu particularmente para beber uso a meneral.
- Acho que temque tratar da agua para que agente possa beber.entope os chuveiro e encanamentos e muita ferrugem
- Estou com duas pedras nos rins.
- Gostaria de uma assiatencia para tratamenta que diminua a quantidade de calcário na agua.
- Gostaria q a copasa tomasse as devidas providência para trazer água de qualidade para nossa comunidade.
- Gostaria que tratassem a água, pra melhorar.
- Melhoria ! Na agua dos pocos artiano.Porque agente gasta muito
- Muita gente do município com problema de saúde, alto custo na compra de água mineral que é cara
- Muito caro a água
- Sabemos que cada vez mais o acesso a água tem ficado mais difícil devido aos efeitos degradantes do meio ambiente. Nossa região pode se dizer que tem uma boa porcentagem pluviométrica que possibilitaria a capacitação de água necessária para o abastecimento da população sugerindo assim investimentos na criação de barragens estratégicas através de estudos bem elaborados para garantir suficiência e evitar impactos ambientais além de políticas de uso consciente deste bem precioso e indispensável .