



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BALSAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ROGER MULLER SARAIVA DE SOUSA

**CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE GÁS CARBÔNICO PARA A REDUÇÃO DA
DUREZA DE ÁGUA DE POÇOS LOCALIZADOS NA CIDADE DE BALSAS-MA**

BALSAS
2021



ROGER MULLER SARAIVA DE SOUSA

CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE GÁS CARBÔNICO PARA A REDUÇÃO DA DUREZA DE ÁGUA DE POÇOS LOCALIZADOS NA CIDADE DE BALSAS-MA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão Campus Balsas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Aderlanio da Silva Cardoso

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Saraiva de Sousa, Roger Muller.

Captura e armazenamento de gás carbônico para a redução da dureza da água de poços localizados na cidade de Balsas-MA / Roger Muller Saraiva de Sousa. - 2021.

52 f.

Orientador(a): Aderlanio da Silva Cardoso.

Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, Balsas-MA, 2021.

1. Água subterrânea. 2. Captura e armazenamento de carbono. 3. Dureza. I. da Silva Cardoso, Aderlanio. II. Título.

ROGER MULLER SARAIVA DE SOUSA

CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE GÁS CARBÔNICO PARA A REDUÇÃO DA DUREZA DE ÁGUA DE POÇOS LOCALIZADOS NA CIDADE DE BALSAS-MA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão Campus Balsas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

Banca Examinadora

Professor Dr. Aderlanio da Silva Cardoso
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
(Orientador)

Professora Dra. Alana Gandra Lima de Moura
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
(1ª examinadora)

Professora Dra. Debora Batista Pinheiro Sousa
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
(2ª examinadora)

A minha família, especialmente minha esposa, pais e irmãos, pelo incessante incentivo e sensata compreensão nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tão bondosamente ter me concedido a possibilidade de concretizar tal conquista.

A Universidade Federal do Maranhão (UFMA), representada pelo meu orientador, professor e amigo Aderlanio da Silva Cardoso, por todo o seu corpo de colaboradores, em especial o corpo docente, e a Coordenação, pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos meus colegas de classe, pois sem eles as aulas não seriam as mesmas, juntos aprendemos a aprender, criando laços amistosos que jamais pensei ser possível com pessoas que até então não conhecia.

Aos meus amigos e minha Família, especialmente a minha esposa Jéssica Conceição Brito de Lima, por serem tão cautelosos e sensatos me apoiando sempre no que foi preciso.

A todos que direta ou indiretamente incidiram influência para este trabalho, recebam neste ato, meus sinceros agradecimentos, pois me proporcionaram a plena realização deste de forma produtiva e proveitosa.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico da qualidade da água proveniente de poços artesianos municipais, bem como propor um método químico para reduzir a dureza da água proveniente de poços localizados em três bairros na cidade de Balsas-MA a partir do uso de um método alternativo de tratamento da água com o uso de CO_2 para promover a remoção de metais Ca^+ e Mg^+ a partir da formação e precipitação de carbonatos. Para avaliar a qualidade da água desses poços foram analisados os parâmetros físico-químicos como o pH, temperatura, condutividade (C), salinidade (S), resistividade (R), sólidos totais dissolvidos (STD), dureza total, cálcio e magnésio e oxigênio dissolvido. Após a caracterização, o bairro que apontou maior índice de dureza, foi selecionado para a realização dos testes de redução da dureza total, Ca^{2+} e Mg^{2+} . Observou-se que existe uma grande reclamação por parte da população consumidora da água, de que ela possui um gosto ruim e apresenta dificuldades quando utilizada para a limpeza de objetos e na higiene pessoal. O tratamento alternativo proposto e realizado proporcionou uma queda nos índices de dureza, influenciada pela temperatura e pH do tratamento. Havendo uma redução entre 10% e 23% na dureza total, demonstrando que a redução da dureza aumenta conforme se aumenta a temperatura do procedimento (de 40 °C para 60 °C, respectivamente). Após o tratamento foi possível perceber a formação de sólidos. Apesar de ter teores de dureza que estabeleçam a sua água como sendo dura, o bairro Açucena Nova possui água dentro dos parâmetros máximos permitidos pela legislação vigente. Mesmo assim, se torna necessário um tratamento eficaz para fazer com que a água apresente uma melhor qualidade para o consumo. A carbonatação é uma opção que pode ser utilizada para tal finalidade tendo em vista que foram obtidos resultados favoráveis a redução da dureza da água.

Palavras-chave: Água subterrânea. Dureza. Captura e armazenamento de carbono.

ABSTRACT

This work aimed to carry out a diagnosis of the quality of water from some municipal artesian wells, as well as to propose a chemical method to reduce the hardness of water from wells located in three districts in the city of Balsas-MA using an alternative method of water treatment with CO₂ to promote the removal of Ca⁺ and Mg⁺ metals, promoting carbonate formation and precipitation. To assess the water quality of these wells, physicochemical parameters such as pH, temperature, conductivity (C), salinity (S), resistivity (R), total dissolved solids (STD), total hardness, calcium and magnesium and Dissolved oxygen. After characterization, the neighborhood that showed the highest hardness index was selected to perform the total hardness reduction tests, Ca²⁺ and Mg²⁺. It was observed that there is a big complaint on the part of the population that consumes the water, that it has a bad taste and presents difficulties when used for cleaning objects and in personal hygiene. The alternative treatment proposed and carried out provided a drop in hardness indexes, influenced by the temperature and pH of the treatment. There is a reduction between 10% and 23% in total hardness, demonstrating that the reduction in hardness increases as the procedure temperature increases (from 40 °C to 60 °C, respectively). After the treatment it was possible to notice the formation of solids. Despite having hardness levels that establish its water as being hard, the Açucena Nova neighborhood has water within the maximum parameters allowed by current legislation. Even so, it is necessary an effective treatment to make the water present a better quality for consumption. Carbonation is an option that can be used for this purpose, considering that favorable results were obtained for the reduction of water hardness.

Keywords: Underground water. Hardness. Carbon capture and storage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. As 7 cunhas para Mitigação das Alterações Climáticas (traduzido).....	20
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.....	24
Figura 3. Análises das amostras de água coletadas.....	26
Figura 4. Sistema de redução da dureza de água de poço artesiano. A: sistema gerador de CO ₂	27
Figura 5. Origem da água disponível.	28
Figura 6. Percepção da população sobre a qualidade da água.	29
Figura 7. Consumo de água da torneira.....	30
Figura 8. Adoção de filtro para utilizar água da torneira.....	31
Figura 9. Graus de dureza das amostras dos poços artesianos estudados em junho.	33
Figura 10. Graus de dureza das amostras dos poços artesianos estudados em julho.	33
Figura 11. Comportamento do pH após o tratamento a 40 °C e 60 °C.....	35
Figura 12. Dureza total antes e após o tratamento a 40 °C.....	36
Figura 13. Dureza total antes e após o tratamento a 60 °C.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação da água quanto ao grau de dureza.....	18
Tabela 2. Parâmetros analisados das amostras de água coletadas em junho.....	31
Tabela 3. Parâmetros analisados das amostras de água coletadas em julho.	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo geral	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1	Características e usos das águas subterrâneas	11
3.2	Características da bacia hidrográfica e lençol subterrâneo da região de Balsas- MA	13
3.3	Processos de tratamento e padrão de potabilidade da água subterrânea	14
3.4	Problemas relacionados ao consumo de água subterrânea com alta dureza	17
3.5	Uso de gás carbônico no processo de tratamento de água subterrânea	19
3.5.1	A importância do processo de captura e armazenamento de CO ₂	19
3.5.2	Remoção de sais contidos em água subterrânea com o uso de CO ₂	21
4	METODOLOGIA	24
4.1	Caracterização da área de estudo	24
4.2	Questionário sobre o consumo de água e saneamento ambiental da população localizada nos bairros selecionados	25
4.3	Coleta e análise de amostras de água	25
4.4	Desenvolvimento de um sistema de redução da dureza de água de poço artesiano	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1	Questionário sobre o consumo de água e saneamento ambiental da população localizada nos bairros selecionados	28
5.2	Coleta e análise das amostras de água	31
5.3	Desenvolvimento de um sistema de redução da dureza de água de poço artesiano	34
6.	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICES	43
	APÊNDICE A: Questionário	43
	APÊNDICE B: Comparação da Dureza Ca à 40 °C e 60 °C	46
	APÊNDICE C: Comparação da Dureza Mg à 40 °C e 60 °C	47
	APÊNDICE D: Comparação do TDS e Condutividade à 40 °C e 60 °C	48

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos principais elementos que fomentam e proporcionam a manutenção da vida na terra e está sendo consumida e degradada em um ritmo muito acelerado o que reflete em sua escassez exacerbada em muitas regiões no mundo inteiro. A nível de abastecimento, a água potável tem sofrido consideravelmente em função da contaminação e uso inadequado fomentando ambientes com estresse hídrico e implicando diretamente na produção de energia (SINGH et al., 2021).

A energia é um elemento fundamental para o desenvolvimento econômico, assim como para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável. O aumento do consumo energético se deu em função do desenvolvimento das sociedades humanas, em escala global, a partir dos séculos XX e XXI o que tem provocado um aumento considerável das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Devido ao consumismo exacerbado, que foi potencializado pelo crescimento populacional, aumento da expectativa de vida e crescimento econômico, houve a necessidade de se produzir e comercializar itens em larga escala evidenciando o aumento da demanda energética. Sendo que as principais fontes de energia são provenientes da queima de combustíveis fósseis (REIS, 2013).

As ações antropogênicas têm potencializado as alterações climáticas, por mais que estas venham ocorrendo ao longo de milhares de anos na Terra de forma natural. Nos últimos anos, em função da alta demanda energética, o ritmo destas alterações tem acelerado e tomado proporções cada vez maiores o que requer uma certa atenção em relação a degradação dos recursos naturais e sua disponibilidade. O segmento energético é responsável por inúmeros impactos ambientais, entre eles temos as alterações no clima e o conseqüente aquecimento global. No que tange as alterações climáticas, os principais responsáveis são os gases de efeito estufa que tem como principal constituinte o dióxido de carbono (CO_2) (NARAYANAN, 2012).

Em função dessas problemáticas, temos buscado cada vez mais alternativas para contornar esse problema, entre eles temos a extração de água subterrânea para

o abastecimento doméstico e industrial. Além de sua vasta disponibilidade, são de boa qualidade natural e se encontram protegidos da degradação. Porém, pode conter uma alta concentração de sais, entre eles os de cálcio e magnésio, por estarem em contato direto com materiais solúveis das rochas e do solo no seu entorno e nas áreas de recarga e dessa forma apresentando um alto teor de dureza (CORDEIRO, 2012).

A captura e armazenamento de CO₂ (CAC) é um sistema de tecnologias que se subdivide em: captura de CO₂, transporte e armazenamento de CO₂. Na captura ocorre a separação de CO₂ de outros gases, o transporte de CO₂ se dá através de sua compressão e logística, que em sua grande maioria se dá pelo modal dutoviário. E no armazenamento de CO₂ temos entre os principais métodos a injeção de CO₂ nas formações geológicas subterrâneas (REIS, 2013).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o método de remoção da dureza da água proveniente de alguns poços localizados na cidade de Balsas-MA através de um método alternativo de tratamento da água com uso de CO₂ a partir da formação e precipitação de carbonatos. Contornando o problema da qualidade da água da região ao mesmo passo que promove a redução do CO₂ disperso na atmosfera.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Reduzir a dureza da água oriunda de poços localizados na cidade de Balsas-MA a partir do uso de um método alternativo de tratamento da água com uso de CO₂ a partir da formação e precipitação de carbonatos.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar de forma física e química as amostras de água de três bairros abastecidos por poços artesianos localizados na cidade de Balsas-MA.
- Coletar amostras para tratamento a fim de reduzir a dureza das amostras de água dos poços.

-
- Utilizar o CO₂ para a formação de carbonatos a fim de reduzir a dureza de água de poços.
 - Caracterizar de física e química a água pós-tratamento químico com CO₂.
 - Caracterizar a forma de consumo de água feita pela população de três bairros localizados na cidade de Balsas-MA.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Características e usos das águas subterrâneas

Toda água que ocorre abaixo da superfície da terra é considerada água subterrânea, que se distribui em diferentes tipos de aquíferos, diferenciados por características hidrogeológicas que refletem no seu rendimento, como o tipo de rocha e a forma de circulação da água. As águas subterrâneas ocupam aproximadamente 30% da água doce disponível no nosso planeta, constituindo o ciclo hidrológico, a água está em constante circulação e, de modo geral, flui paulatinamente pelos poros das rochas (SILVA, 2003).

Os aquíferos possuem, simultaneamente, rochas com características porosas e permeáveis e impermeáveis que constituem estruturas geológicas capazes de armazenar e ceder água. A permeabilidade influencia no fluxo da água, enquanto a porosidade é a propriedade que determina a quantidade de água que pode ser depositada em uma rocha, ela é estabelecida pelo volume de poros vazios em função do volume total da rocha (IRITANI; EZAKI, 2012).

É extremamente difícil definir uma classificação para o uso da água subterrânea que possa ser utilizada em qualquer condição ou localização geográfica. Os riscos a serem considerados quando se avalia a adequabilidade determinado uso da água são, principalmente, os riscos de salinização, solidificação e alcalinização por carbonatos, aspectos tóxicos em função dos cloretos de sódio e a alta concentração de sais de baixa solubilidade (FAO/UNESCO, 1973, p. 177-205 apud ANDRADE JÚNIOR, 2006, p. 873-880).

Em linhas gerais, a água de origem subterrânea tem grau de poluição menor em consequência disso recebem menos tratamento em uma Estação de Tratamento de Água (ETA). De acordo com o solo de onde haverá a perfuração para captação de água subterrânea ela pode se encontrar com elevadas concentrações de sais dissolvidos, ou seja, elevado nível de dureza. Além de poder estar contaminada, dependendo do local de instalação do poço, em virtude de fossas sépticas, postos de combustíveis e outros (BRASIL, 2006a).

No Brasil, 52% dos municípios utilizam águas subterrâneas para seu abastecimento, destes, 30% são para abastecimento doméstico. Em termos populacionais, 82,3% da população é abastecida por fontes superficiais, enquanto 17,7% são atendidos pelas águas subterrâneas. Por mais que pareça pouco, é importante salientar que levou-se em consideração um número estimado de poços tubulares, devido ao fato de 88% deles serem clandestinos (HIRATA, 2019). As águas subterrâneas são extraídas através de poços tubulares (artesianos ou semiartesianos), poços escavados e de nascentes. Entretanto, se desconhece o número real de poços no país, mesmo com a obrigatoriedade perante lei do registro e autorização de extração de água (outorga) (HIRATA, 2019). Devido a isso, a quantidade de água subterrânea extraída fica condicionada a um valor aproximado em função da falta de dados oficiais.

O direito de todos os cidadãos residentes em domicílios brasileiros ao serviço público de abastecimento de água potável é previsto na Lei Nacional de Saneamento Básico (LNSB), Lei de nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que reconhece, no seu Art. 3º, III, que tal serviço deve ser concretizado de forma progressiva de acordo com o previsto nos planos de saneamento básico de cada município (RIBEIRO, 2018). Para garantir essa potabilidade, foram determinados diversos parâmetros de qualidade os quais devem ser atendidos para proporcionar a distribuição de água com características adequadas ao consumo humano.

É nítido o aumento da demanda por águas subterrâneas, por ser mais econômica. Porém, em virtude das características geológicas do solo brasileiro, se

torna necessário que a abertura de um poço seja precedida de um estudo geológico, com o propósito de se estabelecer as características físicas, químicas e biológicas da água bruta (ABAS, 2015).

3.2 Características da bacia hidrográfica e lençol subterrâneo da região de Balsas-MA

A cidade de Balsas, Maranhão, com população estimada de 96.951 habitantes (1,36%, de representatividade no estado) é uma das sub-bacias que mais se destacam em termos de contribuição com a vazão do Parnaíba (MOTTA, 2016).

A Bacia Hidrográfica do Parnaíba é uma das mais importantes da região nordeste do Brasil, sendo ocupada pelos estados do Ceará, Maranhão e Piauí. Possui uma área de 331.441 km², onde 249.497 km² estão no Piauí, 65.492 km² no Maranhão, 13.690 km² no Ceará e 2.762 km² em litígio entre Piauí e Ceará. Em sua malha hidrográfica, destacam-se, o os rios Parnaíba, Balsas, Canindé, Gurgueia, Longá e Poti (BRASIL, 2006). Na sua formação geológica se destaca a composição litológica variada entre arenitos, argilitos, folhelhos e siltitos.

O rio das Balsas é o único grande afluente maranhense pela margem esquerda da bacia do Parnaíba. É o principal representante maranhense da bacia, sendo, inclusive, uma das seis regiões hidrográficas da bacia do Parnaíba (CPRM, 2017). Nasce no estado do Maranhão a uma altitude média de 700 m, no ponto de encontro da chapada das Mangabeiras com a serra do Penitente, desaguando no rio Parnaíba à altura das cidades de Benedito Leite (MA) e Uruçuí (PI), após percorrer 525 km. É um rio perene que possui bacia hidrográfica de 24.540 km² (MMA, 2006).

A sedimentação da bacia do Parnaíba iniciou como consequência da atuação de um megassistema de fraturas em consonância com a subsidência crustal de uma grande área cratônica. Essa sedimentação foi interpretada na forma de três ciclos deposicionais, representados pelos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas (Carbonífero Superior-Triássico Inferior). Os solos da região de Balsas são representados pelos Latossolos Amarelo, Podisólico Vermelho-Amarelo, solos

Litólicos e Areias Quartzosas (ABRANTES JÚNIOR, 2013). A sequência paleozóica da bacia sedimentar do Parnaíba é designada como “série Piauí”. O município de Balsas está inserido nos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba, na extensão territorial do município, encontra-se o Grupo Balsas, que é representado pelas formações Piauí Carbonífero, Pedra de Fogo, Motuca Permianiano, Sambaíba Triássico, Terciário-Quaternário e depósitos Colúvio-Eluviais (CORREIA FILHO, 2011).

A formação Sambaíba é caracterizada por arenitos bimodais, com estratificação cruzada e possui alto potencial hidrogeológico para exploração de águas subterrâneas. Já a formação Motuca possui um pequeno potencial hidrogeológico e é constituído de arenitos finos, argilitos, calcário, evaporitos e siltitos. Enquanto a formação Piauí é composta por arenitos, argilitos, calcários, folhelhos e siltitos. Quanto a formação Pedra de fogo, ela é formada por arenitos finos, calcário, evaporito, linhito, folhelhos e silexito (ABRANTES JÚNIOR, 2013).

Balsas, constitui a região do Matopiba, que é a mais nova fronteira agrícola do País e é considerada a última fronteira agrícola em expansão no mundo. Devido ao intensivo uso do solo para as práticas agrícolas a região vem sofrendo consideráveis processos de degradação ambiental (BRASIL, 2006). Prejudicando, dessa forma, a qualidade da água para o consumo humano, tendo em vista que a inexistência de sistema de coleta de esgoto aliada a alta demanda de fossas sépticas provocam sérios problemas ambientais.

3.3 Processos de tratamento e padrão de potabilidade da água subterrânea

Todas as fontes de água correm riscos ou a possibilidade de ser poluída e contaminada, caso não haja os devidos cuidados. No perímetro urbano, em função da carência e da degradação das fontes superficiais, que são mais expostas a exploração e contaminação, o crescimento da utilização das águas subterrâneas tende a ser maior. Todos os nossos recursos hídricos estarão em risco se as sociedades não se preocuparem com a devida prevenção e recuperação de áreas degradadas. As águas superficiais são mais vulneráveis à contaminação devido a fácil exposição em

conjunto com a falta de conscientização da sociedade e até mesmo de má fé. As águas subterrâneas também correm sérios riscos de contaminação antrópica, sobretudo nas áreas mais vulneráveis dos aquíferos (ZAMBONI, 2019).

Para tanto, há a necessidade de se analisar um conjunto de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea para fins de potabilidade, de acordo com a legislação de cada país. A avaliação da potabilidade das águas subterrâneas no Brasil segue os parâmetros apresentados pela portaria n°. 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, que estabelece os limites máximos de cada parâmetro para que a água seja considerada apta ao consumo humano (BRASIL, 2011).

Devido a crescente poluição das águas, assim como as suas características naturais, causada por diversos fatores, sobretudo pela ação antrópica, a necessidade de se propor medidas mitigadoras a respeito da purificação da água tem crescido de forma diretamente proporcional. Algumas regiões isoladas, que não possuem rede de distribuição, nem tratamento adequado, ficam à mercê do consumo de água sem qualquer tipo de tratamento e sujeitas a adquirirem doenças provenientes da água não tratada. Isso é válido também, para localidades que possuem condições para tal tratamento, mas que por algum motivo, não o fazem. Para solucionar tal problema, existem algumas tecnologias que possibilitam tratamentos usuais e adequados como: Filtro lento de areia, redução de nitrato, utilização de CO₂ para a formação de carbonatos a fim de reduzir a dureza e alcalinidade das águas, etc.

No tratamento de águas, os métodos mais usuais são denominados de tradicionais ou convencionais, podemos destacar a adsorção, filtração por membrana, oxidação, precipitação e troca iônica. Cada método apresenta uma eficiência diferente conforme com o material que se deseja retirar do meio. Para reduzir os efeitos dos metais a sua remoção é de fundamental importância. Esses métodos e técnicas foram desenvolvidos para serem utilizados durante o tratamento de água com a finalidade de melhorar sua qualidade (ROSS; POSSETTI, 2018).

A precipitação envolve reações de alguns metais precipitando como hidróxidos e/ou sulfetos, ocorre após uma troca catiônica entre íons dos metais e alguns ânions, formando um precipitado sólido. A troca iônica corresponde a um processo físico-químico reversível e objetiva retirar íons específicos do meio. Em relação a filtração por membrana, seu objetivo é a separação das partículas sólidas de pequenos diâmetros, moléculas e compostos iônicos dissolvidos. No tocante a oxidação ela se trata da conversão de espécies solúveis e insolúveis a partir da aeração e/ou adição de oxidante causando o precipitado. A oxidação é a conversão de espécies solúveis e insolúveis a partir da aeração e/ou adição de oxidante químico forte, causando o precipitado. E a adsorção é um método que permite compreender a habilidade de matérias sólidas em se acumular na superfície elementos existentes em fluidos líquidos ou gasosos, ocasionando a separação dos componentes (ROSS e POSSETTI, 2018).

Atualmente, algumas tecnologias vêm sendo utilizadas para tratar águas subterrâneas, tanto únicas, como conjugadas, a depender do grau de contaminação. Algumas são destrutivas e outras não-destrutivas. Dentre as não destrutivas, temos as técnicas de *Air Stripping* e *Air Sparging*, a primeira consiste na remoção por aeração, permitindo a transferência de contaminantes orgânicos da fase líquida para a gasosa, então o gás é coletado e tratado, enquanto a segunda se relaciona a injeção de ar sob pressão abaixo do nível d'água com o objetivo de se aumentar a remoção de contaminantes voláteis da zona saturada (DONAIRE, 2007).

Quanto as técnicas destrutivas se destacam a *Pump and Treat*, Biorremediação, Oxidação Química, *Flushing in situ* e Tratamento térmico *in situ*. No sistema de *Pump and Treat* tem-se a retirada da água contaminada do aquífero através de poços de extração e posterior tratamento, a Biorremediação consiste em utilizar microrganismos para degradar contaminantes químicos e compostos tóxicos e transformá-los em subprodutos menos prejudiciais. Na oxidação química existe a introdução de um ou mais oxidantes nos poços de monitoramento, os quais são mantidos em movimento até o tratamento completo do poluente. A tecnologia *Flushing* é uma solução de lavagem como surfactante para aumentar a solubilidade do

contaminante e deslocá-lo para sua remoção. O tratamento térmico *in situ* os contaminantes químicos são mobilizados utilizando calor para consequente evaporação e captura dos mesmos nos postos de coleta (DONAIRE, 2007).

Com o propósito de manter os padrões adequados, minimizar a contaminação das águas e melhorar sua qualidade, removendo os metais tóxicos e elementos maléficos a saúde, metodologias foram adotadas para auxiliar no tratamento de águas subterrâneas de forma significativa (ARAÚJO et al., 2020).

3.4 Problemas relacionados ao consumo de água subterrânea com alta dureza

Em condições naturais, a dureza da água é considerada uma característica química, proveniente da dissolução de rochas calcíneas ou outros minerais constituídos de cálcio e magnésio. Ocorre na forma de bicarbonato e sua solubilidade depende da quantidade de gás carbônico dissolvido. Pode ser expressa em termos temporários, permanentes e totais, esta última se refere a soma das demais. A dureza temporária é a combinação de íons de cálcio e magnésio que se combinam quando aquecidas, afetando a indústria e o comércio, pois tanto as caldeiras, quanto tubulações convencionais, por onde se passa água quente, podem ser acometidos de formação de dureza temporária que precipita e forma uma crosta que acaba por entupir a tubulação (CORDEIRO, 2012).

Na conferência de Genebra, a Organização Mundial da Saúde (OMS) disse que a água dura não tem nenhum efeito adverso para a saúde. Além do mais, a água dura, sobretudo a água muito dura, como mostra a Tabela 1, pode fornecer uma contribuição suplementar importante para a ingestão total de Cálcio e Magnésio (GALAN, 2002). A maioria das pessoas não consomem, em quantidades adequadas na sua alimentação, cálcio e magnésio que são os principais constituintes da dureza da água e que exercem funções importantes no organismo, como a prevenção da hipertensão e osteoporose. Porém, o consumo em demasia de magnésio está relacionado a mudanças no trânsito intestinal, provocando efeito laxativo. E o consumo excessivo de cálcio pode reduzir a absorção de ferro, zinco e fósforo pelo organismo. Além disso, águas com alto grau de dureza podem ocasionar problemas

dermatológicos (eczema) devido a necessidade de se utilizar muito sabão (WHO, 2011).

Tabela 1. Classificação da água quanto ao grau de dureza

Grau de dureza da água	Dureza em mg/L
Água branda	0 – 40
Água moderada	40 – 100
Água dura	100 – 300
Água muito dura	300 – 500
Água extremamente dura	> 500

Fonte: Brasil, Ministério da Saúde (2006).

Os efeitos da água dura na saúde, devem-se principalmente pelo Cálcio e Magnésio que são os sais nela dissolvidos. A hidroxivitamina D, forma hormonalmente ativa da vitamina D, é quem regula e protege os indivíduos do consumo excessivo de cálcio através de absorção intestinal. Por mais que o Cálcio possa interagir com o ferro, zinco, magnésio e fosforo no intestino, reduzindo a absorção desses minerais. Em contrapartida, a hipermagnesemia é causada pela insuficiência renal associada a incapacidade ou capacidade reduzida de se excretar o magnésio. O aumento da ingestão de sais de magnésio pode ocasionar diarreia. Além disso, a água que contém altas concentrações de magnésio e sulfato podem ter efeito laxante (CHANDRA, 2013).

Inúmeros estudos apontam uma ligação entre as concentrações de dureza (sobretudo cálcio e magnésio) e doenças cardiovasculares, doença de Alzheimer e eczema atópico, entretanto, a ligação é tênue e muitas variáveis não estão esclarecidas nos estudos (SENGUPTA, 2013).

Conhecer a dureza da água é importante ao avaliar seu uso doméstico ou abastecimento de água industrial, pois ela interfere na lavagem, banho e uso pessoal.

Roupas lavadas em água dura podem parecer ásperas e sujas. Os sais de Magnésio, em altas temperaturas, também podem produzir escamas duras em caldeiras. Utilizar água dura também afeta o uso doméstico pois reage com o sabão e o detergente formando uma lama pegajosa, além de poder causar irritações na pele ao se tomar banho com água dura utilizando sabão (PADMAPRIYA, 2015).

3.5 Uso de gás carbônico no processo de tratamento de água subterrânea

3.5.1 A importância do processo de captura e armazenamento de CO₂

As emissões de CO₂ precisam ser reduzidas se quisermos controlar o aumento da temperatura da superfície global dentro do que prevê o Protocolo de Quioto. Uma das apostas nesse cenário é o desenvolvimento, implementação e potencialização de tecnologias de captura e armazenamento de carbono que vem sendo implementada a passos lentos e aleatórios em função de alguns projetos operacionais a nível comercial. Dentre as opções de captura de CO₂ temos a captura pré-combustão, captura pós-combustão, oxi-combustão e looping químico de combustão e as principais técnicas de captura de CO₂ envolvem tecnologias de absorção, adsorção, criogenia, membranas e sistemas microbianos/algas (REIS, 2013).

Pacala; Socolow (2004) debatem as potenciais tecnologias para a solução dos problemas das mudanças climáticas e apresentam as sete cunhas para mitigação das modificações climáticas retratadas na Figura 1. As cunhas se dividem em dois grupos: o primeiro é “Redução de CO₂ ou Processos Livre de Emissões de CO₂”, que possui como solução tecnológica a eficiência energética, energias renováveis, descarbonização dos combustíveis fósseis, hidrogênio e energia nuclear. O outro grupo é “Capturar e Armazenar CO₂” constituído de Armazenamento de CO₂ e a conservação das florestas. Ainda estabelecem que as soluções mais efetivas para possíveis de utilização em larga escala para a indústria são a eficiência energética, uso de energias renováveis e a captura e armazenamento de CO₂.

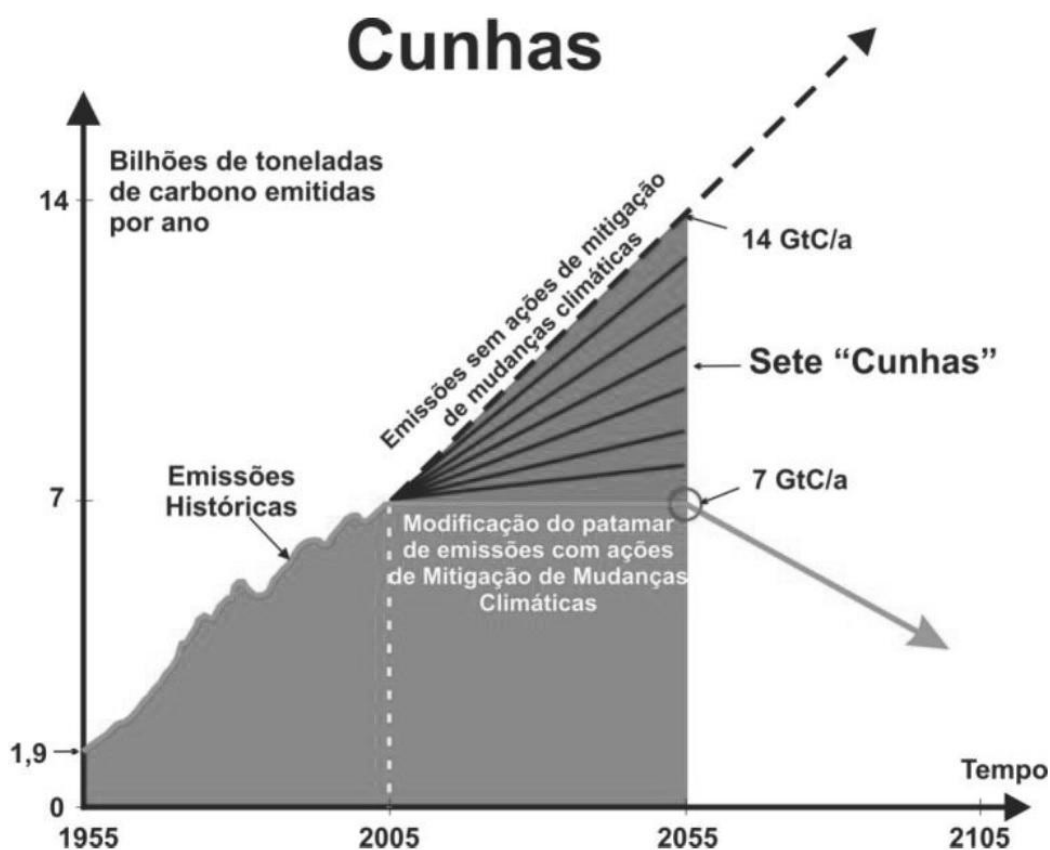


Figura 1. As 7 cunhas para Mitigação das Alterações Climáticas (traduzido).
Fonte: Pacala e Socolow (2004).

Segundo RAHMAN et al. (2017) os principais mecanismos de separação de CO_2 nos sistemas de Captura e Armazenamento de Carbono, são a absorção, adsorção e os sistemas de membrana. Na absorção o dióxido de carbono é absorvido por um líquido solvente através da formação de um composto químico, o solvente é movimentado e aquecido para liberar o CO_2 . A adsorção consiste na captação seletiva de CO_2 em superfície sólida que é regenerada através de uma diminuição de pressão ou aumento de temperatura para liberar o CO_2 adsorvido. Enquanto no sistema de

membranas o CO₂ é separado dos gases de exaustão através da passagem seletiva por um material com papel de membrana.

A Captura e Armazenamento de Carbono (CAC) é uma das tecnologias aplicadas para se reduzir as emissões de CO₂. Consiste em separar o CO₂ dos gases de combustão provenientes de fontes industriais e alocá-lo para uma unidade de armazenamento e conseqüente isolamento da atmosfera. Os sistemas de CAC são as maiores apostas a nível mundial para combater o aquecimento global e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (HERZOG, 2001).

LEUNG et al. (2014) destaca as principais adversidades para consolidação e implementação em larga escala dos sistemas de CAC, entre elas: falta de incentivo de mercado; falta de penalização para as maiores fontes emissoras de CO₂; aparato legal que conceda condições de armazenamento geológico de CO₂ tanto em terra quanto offshore. Além disso, aponta alternativas que viabilizem os sistemas de CAC como solução economicamente efetiva, que são: uma grande rede de dutovias; ampliar a escala de projetos de CAC; garantia de estabilidade financeira para os projetos de CAC; fomentação de mais estudos para potencializar as tecnologias de CAC.

A viabilidade dos sistemas de CAC dependem basicamente da relação equilibrada da economia e do meio ambiente. A captura de carbono adicionará custos de instalação, operação e manutenção do sistema, desencadeando o aumento no custo de eletricidade produzida, visto que uma fração da potência será drenada para o arranjo do sistema de CAC (SOUSA, 2019).

3.5.2 Remoção de sais contidos em água subterrânea com o uso de CO₂

Com a finalidade de solucionar o problema da escassez dos recursos hídricos a extração de água subterrânea tem sido uma tecnologia extremamente viável, ao mesmo passo que não é menos propícia a contaminações do que as fontes superficiais. Em sua formação é possível que a água seja constituída de várias

substâncias em excesso devido a sua formação geológica. O tipo de formação rochosa pode apresentar diversos recursos minerais metálicos e não metálicos como o cálcio e o magnésio, que tem íntima relação com a dureza da água (RODRIGUES et al., 2019).

As rochas porosas saturadas, por exemplo a salmoura, são formações salinas que constituem os aquíferos salinos profundos e estes são tamponados por várias formações rochosas impermeáveis. O CO₂ injetado nessas formações geológicas podem ser armazenados por aprisionamento devido a salinidade, local onde o CO₂ fica dissolvido na água subterrânea; por aprisionamento hidrodinâmico, em que o CO₂ fica aprisionado na forma de gás ou fluido supercrítico; ou através da reação direta ou indireta do CO₂ com os minerais ali existentes que leva a precipitação de carbonatos secundários (AYDIN et al., 2010).

Os recursos hídricos naturais como rios, oceanos e lençóis freáticos estão sujeitos a reações químicas com a matéria que os engloba. Tais interações ácido-base geralmente são as que propiciam a variação do pH e das concentrações de íons dessas águas. A dissolução do CO₂ atmosférico na água formando o H₂CO₃ é um exemplo dessas interações e este pode dissociar-se em H⁺ e HCO₃⁻ que confere a água poder de dissolver sais e disponibilizar partículas em solução. Dessa forma a presença de certos íons como o cálcio na água se dá, principalmente, pela dissolução do sal CaCO₃ em decorrência da diminuição do pH causado pela formação de H₂CO₃ na água. Esse CaCO₃ é proveniente de rochas calcárias em contato com a água, que apesar de ser pouco solúvel em água é responsável pela maior ocorrência dos íons CO₃²⁻ e Ca²⁺. Essas reações de dissolução do CO₂ e do CaCO₃ não acontecem isoladamente no meio ambiente e sim simultaneamente com outras reações formando o equilíbrio entre a água, o CaCO₃ e o CO₂ atmosférico ou equilíbrio carbonato (BAIRD, 2002).

Segundo Souto (2008), baseado nas reações de equilíbrio e nas relações entre o carbonato de cálcio e o dióxido de carbono a dissolução do CO₂ é uma forma de obter o carbonato de cálcio por precipitação química. A reação visa melhorar a

qualidade do carbonato de cálcio precipitado, utilizado na indústria, como reduzir os índices de dureza em águas calcárias. As altas concentrações de dióxido de carbono e hidróxido de cálcio contribuem para a qualidade do carbonato de cálcio precipitado aumentando sua área específica. Além de retirar e utilizar o dióxido de carbono da atmosfera de forma a aprisioná-lo sob a forma mineral.

O aumento na concentração de CO_2 leva a um aumento na taxa de crescimento da alga coralínea representado pela precipitação do carbonato de cálcio reduzindo assim os índices de cálcio da água e do CO_2 atmosférico (AMANCIO, 2007). Klunk (2009), obteve 91,7% de rendimento na precipitação do carbonato de magnésio pela injeção de CO_2 em solução contendo íons de magnésio.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

Foram selecionados três bairros da cidade de Balsas-MA que tem o seu abastecimento de água feito por poços artesianos administrados pela concessionária de água (Figura 2). O critério de seleção dos três bairros foi baseado no tamanho da população e na quantidade de reclamações da população quanto à qualidade da água fornecida pela concessionária. Com isso, os locais selecionados foram os bairros Açucena Nova, Potosí e Cajueiro.

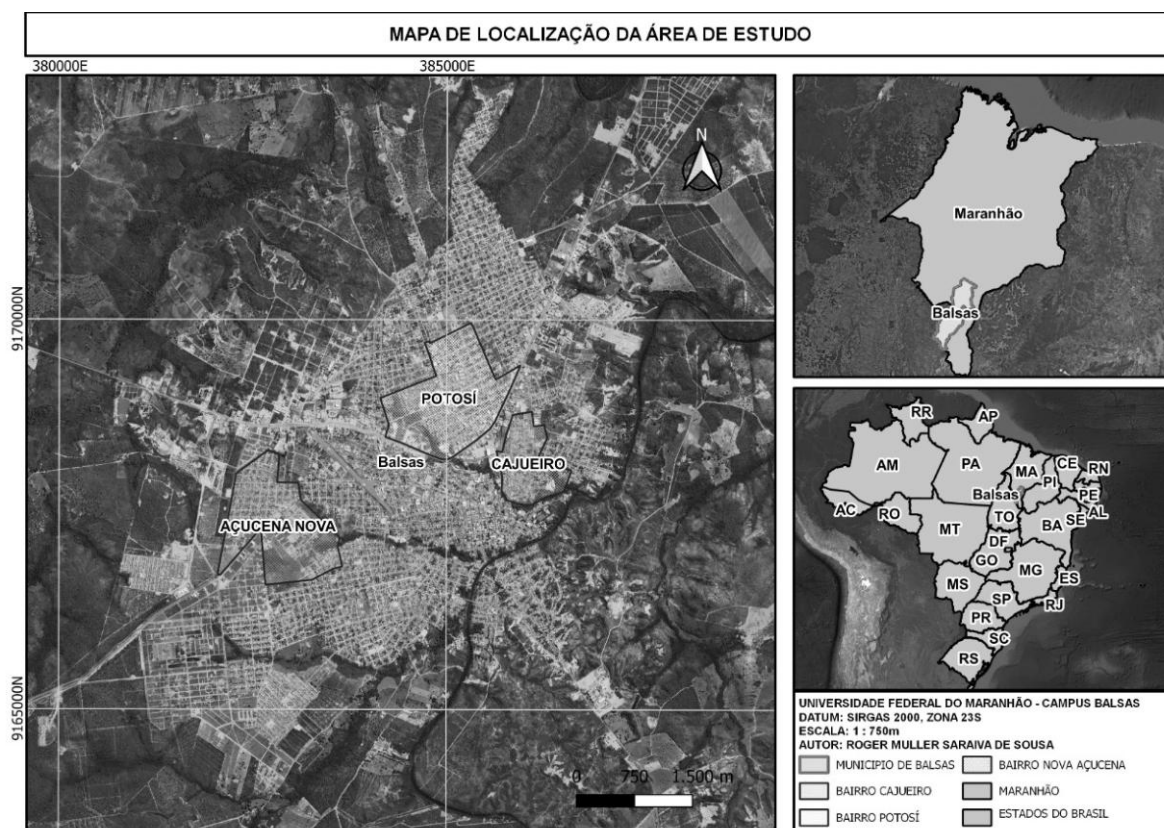


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.2 Questionário sobre o consumo de água e saneamento ambiental da população localizada nos bairros selecionados

Para conhecer a situação sobre o consumo, a percepção da qualidade da água pela população, o perfil epidemiológico da população entrevistada e o processo de gestão da água foi aplicado um questionário (Apêndice A) estruturado com 17 questões em 60 residências entrevistadas nos três bairros, 20 residências por bairro. Os resultados desta entrevista foram comparados com os dados das análises físico-químicas das amostras de água e com o perfil epidemiológico no que se refere à verificação da quantidade de pessoas que tem problemas cardíacos e renais nesses bairros estudados.

4.3 Coleta e análise de amostras de água

A amostra de água foi coletada e armazenada em garrafas de politereftalato de etileno (PET) e imediatamente transportada para o Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Maranhão Campus de Balsas para a determinação da qualidade da água quanto aos seguintes parâmetros: pH, dureza total, cálcio, magnésio, turbidez, condutividade elétrica, O₂ dissolvido e sólidos totais dissolvidos (Figura 3), no Apêndice D temos gráficos de condutividade e STD. O parâmetro pH foi determinado com o uso de um pHmetro portátil ATC. A turbidez foi determinada com o uso do turbidímetro Plus ALFAKIT. O oxigênio dissolvido foi determinado com o uso de um aparelho oxímetro profissional AZ Instrument Corp. 8403. A condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e a temperatura foram determinadas com o uso do condutivímetro microprocessado ALFAKIT AT215. Além disso, a alcalinidade foi determinada por titulometria com ácido sulfúrico e a análise de dureza por titulometria com EDTA-Na (ABNT NBR 12621). Todas as análises foram feitas para cada amostra de água coletada e em duplicata.



Figura 3. Análises das amostras de água coletadas.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.4 Desenvolvimento de um sistema de redução da dureza de água de poço artesiano

Além da caracterização da qualidade da água que chega até as residências dos três bairros estudados, foi proposto o desenvolvimento de um método alternativo para a redução da dureza apenas da água do bairro que apresentou a maior dureza. Este método foi feito conforme Ahn et al., (2018), com adaptações (Figura 4). Este método consistiu na captura e armazenamento de CO_2 para o tratamento da água, promovendo a precipitação de sais de cálcio e magnésio. Foi utilizado um sistema gerador de CO_2 , o qual foi conectado a um Erlenmeyer de 1L contendo a amostra de água para ser tratada. O tempo total de tratamento foi de 1 h e uma amostra de água era coletada a cada 10 min para realizar a determinação do pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura, utilizando os mesmos métodos e equipamentos aplicadas na análise de água descrita no item anterior. Após a reação,

a água foi filtrada para a separação e quantificação dos possíveis sólidos formados. Em seguida, a água foi analisada utilizando os mesmos métodos e equipamentos de análise anteriormente citados, bem como foi determinada a dureza total, dureza cálcica e magnésio. O objetivo deste processo de tratamento foi o de converter o CO_2 da forma gasosa para uma forma sólida, armazenando-o, e promover o tratamento das amostras de água com alta dureza.

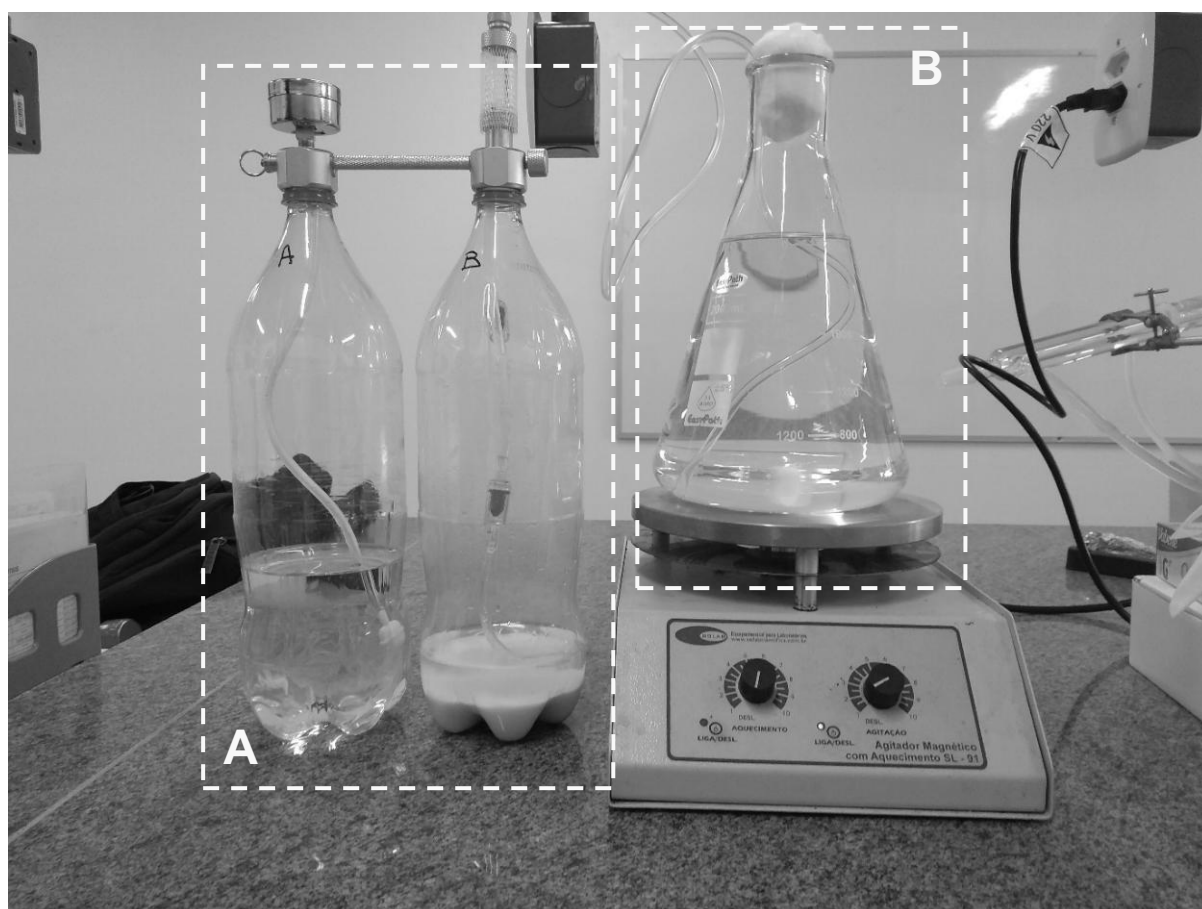


Figura 4. Sistema de redução da dureza de água de poço artesiano. **A:** sistema gerador de CO_2 . **B:** amostra de água de poço artesiano passando por processo de tratamento com CO_2 .

Fonte: Elaborada pelo Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Questionário sobre o consumo de água e saneamento ambiental da população localizada nos bairros selecionados

Em relação a fonte de distribuição da água, no geral 87% é de exclusividade da rede pública (Figura 5). Dessa forma, foi possível perceber que parte considerável da população não confia na qualidade da água que é distribuída pela concessionária. Entretanto, a maioria não deixa de utilizá-la por falta de opção. Há quem tenha poço escavado na própria residência, isso pode implicar em problemas maiores ainda, caso não tenha sido feito de forma adequada, pois possuem fossas sépticas muito próximas do poço, haja vista que 100% dos habitantes da Açucena Nova alocam seus rejeitos em fossas sépticas.

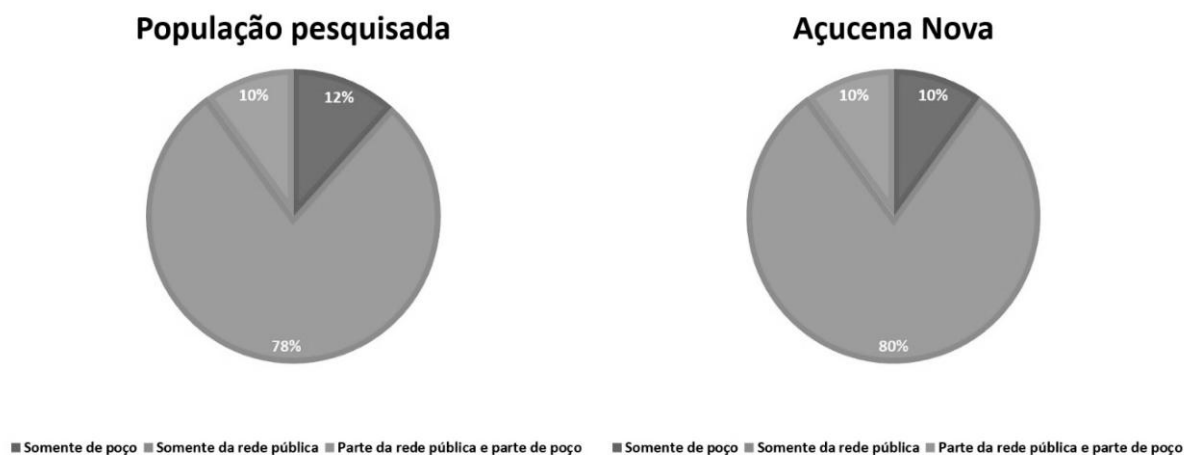


Figura 5. Origem da água disponível.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Quanto a sua percepção sobre a qualidade da água, 47% da população geral consideram ruim (Figura 6), enquanto 40% do bairro Nova Açucena possuem a mesma percepção. Tal percepção está relacionada ao fato da população não conseguir desenvolver suas atividades adequadamente com o uso da água que recebem em casa, tais como a reclamação de que precisam utilizar muito mais produtos de limpeza e higiene pessoal para que conseguiram ensaboar

adequadamente as roupas e, por exemplo, lavar o cabelo, como relatado por muitos. Além disso, houve muita reclamação ao gosto ruim da água que eles recebem da concessionária.

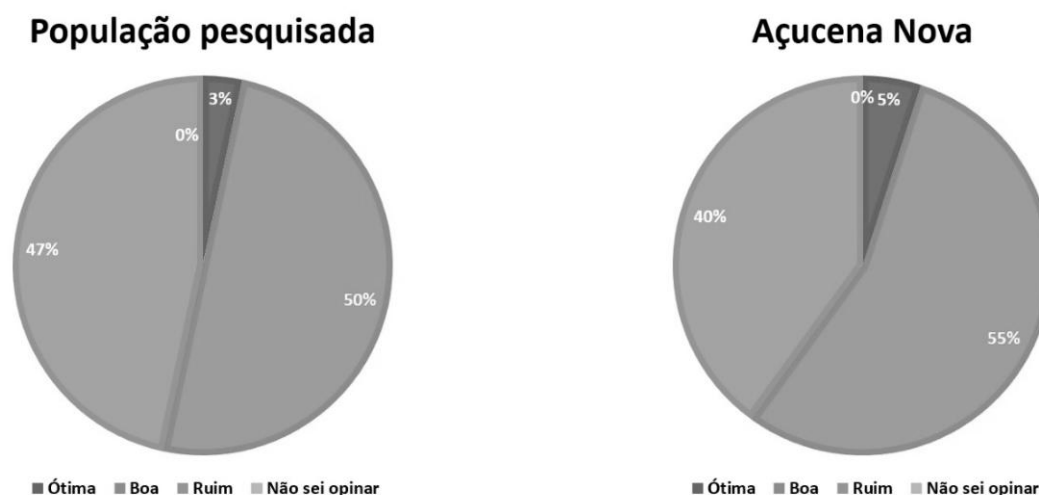


Figura 6. Percepção da população sobre a qualidade da água.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Quando questionados sobre a ingestão de água da torneira, 50% dos moradores do Bairro Nova Açucena afirmaram que a utilizam também para beber, já a população em geral pesquisada aponta 40% (Figura 7). Além disso, uma parcela dos pesquisados comentaram que utilizam também águas de outro poço vizinho, o qual é popularmente considerado como de ótima qualidade. Além disso, alguns afirmaram que compram água mineral. Fazem isso para evitar o consumo unicamente da água da torneira, pois, segundo eles, a disponível pela concessionária vem com algum mal cheiro, coloração estranha, entre outros problemas, como a constante falta de água.

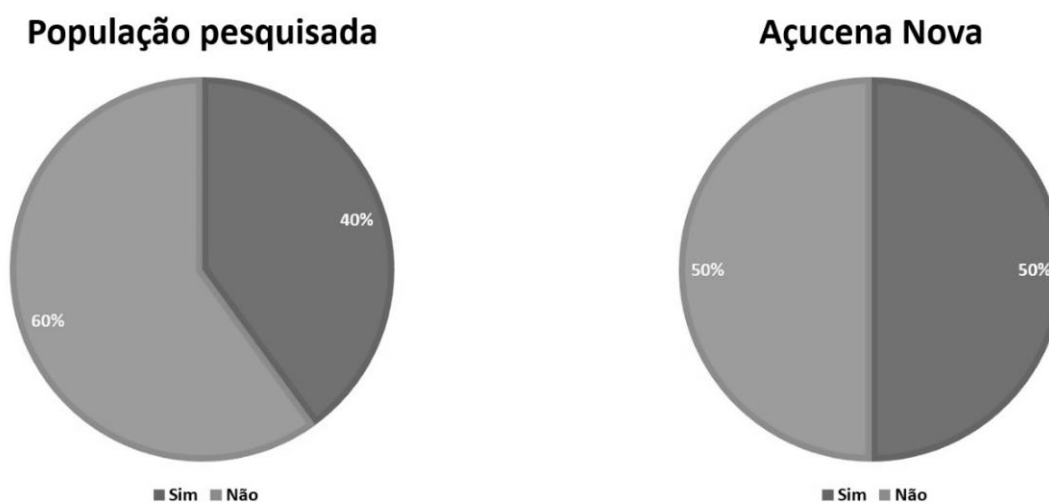


Figura 7. Consumo de água da torneira.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

62% da população indagada não utilizam nenhum filtro para utilizar a água da torneira, em consonância a essa informação, no Bairro Açucena 55% dos residentes consomem essa água sem nenhum tratamento (filtros) (Figura 8). Com isso, a utilização de água com alta dureza, bem como a não realização de um pré-tratamento e desinfecção pode trazer problemas de saúde para a população. Logo, em relação aos problemas de saúde, 43% dos pesquisados informaram ter problemas cardíacos, este índice é de 35% na Açucena Nova. Já em relação a problemas renais, 50% da população da Açucena Nova possuem tais problemas. Conforme estudado e apontado no referencial teórico, existe uma íntima relação entre águas duras e problemas cardíacos, renais e laxativos. Portanto, esses índices podem estar relacionados, ou seja, a água dura da rede de distribuição pode, aos poucos, estar interferindo na saúde dos moradores da cidade.

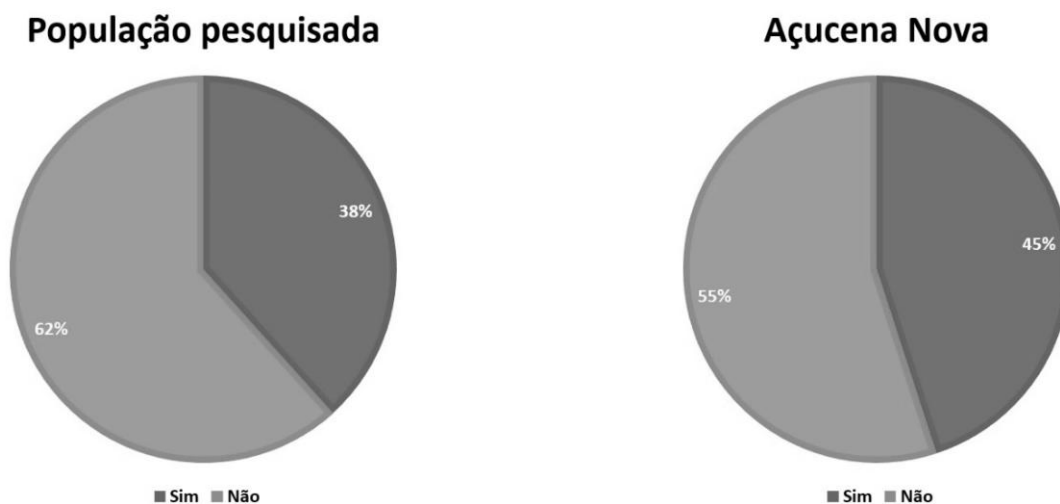


Figura 8. Adoção de filtro para utilizar água da torneira.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

5.2 Coleta e análise das amostras de água

Após a realização da entrevista, foi solicitada uma amostra da água da torneira de pelo menos 2 casas de cada bairro estudado. As amostras coletadas em garrafas PET e transportada para serem analisadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFMA Campus de Balsas. As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados de cada parâmetro analisado.

Tabela 2. Parâmetros analisados das amostras de água coletadas em junho.

PARÂMETROS								
	pH	T (°C)	C (µS/cm)	S (ppt)	R (ohm)	STD (mg/L)	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)
C1 - Potosí	7,80	24,3	282,4	0,14	3584	145,3	4,73	0
C2 - Potosí	7,40	24,4	280,5	0,14	3629	143,5	4,32	0
C1 - Cajueiro	7,70	24,7	234,9	0,11	4317	119,6	4,3	0
C2 - Cajueiro	7,80	24,6	234,8	0,12	4280	120,9	4,05	0
C1 - Açucena	8,00	24,2	328,1	0,16	3095	169,1	4,06	0

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Tabela 3. Parâmetros analisados das amostras de água coletadas em julho.

PARÂMETROS								
	pH	T (°C)	C (µS/cm)	S (ppt)	R (ohm)	STD (mg/L)	OD (mg/L)	Turbidez (NTU)
C1 - Potosí	7,50	24,4	283,2	0,14	3590	145,8	3,73	0,00
C2 - Potosí	7,10	23,7	333,5	0,17	3071	172,1	3,06	0,00
C1 - Cajueiro	7,30	23,6	258,3	0,13	4010	131,8	4,10	0,00
C2 - Cajueiro	7,30	23,4	246,9	0,12	4202	125,7	4,69	0,00
C1 - Açucena	6,30	23,4	335,8	0,17	3095	172,2	3,54	0,00
C2 - Açucena	6,80	23,4	342,5	0,17	3022	175,8	3,51	0,00

Fonte: Elaborada pelo Autor.

De acordo com a CONAMA 357/2005 e a Portaria n.º 2.914 a maioria dos parâmetros analisados, contidos nas Tabela 2 e 3, estão dentro do permitido pela legislação vigente. Para os Sólidos dissolvidos totais o máximo permissível é de 500 mg/L, o pH deve estar entre 6 e 9, as temperaturas são consideradas amenas e ambientes.

De acordo com Piratoba (2017), as águas naturais possuem teores de condutividade na faixa de 10 a 100 (µS/cm). Entretanto, em todas as amostras analisadas neste trabalho apresentaram valores excedentes a essa faixa, o que pode indicar que existe uma grande quantidade de íons dissolvidos na água. Porém, a legislação não estabelece limites para esse parâmetro. Para o OD, a legislação supracitada estabelece 5,0 mg/L como o valor mínimo, em nenhuma amostra analisada atingimos esse valor, o que pode indicar a presença de matéria orgânica na água.

Nas Figuras 9 e 10 é possível visualizar que de todas as amostras coletadas as que tiveram o maior grau de dureza foram as das amostras de água coletadas no Bairro Açucena Nova. Por esse motivo, este bairro foi o selecionado para o estudo do tratamento de redução da dureza.

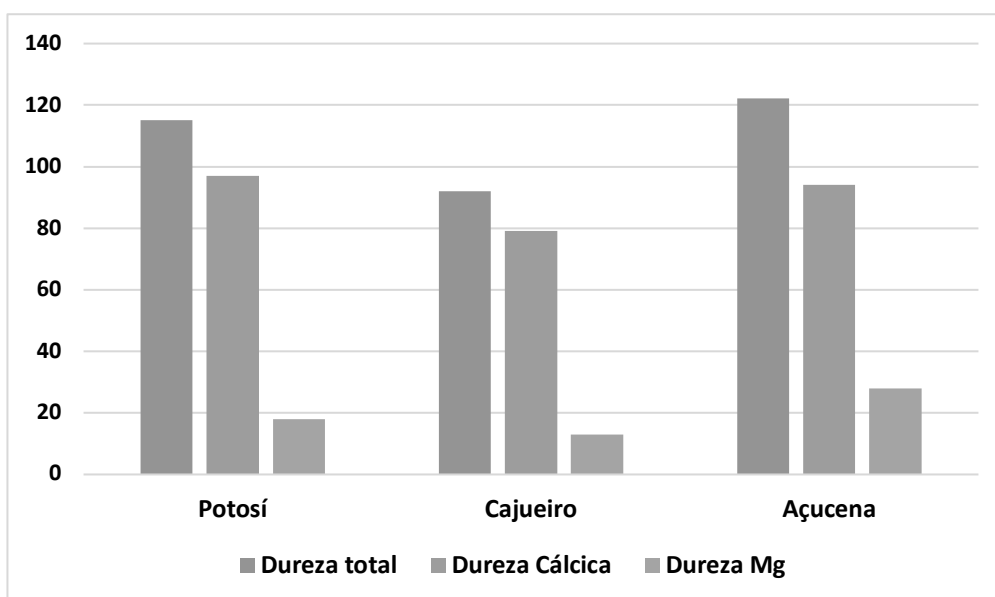


Figura 9. Graus de dureza das amostras dos poços artesianos estudados em junho.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Portanto, observa-se que, dentre os bairros estudados, grande parte das águas disponibilizadas pela concessionária é considerada “águas duras”, conforme a Classificação das água quando ao grau de dureza estabelecida pelo Ministério da Saúde, vide Tabela 1.

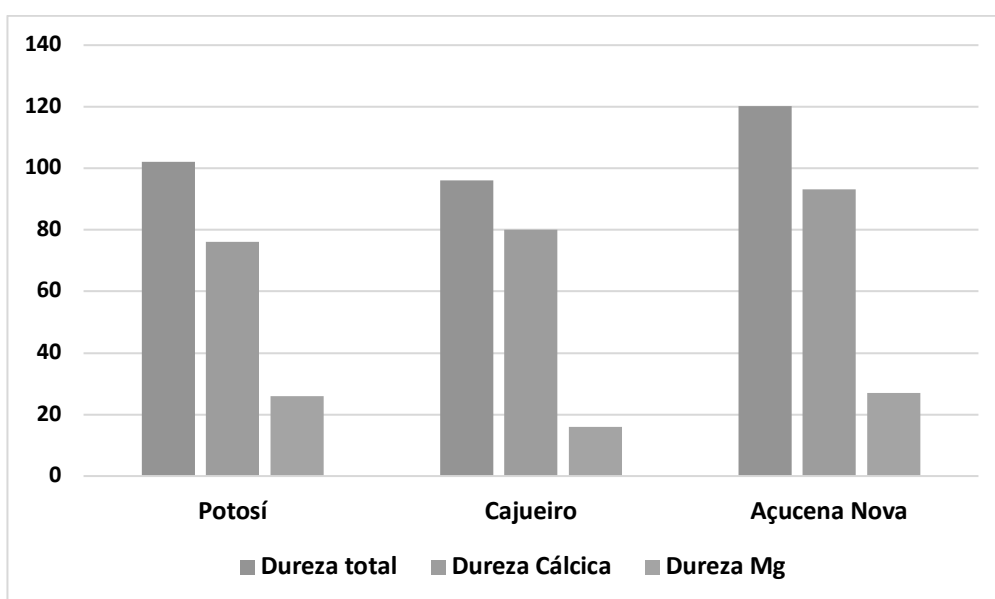


Figura 10. Graus de dureza das amostras dos poços artesianos estudados em julho.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

No tocante a dureza total, a legislação supracitada estabelece como limite máximo permissível a medida de 300 mg/L. Em todas as amostras obtivemos valores menores que o limite máximo. Analisando os índices de dureza total nas Figuras 9 e 10 em consonância com a Tabela 1, podemos estabelecer que as águas dos três bairros analisados são consideradas águas moderadas e águas duras, pois se encontram entre as faixas de 40 – 100 e 100 – 300 mg/L. Todas as amostras do bairro Nova Açucena se caracterizaram como água dura, por esse motivo o escolhemos para efetuar o tratamento.

5.3 Desenvolvimento de um sistema de redução da dureza de água de poço artesiano

Além da caracterização da qualidade da água que chega até as residências dos bairros supracitados, foi desenvolvido um método alternativo para a redução da dureza da água do bairro Açucena Nova, o qual apresentou os maiores valores de dureza total.

Com elevados níveis de dureza, o uso da água pode ser comprometida caso este parâmetro apresente altos valores, necessitando de um tratamento para a redução da quantidade de sais/metals dissolvidos. O uso de água dura pode refletir em diversos problemas à população como a menor eficiência na lavagem de roupas, utensílios e na higiene pessoal, principalmente no que tange a saúde podendo provocar doenças cardíacas, renais e efeitos laxantes (WHO, 2011). Esses problemas ocasionam a insatisfação dos moradores quanto à qualidade da água, fomentando a procura de outras fontes de abastecimento, como a perfuração de poços rasos, que podem simbolizar sérios riscos à saúde, tendo em vista que não existe rede coletora de esgoto na cidade. Logo, o número de fossas sépticas aumenta de forma diretamente proporcional a possibilidade de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

Através do método químico de captura e armazenamento de CO₂ para o tratamento da água, promovendo a precipitação de sais de cálcio e magnésio, foi feito o tratamento a fim de reduzir a dureza total da amostra de água. Para verificar a eficiência do processo, foi feita a caracterização da amostra antes e após o tratamento

sob duas temperaturas distintas a fim de descobrir a faixa de temperatura ideal. Os níveis de dureza foram estabelecidos pela titulação e solução de EDTA e a dureza total foi reduzida pela carbonatação, assim como a dureza cálcica e magnésica, conforme mostra os gráficos dos Apêndices B e C. Durante o processo de carbonatação, a inserção de CO₂ promoveu a redução do pH das amostras de água (Figura 11). Esta redução de pH teve influência também da temperatura.

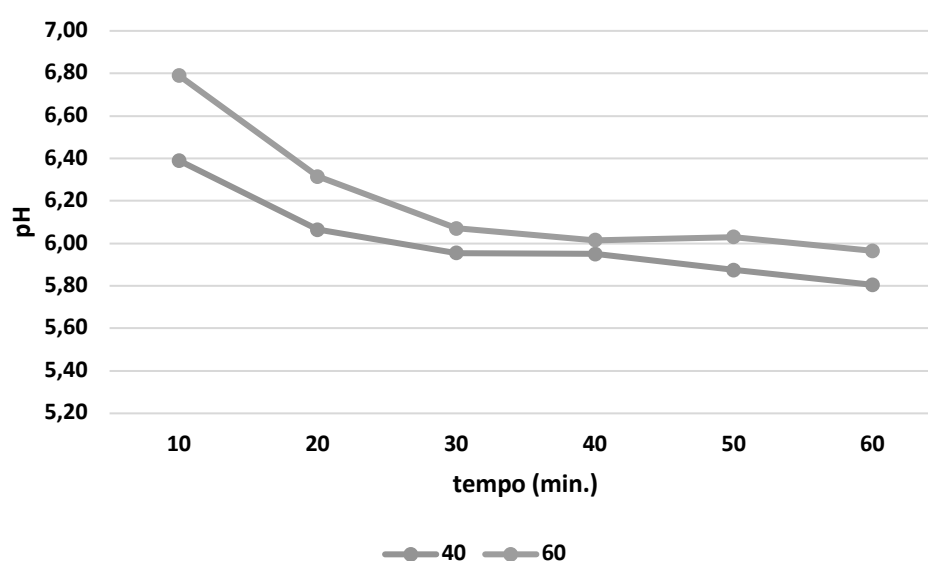


Figura 11. Comportamento do pH após o tratamento a 40 °C e 60 °C.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Com a injeção de CO₂ na água são formado íons de carbonato (CO₃²⁻), os quais reagem com o cálcio e magnésio para formar o carbonato de cálcio e de magnésio, respectivamente. Estes carbonatos tem difícil dissolução em água e precipita com muita facilidade, principalmente quando se aumenta a temperatura da água. Dessa forma a remoção da dureza aumenta com a temperatura (Figuras 12 e 13).

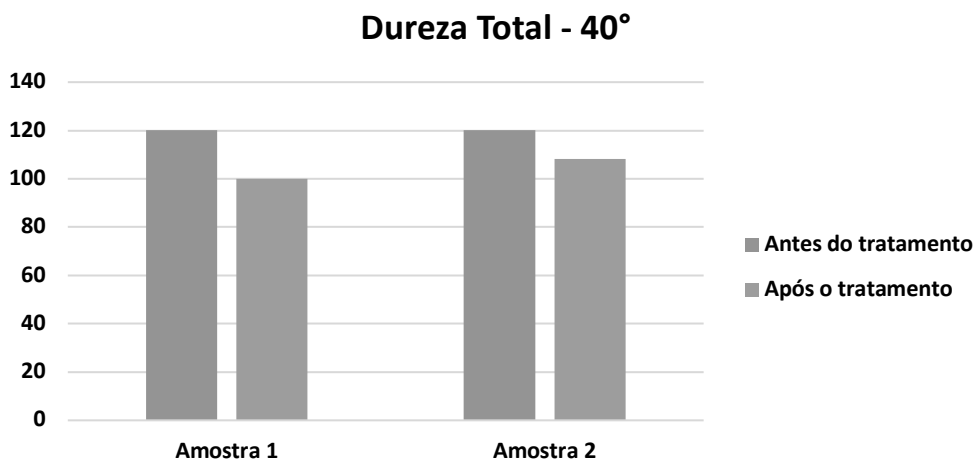


Figura 12. Dureza total antes e após o tratamento a 40 °C.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Para cada amostra, os resultados apontam que a temperatura influenciou na redução da dureza, assim como do pH. Na temperatura de 40 °C houve reduções de 17% e 10% nas amostras 1 e 2 respectivamente para a dureza total. Enquanto na temperatura de 60 °C as reduções nas amostras 1 e 2 foram de 23% e 20%. Portanto, este trabalho mostra que um simples tratamento químico com CO₂ é capaz de melhorar a qualidade da água de águas consideradas duras. Caso este tratamento fosse adotado, após o tratamento com CO₂, possivelmente seria necessária a realização de filtração e correção de pH. Além disso, o CO₂ que poderia ser emitido para a atmosfera, seria armazenado na forma sólida na forma de carbonatos.

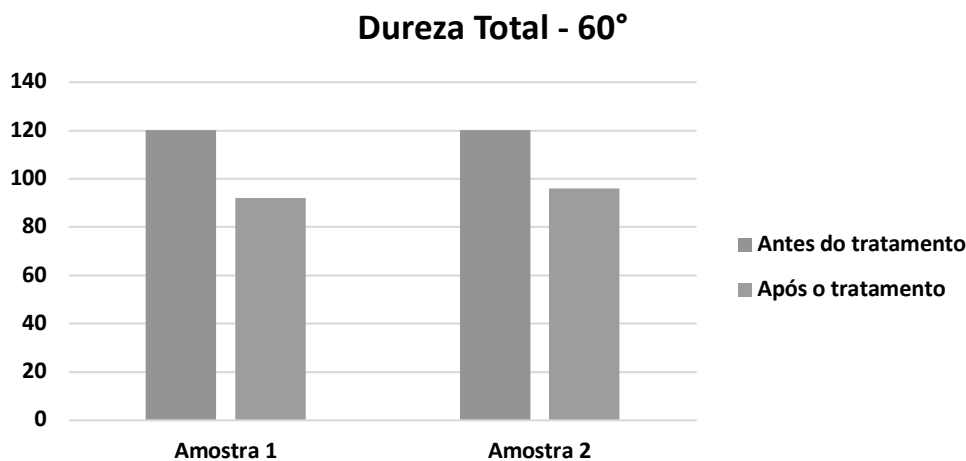


Figura 13. Dureza total antes e após o tratamento a 60 °C.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o de determinar a dureza das amostras de águas de poços coletadas em diferentes bairros da cidade de Balsas-MA e propor uma solução alternativa para reduzir a dureza através de tratamento da água com o uso de CO₂ a partir da carbonatação simples.

Para cada amostra os resultados apontam que a temperatura influencia na redução da dureza, assim como do pH. Para a dureza total, na temperatura de 40 °C houve reduções de 17% e 10% nas amostras 1 e 2, respectivamente. Enquanto na temperatura de 60 °C as reduções nas amostras 1 e 2 foram de 23% e 20%. A redução da dureza aumentou com o aumento da temperatura, isso se deve pelo fato de o CO₂ reagir efetivamente com os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} com o aumento da temperatura. Após o tratamento também foi possível perceber a formação de sólidos, na ordem de $8 \cdot 10^{-4} \text{ mg/L}$ para 40 °C e $2 \cdot 10^{-3} \text{ mg/L}$ para 60 °C.

Apesar da água do bairro Nova Açucena apresentar elevados índices de dureza, pois sua água é dura, ela é apta para o consumo humano de acordo com a legislação vigente, que prevê 300 mg/L como valor máximo permitido. Porém, é válido

destacar que possuem íons de Ca^{2+} e Mg^{2+} que são característicos da região geológica que constitui a bacia hidrográfica do Parnaíba, especificamente o Grupo Balsas, onde o município se insere. Para tanto, se torna necessário um tratamento eficaz para fazer com que a água seja mais adequada para o consumo, uma vez que a população brasileira já é conhecida por consumir muito sal em sua alimentação e o consumo adicional de sal via água pode agravar a situação. Logo, a carbonatação é uma opção que pode ser utilizada para tal finalidade tendo em vista que foram obtidos resultados favoráveis da redução da dureza da água.

É recomendável que ao se construir um poço na cidade de Balsas-MA, este seja feito segundo as normas vigentes na legislação e que possua uma profundidade adequada para que os teores de metais sejam mais amenos e saudáveis ao uso e consumo da água coletada. Para trabalhos futuros recomendamos que o tratamento seja realizado com uma maior amplitude para que tenhamos resultados mais satisfatórios ainda.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES JÚNIOR, Francisco Romério; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. **Reconstituição paleoambiental das formações Motuca e Sambaíba, Permo-Triássico da Bacia do Parnaíba no sudoeste do Estado do Maranhão, Brasil.** 2013.
- AHN, Min Kyung et al. **Removal of hardness from water samples by a carbonation process with a closed pressure reactor.** *Water*, v. 10, n. 1, p. 54, 2018.
- AMANCIO, C. E. **Precipitação de CaCO₃ em algas marinhas calcária e balanço de CO₂ atmosférico: os depósitos calcários marinhos podem atuar como reservas planetárias de carbono?** 2007. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- ARAÚJO, A. M.; FILHO, M. F. C.; SILVA, D. D. **Aplicação de adsorvente natural utilizando metodologias analíticas para “clean-up” de águas subterrâneas.** *Educação, Ciência e Saúde*, v. 7, n. 1, 2020.
- Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas subterrâneas, o que são?** Disponível em: < <http://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>>. Acesso em: 15 set. 2021.
- AYDIN, G. *et al.* **Evaluation of geologic storage options of CO₂: Applicability, cost, storage capacity and safety.** *Energy Policy*, v. 38, n. 9, p. 5072-5080, 2010.
- BAIRD, C. **Química ambiental.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BARRETO, L. *et al.* **Exploring effective conservation networks based on multi-scale planning unit analysis.** A case study of the Balsas sub-basin, Maranhão State, Brazil. *Ecological Indicators*, v. 10, n. 5, p. 1055-1063, 2010.
- BRASIL. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – 184 p. ISBN 85-7738-064-5. Brasília: MMA, 2006.
- BRASIL. **Constituição (1988)**, de 5 de outubro de 1988. Brasília, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 04 de junho de 2021.
- BRASIL. **Lei nº 11.445/2007**, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em 04 de junho de 2021.
- BRASIL. **Ministério da Saúde.** Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em 04 de junho de 2021.
- BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: República

-
- Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, v. 148, n. 239, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba**. Brasília, DF, 2006a. 184 p.
- CHANDRA, Amar K. et al. **Effects of dietary magnesium on testicular histology, steroidogenesis, spermatogenesis and oxidative stress markers in adult rats**. 2013.
- CORDEIRO, M. M. et al. **Variações da dureza da água captada de poços do aquífero Beberibe na cidade de João Pessoa–PB**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 4, p. 239-247, 2012.
- CORDEIRO, Pedro Pereira. **Direito humano à água no cenário da pandemia de covid-19 na realidade brasileira**. 2020.
- CORREIA FILHO, Francisco Lages et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Balsas**. CPRM, 2011.
- DONAIRE, Patrícia Pulcini Rosvald et al. **Tratamento de água subterrânea contaminada com BTEX utilizando fotocatalise heterogênea**. 2007.
- FAO/UNESCO. **Irrigation, drainage and salinity: an international source book**. Paris: UNESCO/Hutchinson, 1973. p.177-205 *apud* ANDRADE JÚNIOR, Aderson S. de et al. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semi-árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 873-880, 2006.
- GALAN, P. et al. **Contribution of mineral waters to dietary calcium and magnesium intake in a French adult population**. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 102, n. 11, p. 1658-1662, 2002.
- HERZOG, H. J. (2001). **Peer reviewed: what future for carbon capture and sequestration?** HOSSEINI, S. E.; BARZEGARAVVAL, H.; GANJEHKAVIRI, A.; WAHID, M. A.; JAAFAR, M. M. (2017). **Modelling and exergoeconomic-environmental analysis of combined cycle power generation system using flameless burner for steam generation**. **Energy Conversion and Management**, 135, 362-372.
- HIRATA, R. et al. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. SP: Instituto Trata Brasil, 2019.
- IRITANI, M.A.; EZAKI, S. **As Águas Subterrâneas do estado de São Paulo**. São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2012.
- KLUNK, M. A. **Sequestro de CO₂ sob a forma mineral: precipitação de carbonato de magnésio**. 2009. 63f. Dissertação (Mestrado em engenharia e tecnologia dos materiais) – Programa de pós-graduação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

-
- MOTTA, EJ de O.; GONÇALVES, N. E. W. **Plano nascente Parnaíba: Plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio Parnaíba**. Companhia de Desenvolvimento dos Vales d São Francisco e do Parnaíba (Codevasf). Editora IABS, Brasília-DF. 2016.
- NARAYANAN, Krishnan; SAHU, Santosh Kumar. **Energy Consumption Response to Climate Change under Globalization: Options for India**. 2012.
- PACALA, S. e SOCOLOW R., 2004. "Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies". *Science* 305, 968.
- PADMAPRIYA, R.; SARANYA, T.; THIRUNALASUNDARI, T. **Phyllanthus emblica-A biopotential for hard water treatment**. *Int. J. Pure App. Biosci*, v. 3, n. 3, p. 291-295, 2015.
- PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 3, p. 435-456, 2017.
- RAHMAN, Mohammad Mafizur; KASHEM, Mohammad Abul. **Carbon emissions, energy consumption and industrial growth in Bangladesh: Empirical evidence from ARDL cointegration and Granger causality analysis**. *Energy Policy*, v. 110, p. 600-608, 2017.
- REIS, Catarina Veloso. **Emissões de CO₂ e aquecimento global: desenvolvimento de tecnologias de captura e armazenamento de CO₂**. 2013. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- RIBEIRO, Wladimir António. O direito à água e saúde pública. **Revista de Direito Sanitário**, v. 18, n. 3, p. 94-103, 2018.
- RODRIGUES, L. S. S. *et al.* **Sistema simplificado de remoção de ferro em água subterrânea**. 2019.
- ROSS, B. Z. L; POSSETTI, G. R. C. **Tecnologias potenciais para o saneamento**. Remoção de metais de água de abastecimento público. Ed. 1, v. 2, Curitiba-PR, 2018.
- SENGUPTA, Pallav. **Potential health impacts of hard water**. *International journal of preventive medicine*, v. 4, n. 8, p. 866, 2013.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL –CPRM. **Relatório situacional dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Parnaíba**. SACE –Sistema De Alerta De Eventos Críticos Residência De Teresina –RETE, 2017.
- SILVA, Rosa Beatriz Gouvêa. **Águas Subterrâneas: Um valioso recurso que requer proteção**. ed. 1. São Paulo, DAEE, 2003.
- SINGH, A. K. *et al.* **Material conscious energy matrix and enviro-economic analysis of passive ETC solar still**. *Materials Today: Proceedings*, v. 38, p. 1-5, 2021.
- SOUTO, E. C. S. **Estudo de condições operacionais para obtenção de carbonato de cálcio precipitado**. 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Programa de pós-graduação, UFU, Uberlândia, 2008.

SOUSA, Gabriel Fernandes de. **Resultados exergoenômicos e exergoambientais de um ciclo de potência combinado com sistema de captura e armazenamento de carbono**. 2019. Dissertação de Mestrado. Brasil.

WHO. **Hardness in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality**. Genebra: World Health Organization, 2011. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf>. Acesso em 13 de junho de 2021.

ZAMBONI, Silvia Aparecida Schmith. **Avaliação da Potabilidade da Água Bruta no Município de Bandeirantes – PR**. Agronomia. Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agronomia, 2019.

APÊNDICES
APÊNDICE A: Questionário

Universidade Federal do Maranhão

Grupo de Pesquisa Bioenergia e Sustentabilidade – BIOSus

Coordenador: Dr. Aderlano Cardoso

Orientando: Roger Muller Saraiva de Sousa

Projeto: Captura e armazenamento de gás carbônico para a redução da dureza de água de poços localizados na cidade de Balsas-MA.

Questionário

1. Quantas pessoas moram na sua casa, incluindo você?

2. Qual a renda média da sua família?

3. Quantos destes itens existem na sua casa?

() banheiro

() automóveis

() lava louças

() máquina de lavar roupas

4. A água da sua casa é:

() somente de poço

() somente da rede pública

() parte da rede pública e parte de poço

() outra fonte _____

5. Para onde vai o esgoto da sua casa?

() rede coletora de esgoto

() fossa séptica

() jogado na rua

() jogado no rio/córrego

6. No geral, você acha que a qualidade da água que sai da torneira é:

() Ótima () Boa () Ruim () Não sei

7. Em média, quantas vezes vocês lavam roupas em casa?

- () Todos os dias
() 1 vez por semana
() 2 vezes por semana
() 2 a 3 vezes por semana
() 3 a 5 vezes por semana
() Mais de 5 vezes por semana

8. Qual o consumo médio de água em sua casa (verificar a conta de água)?

9. Você reutiliza a água em alguma atividade?

() Sim () Não

10. Se sim, qual atividade?

11. Você possui caixa d'água em casa?

() Sim () Não

12. Se sim, de quantos litros?

13. Com que frequência a caixa d'água é limpa?

14. Vocês utilizam a água da torneira para beber?

() Sim () Não

Se sim, vocês utilizam algum tipo de filtro?

Se não, de onde vem a água que vocês bebem em casa?

Vocês fazem a cloração da água?

() Sim () Não

15. Existe alguém que mora com você que tem problemas cardíacos (por exemplo: pressão alta)?

() Sim () Não

16. Existe alguém que mora com você que tem problemas de rins (por exemplo: já teve pedras nos rins)?

() SIM () NÃO

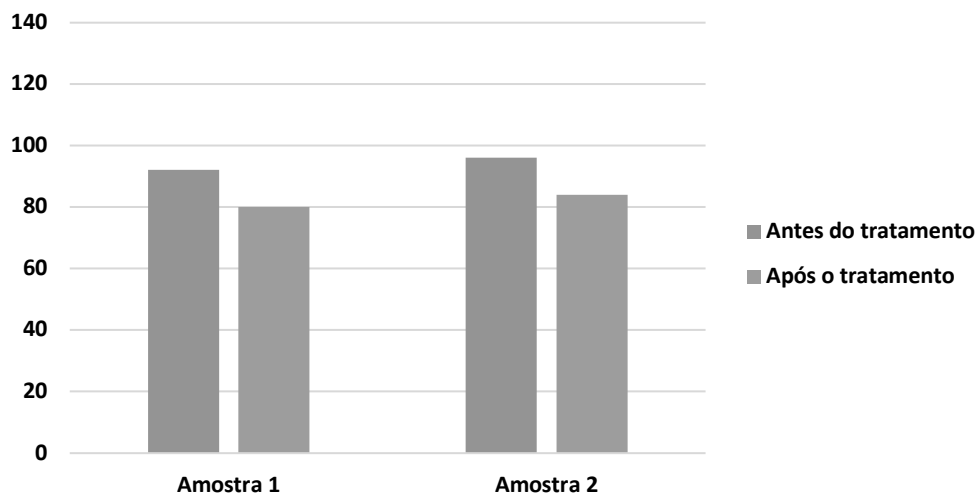
17. Você deixa de utilizar a água por algum motivo?

() SIM () NÃO

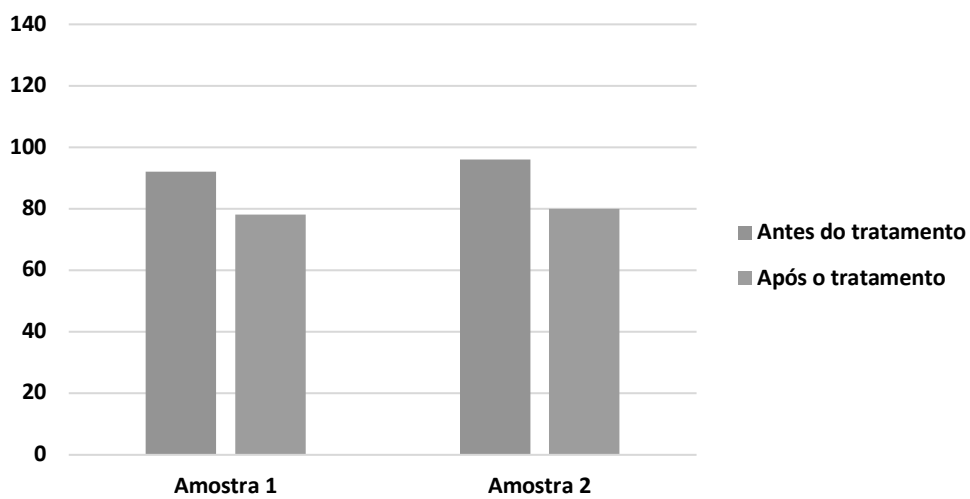
Se sim, qual?

APÊNDICE B: Comparação da Dureza Ca à 40 °C e 60 °C

Dureza Ca - 40°

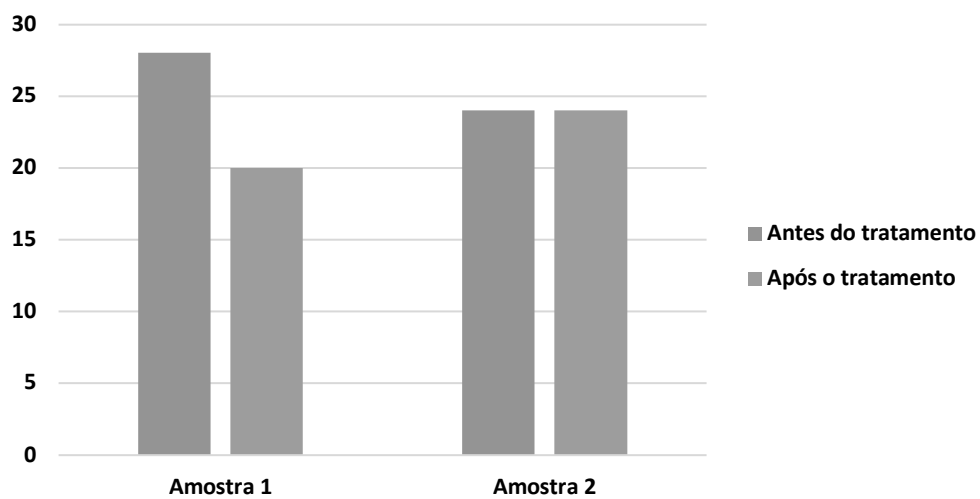


Dureza Ca - 60°

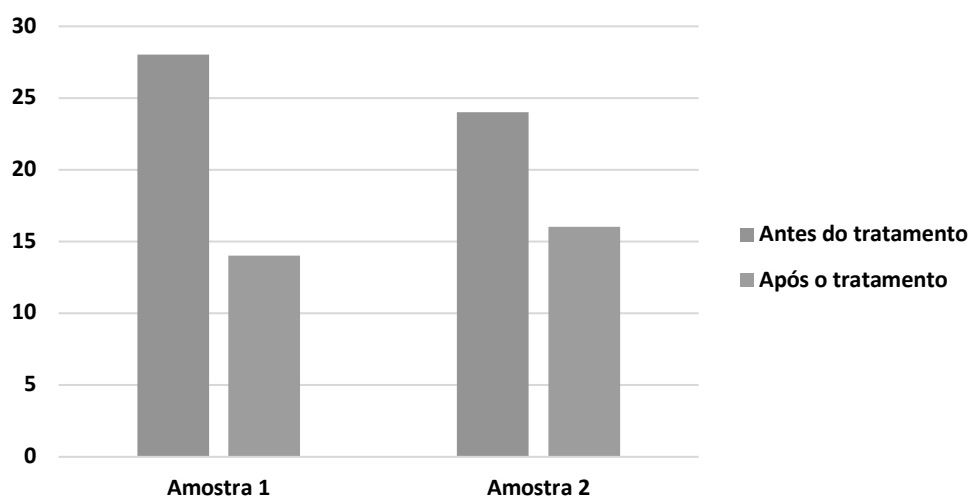


APÊNDICE C: Comparação da Dureza Mg à 40 °C e 60 °C

Dureza Mg - 40°



Dureza Mg - 60°



APÊNDICE D: Comparação do TDS e Condutividade à 40 °C e 60 °C

