



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MERYELLEN DA SILVA BRITO**

**CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA: COMPARATIVO ENTRE  
HIDRÔMETROS CONVENCIONAIS E ULTRASSÔNICOS EM FORTALEZA E  
REGIÃO METROPOLITANA**

**FORTALEZA-CE**

**2025**

**MERYELLEN DA SILVA BRITO**

**CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA: COMPARATIVO ENTRE  
HIDRÔMETROS CONVENCIONAIS E ULTRASSÔNICOS EM FORTALEZA E  
REGIÃO METROPOLITANA**

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior.

**FORTALEZA-CE**

**2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B876c Brito, Meryellen da Silva.

Caracterização do consumo de água : comparativo entre hidrômetros convencionais e ultrassônicos em Fortaleza e Região Metropolitana / Meryellen da Silva Brito. – 2025.  
77 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior.

1. Gestão hídrica. 2. Medidores de água. 3. Sustentabilidade hídrica. 4. Telemetria. I. Título.  
CDD 628

---

**MERYELLEN DA SILVA BRITO**

**CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA: COMPARATIVO ENTRE  
HIDRÔMETROS CONVENCIONAIS E ULTRASSÔNICOS EM FORTALEZA E  
REGIÃO METROPOLITANA**

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

**Aprovada em: 07/03/2025.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior. (Orientador)**  
**Universidade Federal do Ceará (UFC)**

---

**Me. Danylo de Andrade Lima**  
**Universidade Federal do Ceará - DEHA (UFC)**

---

**Dr. Vicente Elício Porfiro Sales Gonçalves da Silva**  
**Universidade Federal do Ceará - DEHA (UFC)**

**A Deus, por ter me proporcionado condições e meios de conseguir realizar esse grande sonho da graduação. E a minha família, em especial minha mãe, Merilany. Amo todos vocês.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por sempre ter provido e enviado meios para que hoje eu pudesse estar aqui, realizando um sonho idealizado por muitos anos na adolescência. Foram 06 anos de plantio, para hoje afirmar que em todos os dias, a Sua bondade estava recaída sobre mim. Agradeço também a minha família, essa base tão sólida que tanto me ajudou, seja financeiramente, emocionalmente ou com palavras de afirmação, sempre acreditando nos meus sonhos. Um agradecimento especial a minha mãe, Mery, essa mulher tão forte e batalhadora, que tanto me ensina e inspira, e me mostra a cada dia o quanto o amor e orações de uma mãe são poderosas.

Na tão sonhada trajetória da graduação, fui presenteada com bons amigos, Stefany, Andresa, Bruno e Christian. Obrigada por tornarem os meus dias mais leves, vocês são pessoas extraordinárias, e como é bom finalizar uma etapa tão importante da vida sabendo que sempre fui rodeada de boas companhias, E parando pra pensar, sentirei saudades dos momentos que só a UFC e vocês proporcionavam.

Na trilha profissional, a tão almejada etapa que sonhei viver ao ingressar no curso, fui rodeada de bons profissionais que se tornaram amigos. Lincoln e Guilherme, obrigada pelos ensinamentos e paciência, vocês são profissionais excelentes e inspiradores, e que de alguma forma, me marcaram em uma das etapas mais importantes até agora. Sei que estou apenas começando, mas como fico feliz de poder ter aprendido tantas coisas com vocês, muito obrigada por tudo.

Ao meu amor, Carlos Henrique, muito obrigada pelos sorrisos ao longo dessa caminhada, pelo incentivo, carinho, amor e palavras de encorajamento, sempre acreditando nos meus sonhos. Ter você ao meu lado tornou os dias difíceis mais leves. Você é luz em um dia nublado, e alegria nos momentos tristes. E como sempre falo, daqui a pouco será o seu momento de está realizando sonhos, e quando esse dia chegar, estarei vibrando e me alegrando com suas conquistas.

Um agradecimento especial às minhas queridas amigas, Ádria e Vitória, que estavam comigo desde quando eu não sabia diferenciar um “mais e mas” (talvez eu ainda me perca um pouco nisso, rs). Obrigada pelos conselhos, carinho, orações e amizade. E minha oração é que Deus guarde o coração e sonhos de vocês, e mostre que os planos Dele não são frustrados. Vocês são mulheres excepcionais. Saibam que agora vocês terão uma amiga engenheira, meio calejada, mas que continua na trajetória para ser uma boa profissional e levar as amigas para viajar. Contem comigo.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu professor orientador, José Carlos Barroso, vulgo professor “Zé Carlos”, obrigada pela paciência ao longo desses poucos meses, foi realmente desafiador organizar e escrever um TCC em tão pouco tempo, mas conseguimos. E tudo isso não seria possível sem a sua ajuda, obrigada por me acompanhar nessa última etapa da graduação. E um agradecimento especial à minha tão amada UFC, lugar que sonhei estudar desde o dia em que participei de uma aula de cursinho do Pró-Exacta e onde, anos depois, por coincidência ou não, me tornei professora voluntária. Sentirei saudades, mas chegou o momento de viver novos sonhos. Espero que não seja um adeus, e sim um até logo... quem sabe.

**"A água é a força motriz de toda a natureza."  
— Leonardo da Vinci (1452–1519)**



## RESUMO

O consumo de água está diretamente relacionado à disponibilidade desse recurso essencial, que é limitado e distribuído de forma desigual no planeta. Apesar de o Brasil deter uma das maiores reservas de água doce do mundo, o acesso a esse recurso varia significativamente entre as regiões, principalmente no Nordeste, como é o caso do estado do Ceará, impactando o consumo e a gestão hídrica desse bem essencial. Com o crescimento populacional e o aumento da demanda por água potável, torna-se cada vez mais importante entender e gerenciar o consumo hídrico de maneira eficiente. Nesse contexto, o uso de tecnologias de medição, como os hidrômetros convencionais e ultrassônicos, desempenha um papel fundamental na medição do consumo de água. Este estudo visa caracterizar o consumo de água em relação ao uso do hidrômetro convencional comparado ao ultrassônico em Fortaleza e na região metropolitana. Para isso, foi realizada uma análise do perfil de consumo de 2.000 clientes distribuídos em diferentes Unidades de Negócio, que utilizam hidrômetros convencionais e posteriormente, ultrassônicos com telemetria. A pesquisa avaliou os registros de medição de água para os dois tipos de hidrômetros, identificando variações no consumo e na precisão das leituras. Além disso, foram apresentadas as características técnicas dos medidores convencionais e ultrassônicos, destacando suas vantagens e desvantagens. Os resultados mostram diferenças na forma de registro de consumo entre os dois tipos de hidrômetros, indicando que o uso de medidores ultrassônicos pode fornecer uma maior precisão na medição e uma melhor gestão hídrica, dada a sua precisão na medição de água, reduzindo assim perdas por subdimensionamento. Além disso, verificou-se a correlação existente entre o consumo e a distribuição socioeconômica nas regiões localizadas na UN-MTL, bem como a influência da alta densidade populacional e a relação que isso possui com o consumo por economia nas unidades UN-MTN, MTO e MTS. A adoção do hidrômetro ultrassônico representa uma alternativa eficiente para o monitoramento do consumo de água em unidades comprovadas, evidenciando sua precisão na medição e vantagens atreladas a isso, como a possibilidade do monitoramento remoto do consumo. Com isso, é fornecido ferramentas valiosas tanto para as companhias de água como para os consumidores no que diz respeito ao uso consciente da água, um recurso tão precioso e finito.

**Palavras-chave:** gestão hídrica; medidores de água; sustentabilidade hídrica; telemetria.

## ABSTRACT

Water consumption is directly related to the availability of this essential resource, which is limited and unevenly distributed across the planet. Although Brazil has one of the largest freshwater reserves in the world, access to this resource varies significantly between regions, especially in the Northeast, as is the case in the state of Ceará, impacting consumption and water management of this essential resource. With population growth and increasing demand for drinking water, it becomes increasingly important to understand and manage water consumption efficiently. In this context, the use of measurement technologies, such as conventional and ultrasonic water meters, plays a fundamental role in measuring water consumption. This study aims to characterize water consumption in relation to the use of conventional water meters compared to ultrasonic ones in Fortaleza and the metropolitan region. To this end, an analysis was carried out of the consumption profile of 2,000 customers distributed across different Business Units, who use ultrasonic water meters with telemetry. The research evaluated water measurement records for each type of water meter, identifying variations in consumption and reading accuracy. Furthermore, the technical characteristics of conventional and ultrasonic meters were presented, highlighting their advantages and disadvantages. The results show significant differences in the way consumption is recorded between the two types of water meters, indicating that the use of ultrasonic meters can provide greater precision in measurement and better water management, given their precision in measuring water, thus reducing losses due to undersizing. Furthermore, the correlation between high consumption per economy and the high purchasing power of the regions located in the UN-MTL was verified, as well as the influence of high population density and the relationship this has with consumption per economy in the UN-MTN, MTO and MTS units. The adoption of the ultrasonic water meter represents an efficient alternative for monitoring water consumption in proven units, highlighting its measurement accuracy and advantages linked to this, such as the possibility of remote monitoring of consumption, providing valuable tools for both water companies and consumers with regard to the conscious use of water, such a precious and finite resource.

**Keywords:** water management; water meters; water sustainability; telemetry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Balanço Hídrico da IWA.....	10
Figura 02: Hidrômetro Multijato.....	16
Figura 03: Hidrômetro Multijato, vista ampliada.....	17
Figura 04: Hidrômetro Unijato.....	18
Figura 05: Hidrômetro Unijato, vista ampliada.....	19
Figura 06: Hidrômetro Volumétrico.....	20
Figura 07: Hidrômetro Volumétrico, visão ampliada.....	21
Figura 08: Hidrômetro Ultrassônico.....	22
Figura 09: Fluxograma de Atividades.....	23
Figura 10: Mapa de Fortaleza e suas 12 regionais.....	24
Figura 11: Localização dos 2000 pontos.....	25
Figura 12: Localização dos 2000 pontos dividido por unidade de negócio.....	26
Figura 13: <i>Outlier</i> Variação no Consumo - Caso 01.....	28
Figura 14: <i>Outlier</i> Consumo Mínimo - Caso 02.....	28
Figura 15: <i>Outlier</i> Consumo Zero - Caso 01.....	29
Figura 16: <i>Outlier</i> Consumo Zero - Caso 02.....	29
Figura 17: <i>Outlier</i> Diferença de Consumo Negativo > 1000m <sup>3</sup> .....	30
Figura 18: <i>Outlier</i> sem dados.....	30
Figura 19: Histórico Consumo.....	31

Figura 20: Consumo Detalhado - Caso 01 .....	32
Figura 21: Consumo Detalhado - Caso 02.....	32
Figura 22: Consumo Anonimizado - Caso 01.....	33
Figura 23: Consumo Anonimizado - Caso 02.....	34
Figura 24: Tabela de Pré-Dimensionamento de Hidrômetros.....	36
Figura 25: Caracterização do Consumo.....	37
Figura 26: Consumo médio por economia.....	38
Figura 27: Escopo Analisado.....	39
Figura 28: Média geral de consumo Antes vs. Após instalação do medidor ultrassônico.....	40
Figura 29: Consumo médio antes vs. após a instalação do hidrômetro ultrassônico.....	40
Figura 30: Comparação do Consumo por UN com a Média Geral após instalação do Medidor Ultrassônico.....	42
Figura 31: Diâmetro dos medidores por Unidade de Negócio.....	43
Figura 32: Economias atendidas por diâmetro.....	45
Figura 33: Análise detalhada do consumo por economia.....	45
Figura 34: Consumo Médio por Economia medidor Ultrassônico vs. Convencional.....	46
Figura 35: Desvio Padrão por Economia Ultrassônico.....	48
Figura 36: Mapa de Calor Consumo por Economia.....	50
Figura 37: Mapa de Calor Consumo por Economia - UNMTL.....	51
Figura 38: Distribuição espacial da renda pessoal nos bairros de Fortaleza.....	52
Figura 39: Mapa de Calor Consumo por Economia - UN-MTN, MTO e MTS.....	53
Figura 40: Densidade Populacional por Bairros (km <sup>2</sup> ) em Fortaleza-CE.....	54

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Consumo médio antes vs. após a instalação do hidrômetro ultrassônico.....	41
Gráfico 2: Consumo Médio por Economia medidor Ultrassônico vs. Convencional.....	47
Gráfico 3: Consumo, Desvio Padrão e CV por Unidade de Negócio, medidor ultrassônico...	48

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

CAGECE – COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ

CIIAGRO - CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS

COGERH - COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

CRA-MG - CONSELHO REGIONAL DE ADMINISTRAÇÃO DE MINAS GERAIS

CV - COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION / ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA

FGTS - FUNDO DE GARANTIA POR TEMPO DE SERVIÇO

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

IOT - INTERNET DAS COISAS

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ

ODS - OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

PNRH - POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

PLANASA - PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO

SINISA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO

ONU - UNIDADE DE NEGÓCIO

UNBME - UNIDADE DE NEGÓCIO BACIA METROPOLITANA OESTE

UNBML - UNIDADE DE NEGÓCIO METROPOLITANA LESTE

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA

UNMTL - UNIDADE DE NEGÓCIO METROPOLITANA LESTE

UNMTN - UNIDADE DE NEGÓCIO METROPOLITANA NORTE

UNMTO - UNIDADE DE NEGÓCIO METROPOLITANA OESTE

UNMTS - UNIDADE DE NEGÓCIO METROPOLITANA SUL

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1.Objetivo Geral	3
1.1.2.Objetivos Específicos	3
<b>2. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1 Desafios Globais e Regionais na Gestão da Água: Escassez, Distribuição e Sustentabilidade	4
2.2 Panorama do Saneamento Básico no Brasil: Legislação, Metas e Desafios no Contexto Atual	8
2.3 A Gestão da Água no Ceará: Desafios, Consumo e Sustentabilidade	10
2.4 A Transformação dos Hidrômetros: Da Micromedição Mecânica às Tecnologias Avançadas	13
2.4.1 Hidrometro Multijato:	15
2.4.2 Hidrômetro Unijato:	17
2.4.3 Hidrômetro Volumétrico:	19
2.4.4 Hidrômetro Ultrassônico:	21
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>23</b>
3.1 Análise da área de estudo	23
3.2 Obtenção e tratamento dos dados	26
3.3 Critérios Técnicos para Seleção do Diâmetro dos Hidrômetros.	34
3.3.1 Hidrômetros Mecânicos :	34
3.3.2 Hidrômetros Volumétricos :	35
3.3.3 Hidrômetros Ultrassônicos :	35
3.4 Caracterização do Consumo	36
3.5 Utilização de Mapas de Calor para Correlação entre Consumo Hídrico e Variáveis Socioeconômicas	39
<b>4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>40</b>
4.1 Caracterização do Consumo Geral nas Unidades de Negócios analisadas.	40
4.2 Caracterização do Consumo por Economia nas Unidades de Negócios analisadas.	43
4.3 Análise do Consumo de Água em Fortaleza e Região Metropolitana: Influências do Poder Aquisitivo e da Densidade Populacional	50
4.4 Análise das Vantagens e Desvantagens na Substituição do Medidor Convencional pelo Ultrassônico	56
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>58</b>
<b>6.REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>60</b>



## 1. INTRODUÇÃO

"A água é uma ligação do planeta, conectando e sustentando a vida nas suas mais diversas formas, tanto no passado quanto no presente." É assim que Rachel Carson (1907–1964), bióloga marinha, escritora e ambientalista norte-americana, define a água. De fato, a existência humana, bem como a de todos os outros seres vivos, fundamenta-se na disponibilidade, distribuição e consumo de água potável e de qualidade. Esse recurso essencial, no entanto, enfrenta desafios crescentes em um cenário global de aumento populacional, urbanização acelerada e mudanças climáticas.

Com o avanço da sociedade e o entendimento de que vivemos em um mundo de recursos finitos, cresce a consciência de que aquilo que consideramos essencial para a existência humana pode se esgotar se não for adequadamente zelado e preservado. Nesse contexto, torna-se fundamental adotar medidas para preservar nosso bem mais precioso: a água. Além disso, a crescente demanda por água potável reforça a necessidade de soluções eficientes que garantam a sua disponibilidade para as gerações futuras. Essas soluções incluem políticas públicas voltadas à conscientização da população e a implementação de tecnologias que auxiliem na redução de perdas desse recurso.

No Brasil, a situação não é diferente. Embora o país possua uma das maiores reservas de água doce do mundo, sua distribuição é desigual, e problemas como desperdício, vazamentos e consumo excessivo desafiam a gestão hídrica. Nesse cenário, a medição precisa do consumo de água torna-se uma ferramenta essencial para a elaboração de políticas de economia e uso racional. A introdução de tecnologias modernas nesse processo é crucial para aumentar a eficiência na distribuição e diminuir as perdas.

Contudo, a responsabilidade pela economia de água não recai apenas sobre o consumidor final. As concessionárias de água, responsáveis pelo tratamento e fornecimento deste recurso, também desempenham um papel crucial. O uso de tecnologias avançadas de medição permite não apenas a detecção precoce de vazamentos, mas também oferece aos consumidores informações precisas sobre seu consumo, promovendo o uso consciente da água.

Diante desse cenário, este estudo aborda a mais nova tecnologia para medição de água: o Hidrômetro Ultrassônico, um dispositivo inovador com alta precisão que utiliza ondas ultrassônicas para medir o fluxo de água, evitando as limitações dos hidrômetros

convencionais. Essa tecnologia promete não apenas maior precisão na medição, mas também maior durabilidade e menor necessidade de manutenção, fatores que podem contribuir significativamente para a eficiência hídrica.

O presente estudo visa analisar o comportamento do consumo de água ao longo de dois anos, comparando duas realidades: uma utilizando o hidrômetro convencional e outra com o hidrômetro ultrassônico, onde será executado a caracterização do consumo por regiões. A pesquisa foi realizada em Fortaleza e Região Metropolitana, regiões de grande relevância urbana e econômica. Dessa forma, pretende-se verificar o impacto dessa tecnologia no padrão de consumo dos usuários, avaliando sua eficácia na medição correta do consumo e no incentivo ao consumo consciente. Os resultados obtidos poderão contribuir para o debate sobre eficiência hídrica, bem como fornecer subsídios para a implementação de políticas públicas voltadas à preservação desse recurso vital.

## **1.1. OBJETIVOS**

### ***1.1.1. Objetivo Geral***

Realizar a caracterização do consumo de água em Fortaleza e região metropolitana em relação ao uso do hidrômetro convencional comparado ao ultrassônico

### ***1.1.2. Objetivos Específicos***

- Caracterização do perfil de consumo específico dos 2.000 clientes alocados nas Unidades de Negócio em Fortaleza e região metropolitana, comparando hidrômetros mecânicos e ultrassônicos com telemetria.;
- Comparar os registros de medição de água para cada tipo de hidrômetro;
- Analisar a relação entre poder aquisitivo, densidade populacional e consumo de água, investigando como essas variáveis influenciam o padrão de consumo hídrico em Fortaleza e região metropolitana;
- Apresentar as características dos medidores convencionais e ultrassônicos na medição do consumo de água em Fortaleza e região metropolitana, bem como as suas vantagens e desvantagens;

## **2. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Desafios Globais e Regionais na Gestão da Água: Escassez, Distribuição e Sustentabilidade**

É amplamente debatida a questão da distribuição e disponibilidade de água no planeta. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 97,5% da água existente no mundo é salgada e não é adequada ao nosso consumo direto. Dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios, disponíveis para o consumo (ANA, 2025). Assim, embora o planeta Terra seja composto por 70% de água em sua superfície, apenas uma pequena parcela é eficaz para o consumo humano, considerando que 97,5% correspondem à água salgada.

Nesse contexto, o ciclo hidrológico desempenha um papel fundamental, sendo o processo natural responsável por transformar, movimentar e renovar a água no planeta. Por meio de etapas como evaporação, condensação, precipitação, infiltração, escoamento superficial e sublimação, o ciclo promove a distribuição de água doce, tornando-a disponível para os ecossistemas e para a humanidade, ainda que em quantidades limitadas, garantindo assim o seu reaproveitamento e redistribuição. A evaporação, impulsionada pela energia solar, transforma a água presente em oceanos, rios, lagos e solos em vapor. Esse processo também ocorre pela transpiração das plantas, formando a chamada evapotranspiração. Já a condensação ocorre quando o vapor d'água sobe para camadas mais frias da atmosfera, formando gotículas que dão origem às nuvens, que gera por consequência a etapa seguinte do ciclo, precipitação, que se manifesta através de chuvas, neve, granizo ou neblina, dependendo da temperatura e outras condições atmosféricas (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

A água precipitada pode infiltrar-se no solo, recarregando aquíferos e lençóis freáticos por meio do processo de percolação, ou escoar superficialmente, alimentando rios, lagos e oceanos. Este último processo é influenciado pela topografia, cobertura vegetal e tipo de solo. Além disso, o ciclo inclui a sublimação, quando o gelo ou a neve passam diretamente do estado sólido para o gasoso, e a ressublimação, que ocorre no sentido inverso (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Considerando a escassa disponibilidade de água doce no mundo e a redistribuição limitada fornecida pelo ciclo hidrológico, torna-se necessário focar sobre a deficiência hídrica e a crise global que o mundo enfrenta atualmente. De acordo com o Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), a deficiência hídrica é definida como a diferença entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real, ocorrendo quando a demanda de água pela atmosfera é maior do que a quantidade de água efetivamente disponível para evaporação e transpiração. Isso indica uma insuficiência hídrica para atender às necessidades ambientais e produtivas (CIIAGRO, 2025). Isso é agravado por fatores como mudanças climáticas, crescimento populacional desordenado, má gestão de recursos hídricos e desmatamento. Peter H. Gleick, em seu livro *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, destaca as desigualdades regionais na disponibilidade de água, evidenciando que áreas como o Oriente Médio, a África Subsaariana e partes da Ásia enfrentam sérios desafios devido à escassez hídrica e conflitos relacionados ao recurso.

Globalmente, cerca de 2 bilhões de pessoas vivem em áreas de alto estresse hídrico (ONU, 2021), e de acordo com a UNESCO (2020), o consumo global de água aumentou seis vezes nos últimos cem anos e continua a crescer cerca de 1% ao ano, impulsionado pelo crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudanças nos padrões de consumo. Além disso, a irregularidade no abastecimento de água e os impactos das mudanças climáticas tendem a agravar a escassez hídrica em regiões já vulneráveis, além de gerar estresse hídrico em áreas que atualmente possuem recursos hídricos. No Brasil, que detém 12% da água doce superficial do planeta, a distribuição desse recurso é desigual, com regiões como o Nordeste enfrentando secas recorrentes (Brasil Escola, 2025). Entre 2012 e 2017, o Nordeste sofreu a maior seca dos últimos 100 anos, afetando mais de 27 milhões de pessoas e resultando em perdas econômicas e agrícolas significativas (ANA, 2018). Esses eventos impactaram a saúde, os ecossistemas e a qualidade de vida das populações afetadas, gerando um impacto em larga escala. Apesar de medidas emergenciais, como o programa *Água para Todos* e o uso de cisternas, o aumento da segurança hídrica no Nordeste ainda enfrenta grandes desafios. A necessidade de políticas públicas mais eficazes e de uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos é essencial para enfrentar o problema.

Outrossim, entender como a água está distribuída é essencial, assim como compreender seu ciclo e os fatores que influenciam sua escassez. Além disso, é crucial compreender seu papel nas diferentes esferas da sociedade e os impactos que o consumo crescente e a gestão inadequada podem gerar, comprometendo o equilíbrio dos recursos

hídricos globais. Essa análise permite avaliar não apenas os desafios atuais, mas também as estratégias possíveis para garantir o acesso equitativo e sustentável à água.

Analisando como se divide o consumo de água, tem-se os seguintes valores, em uma escala mundial: 70% do consumo mundial é utilizado na agricultura, 19% em processos industriais e apenas 11% é destinado ao uso doméstico, como residências, serviços e lazer. No Brasil, 72% da água é utilizada na agricultura, com ênfase em grãos e frutas. Cerca de 10% é destinado ao uso industrial e 18% para uso doméstico (FAO, 2011; ANA, 2022). Além disso, as perdas no sistema de distribuição urbana atingem aproximadamente 40% (SINISA, 2022), o que é alarmante e preocupante.

No Nordeste, região onde se localiza Fortaleza, foco deste trabalho, 80% da água é destinada à agricultura, sendo a maior participação nacional devido à prática intensiva de irrigação, especialmente em regiões semiáridas. 15% se destina ao abastecimento humano, com destaque para grandes cidades como Salvador e Fortaleza, e apenas 5% é consumido pelo setor industrial, concentrando-se em pólos industriais e petroquímicos (ANA, 2022). As perdas na região alcançam quase 50%, principalmente devido à infraestrutura antiga e mal conservada, à alta dependência de sistemas isolados e açudes, que ficam mais propensos a vazamentos e dificuldades de monitoramento em áreas remotas.

Diante do exposto, implementar e executar uma gestão eficiente e uma conservação dos recursos hídricos se tornam imprescindíveis e urgentes. Em 2022, a população mundial atingiu 8 bilhões de pessoas, enquanto o Brasil registra cerca de 203 milhões (7ª maior população do mundo) (IBGE, 2023). Apesar dos números elevados, vivemos em um período de desaceleração do crescimento populacional, mas isso não significa que esforços não devam ser feitos para garantir qualidade de vida para todos.

Analisando esses altos números populacionais, é importante entender o conceito de oferta e demanda de água. A oferta de água refere-se à quantidade de água disponível para consumo em um mercado. Fatores como a disponibilidade de fontes naturais de água (rios, lagos, aquíferos), a capacidade de infraestrutura para captar, tratar e distribuir água, e os impactos das mudanças climáticas, que afetam os ciclos de ocorrência, influenciam a oferta. Além disso, o investimento em tecnologias de dessalinização e a eficiência dos sistemas de distribuição podem aumentar a oferta (Marshall, 1920). Já a demanda é a quantidade de água que os consumidores (residenciais, comerciais, industriais e/ou agrícolas) desejam utilizar por um determinado preço.

A demanda é influenciada diretamente por fatores como a necessidade de água para consumo diário, atividades agrícolas, processos industriais e a conscientização sobre conservação e preservação. Ao contrário de muitos outros bens de consumo, a água tem uma variação no preço relativamente baixa, o que significa que, em muitos casos, a demanda permanece inalterada mesmo com variações no valor, especialmente em contextos de escassez (Keynes, 1936). Em um cenário onde a oferta de água diminui devido a seca, mudanças climáticas ou problemas de infraestrutura, por exemplo, e a demanda permanece igual ou até crescente, os preços podem até subir, mas a procura e utilização se mantêm. Caso a situação não seja revertida, poderíamos chegar ao ponto em que a demanda superará a oferta, resultando no colapso do sistema.

Diante do exposto, é evidente a necessidade de implementar e melhorar medidas sociais, ambientais e legislativas para evitar situações emergenciais como a descrita. O Brasil possui uma legislação avançada para a gestão hídrica, especialmente em contextos de escassez, mudanças climáticas e aumento da demanda por água. Na escala mundial, podemos abordar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estipulados pela Agenda 2030 da ONU, com ênfase no ODS 6 - Água Potável e Saneamento. O objetivo principal do ODS 6 é garantir o acesso universal à água potável e ao saneamento até 2030, com metas voltadas para a melhoria da eficiência no uso da água em todos os setores sociais e para a redução da escassez hídrica, incluindo ações para aumentar a reutilização da água e seu uso mais eficiente (ONU, 2015).

O Brasil, apesar de ter uma das maiores reservas de água doce do planeta, enfrenta grandes desafios relacionados à distribuição desigual, desperdício e poluição. O país tem desenvolvido políticas públicas para garantir a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, como a Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e estabelece diretrizes para a gestão sustentável da água. A Lei enfatiza a gestão descentralizada e participativa, criando comitês de bacias hidrográficas para possibilitar discussões entre usuários, órgãos do governo e sociedade civil. O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) visa promover o uso racional da água e estabelecer metas de curto e longo prazo. A Lei também criou instrumentos de gestão, como cadastros de usuários e planos de bacia hidrográfica, e estabeleceu a cobrança pela utilização da água como um instrumento de gestão.

O país também implementou o Programa Água Doce, focado em soluções para a escassez de água no semiárido brasileiro, com sistemas de dessalinização em comunidades

rurais, integrando o uso de cisternas e permitindo o acesso à água potável em regiões de difícil acesso.

No Nordeste, onde o clima semiárido e a irregularidade nas chuvas impõem desafios, as políticas públicas buscam garantir o abastecimento de água e promover o uso sustentável. A Transposição do Rio São Francisco, por exemplo, visa levar água do Rio São Francisco para as bacias do Rio Paraíba e do Rio Piranhas-Açu, beneficiando os estados da Paraíba, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte. Além disso, os Programas de Captação de Água da Chuva, como a utilização de cisternas, permitem o acesso à água potável em áreas rurais. Essas ações fazem parte do Programa Água para Todos, que busca universalizar o acesso à água nas áreas rurais e semiáridas.

Diante dos enormes desafios enfrentados, não só no Nordeste ou no Brasil, mas no mundo, implementar e estudar ações para mitigar os problemas relacionados à água é de extrema importância, visando identificar as melhores práticas emergenciais para a sociedade.

## **2.2 Panorama do Saneamento Básico no Brasil: Legislação, Metas e Desafios no Contexto Atual**

O saneamento básico de qualidade e acessível representa um grande desafio a ser conquistado e oferecido. Embora seja um direito fundamental e uma necessidade básica, o setor ainda enfrenta diversas dificuldades. No Brasil, as primeiras iniciativas de saneamento remontam a 1591, quando Estácio de Sá executou a escavação do primeiro poço para abastecimento de água no Rio de Janeiro. Contudo, foi apenas em 1940 que teve início a comercialização dos serviços de saneamento, juntamente com a criação de mecanismos de financiamento e autarquias para o abastecimento de água. Em 1971, foi instituído o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), marco que impulsionou o avanço legislativo no setor. O PLANASA foi responsável pela criação das companhias estaduais de saneamento básico, pela alocação de recursos próprios e do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) em operações de financiamento, além de desenvolver uma política nacional de formação de recursos humanos.

Apesar desse progresso significativo, o PLANASA foi interrompido devido a dificuldades financeiras e mudanças políticas, o que resultou em uma estagnação na legislação de apoio ao setor de saneamento no Brasil. No entanto, em 2007, foi aprovada a Lei nº

11.445/2007, o Marco Regulatório do Saneamento Básico, que representou um verdadeiro divisor de águas. Esta lei incluiu, pela primeira vez, os quatro componentes do saneamento básico: abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas. Além disso, reforçou o princípio da universalização do serviço como um valor fundamental, a participação social e a necessidade de planos municipais de saneamento.

No que tange ao abastecimento de água, a lei é clara ao estabelecer que esse serviço deve ser prestado de forma universal, atendendo regiões mais vulneráveis e com déficit de cobertura, desenvolvendo, se necessário, políticas públicas para tal ação. Além disso, a água fornecida deve atender aos padrões de qualidade definidos pela legislação de saúde pública, devendo ser segura para o consumo, livre de contaminantes e submetida à fiscalização e monitoramento contínuos para garantir sua qualidade. Por fim, a prestação desse serviço deve ser eficiente e sustentável, com o uso racional do recurso, a diminuição das perdas (tanto aparentes quanto reais) e melhorias nos processos de captação, tratamento e distribuição, sempre com o objetivo de preservar os mananciais e minimizar os impactos ambientais.

Embora a lei tenha sido revolucionária e estabelecido uma base legal importante, sua implementação foi lenta e as metas de universalização não foram plenamente alcançadas. Diante disso, o Novo Marco Legal do Saneamento, previsto pela Lei nº 14.026/2020, foi implementado para enfrentar as deficiências históricas e persistentes no setor. De acordo com a ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental) e o SINISA (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), em 2020, cerca de 35 milhões de brasileiros não tinham acesso a água potável e mais de 100 milhões não tinham acesso ao serviço de coleta e tratamento de esgoto (ABES, 2020; SNIS, 2020).

Com isso, o Novo Marco do Saneamento visa à universalização do saneamento até 2033, com a meta de garantir que 99% da população tenha acesso a água potável e 90% ao tratamento e coleta de esgoto, permitindo e incentivando a participação da iniciativa privada na prestação desses serviços, e reforçando a importância da melhoria da eficiência e da redução das perdas. Em 2022, o Brasil apresentava um índice de perdas na distribuição de água de 37,78% (SINISA, 2022), valor que representa o volume de água perdido entre a produção e o consumidor final, devido a vazamentos, ligações clandestinas, falhas na medição, roubo, entre outros fatores. A figura abaixo ilustra o uso e as perdas de água em um sistema de abastecimento. Ele divide o volume total de água que entra no sistema em



diferentes categorias para identificar onde ocorrem perdas e como a água é utilizada. O objetivo é ajudar as companhias de água a melhorar a eficiência e reduzir perdas.

**Figura 01 - Balanço Hídrico da IWA**

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados (Inclui água exportada)	ÁGUAS FATURADAS
			Consumos não medidos faturados (estimados)	
	Consumos Autorizados Não Faturados		Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)	ÁGUAS NÃO FATURADAS
			Consumos não medidos não faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)	
	PERDAS	Perdas Aparentes (Comerciais)	Consumos não autorizados (fraudes); Falhas do sistema comercial; Submedição dos hidrômetros.	ÁGUAS NÃO FATURADAS
		Perdas Reais (Físicas)	Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição; Vazamentos nos ramais prediais; Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos.	

Fonte: (ABES, 2015)

No Ceará, onde se concentra o foco do presente estudo, o índice de perdas na distribuição de água é ainda mais alarmante, atingindo cerca de 44,38% (SINISA, 2022), um dos maiores índices de perdas do país. Em Fortaleza, capital do estado, o índice é de 36,62% (SNIS, 2022). Esses valores elevados evidenciam os enormes desafios a serem enfrentados, especialmente considerando que o Novo Marco do Saneamento estabelece como meta reduzir essas perdas a um nível ideal de até 25%.

### 2.3 A Gestão da Água no Ceará: Desafios, Consumo e Sustentabilidade

Falar sobre o consumo de água no Brasil é abordar um tema de grande relevância, considerando a abundância desse recurso hídrico no país e os significativos desafios relacionados à distribuição desigual e ao uso consciente desse recurso. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA, 2021) indicam que, em média, o consumo per capita no Brasil é de aproximadamente 154 litros de água por dia, um número superior ao recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2018), que é de 110 litros diários por pessoa. Entretanto, ao analisar o consumo per capita nas diferentes regiões do Brasil, percebe-se que a média nacional mascara as enormes e preocupantes disparidades regionais que ainda enfrentamos.

No Nordeste, mais precisamente na região semiárida, os desafios relacionados à água são ainda mais evidentes, especialmente devido à escassez hídrica. O Ceará, com uma população estimada em 9,4 milhões de habitantes (IBGE, 2023), enfrenta um cenário em que o acesso e o consumo de água dependem fortemente da infraestrutura de abastecimento e da adoção de tecnologias eficientes. No estado, a média de consumo per capita é de aproximadamente 120 litros por dia (EXAME, 2023), valor abaixo da média nacional. Isso se deve, principalmente, à conscientização sobre o uso racional e à limitada oferta, especialmente em regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos.

Analisando a média das grandes capitais no país, observamos as grandes disparidades de consumo. Analisando a média das grandes capitais no país, observam-se grandes disparidades de consumo. O estado do Rio de Janeiro, por exemplo, apresenta um dos maiores índices, com uma média de 254 litros de água consumidos por habitante ao dia (CRA-MG, 2023). O aumento no consumo per capita nos grandes centros urbanos pode ser atribuído a vários fatores, incluindo o estilo de vida e a falta de uma cultura de economia de água, além da facilidade de acesso ao abastecimento, o que acaba incentivando desperdícios.

Outro exemplo que ilustra essa disparidade é o Maranhão, onde o consumo médio registrado é de 166,3 litros por habitante por dia, ainda acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde. Essa diferença de consumo pode ser vista como um reflexo das desigualdades regionais no acesso à água e ao saneamento básico, o que torna ainda mais urgente a implementação de soluções que promovam a equidade e a eficiência no uso dos recursos hídricos. Por fim, essa desigualdade reflete, em parte, as diferenças no acesso, distribuição e eficiência dos sistemas de saneamento entre as regiões.

No Ceará, o uso consciente e racional da água é uma preocupação crescente, particularmente devido à irregularidade das chuvas e às secas prolongadas. Programas que incentivam o consumo responsável e a redução de desperdícios têm sido implementados, como o reaproveitamento da água da chuva e o uso de hidrômetros mais eficientes.

Embora haja esforços para ampliar o acesso à água potável, os desafios persistem. Cerca de 88% da população urbana cearense tem acesso à água tratada, mas esse número diminui drasticamente nas áreas rurais (IBGE, 2023). Além disso, a cobertura de esgotamento sanitário ainda é insuficiente, o que agrava as condições de saúde pública e a sustentabilidade no uso da água.

Em resumo, o consumo de água no Ceará reflete os desafios enfrentados pelo semiárido brasileiro: limitações na oferta, a necessidade de um uso eficiente e a busca por soluções sustentáveis. Essas questões se tornam ainda mais relevantes no contexto da modernização dos hidrômetros, tema abordado neste trabalho, como uma ferramenta para melhorar a gestão e o controle do consumo hídrico.

Além disso, o dimensionamento adequado das instalações hidráulicas é fundamental no planejamento de edificações, tanto para atender à demanda de consumo quanto para garantir o conforto e a higiene dos usuários. Segundo Hélio Creder, em sua obra *Instalações Hidráulicas e Sanitárias*, as necessidades de consumo de água e o número de dispositivos a serem instalados devem ser calculados com base em diversos fatores, como o tipo de edificação, a ocupação e o uso pretendido dos espaços. Esses fatores impactam diretamente a eficiência do sistema de abastecimento e as soluções econômicas do projeto, além de influenciar a qualidade do serviço prestado aos usuários.

No caso do Ceará, a escassez de recursos hídricos torna o planejamento detalhado ainda mais crucial, para evitar desperdícios e garantir o uso eficiente da água. A escassez de água na região exige que projetos de instalações hidráulicas não apenas atendam à demanda básica, mas que também considerem alternativas sustentáveis, como a coleta de águas pluviais, o reuso de águas e a utilização de tecnologias de baixo consumo, buscando minimizar o impacto ambiental e promover a sustentabilidade.

Hélio Creder também descreveu os requisitos mínimos para instalações sanitárias em diferentes tipos de edificações, abrangendo desde residências e escolas até estabelecimentos comerciais e industriais. Para cada categoria, ele especifica o número necessário de aparelhos, como lavatórios, chuveiros, vasos sanitários e bebedouros, considerando a quantidade de usuários e a frequência de uso. Esses requisitos são estabelecidos com base em normas técnicas que garantem o bom funcionamento do sistema e a adequação às necessidades dos usuários. Além disso, ele destaca a importância de projetar instalações que permitam flexibilidade para futuras expansões ou mudanças nas necessidades de consumo. É essencial entender e aplicar esse conhecimento para dimensionar corretamente as instalações, evitando desperdícios e gastos desnecessários, mas também garantindo que uma infraestrutura seja capaz de acompanhar o crescimento populacional e a evolução das demandas.

Outro ponto relevante abordado no livro é a relação entre a ocupação do edifício e o consumo diário de água. A tabela de consumo predial fornece valores de referência para diversos tipos de edificações, como residências, escolas, hotéis e hospitais. Em residências, por exemplo, estima-se um consumo médio de 200 litros por pessoa ao dia, enquanto em hospitais, esse valor pode chegar a 400 litros, devido à natureza das atividades realizadas, como esterilização e cuidados médicos, que exigem um uso intensivo de água para processos de higienização e funcionamento de equipamentos. Essa tabela serve como uma ferramenta útil para os profissionais da área, pois permite uma previsão mais precisa da demanda, contribuindo para um planejamento mais eficiente e facilitando a margem de erro no dimensionamento.

O dimensionamento correto das instalações hidráulicas não apenas garante que as necessidades dos usuários sejam atendidas, mas também contribui para a eficiência no uso da água, reduzindo desperdícios e otimizando os recursos disponíveis. Para isso, é fundamental adotar tecnologias e soluções que permitam o monitoramento constante do consumo e a manutenção preventiva do sistema. Além disso, a conscientização dos usuários sobre a importância do uso responsável da água desempenha um papel crucial no sucesso de qualquer projeto de instalações hidráulicas. No contexto atual de escassez hídrica, especialmente em regiões semiáridas como o Ceará, essas considerações são ainda mais relevantes. A aplicação de normas técnicas e tabelas de consumo, conforme apresentadas pelo Creder, é essencial para o desenvolvimento de projetos sustentáveis e alinhados às demandas locais. Ao integrar as diretrizes de eficiência hídrica com práticas de gestão adequadas, é possível construir edificações que não apenas atendam às necessidades imediatas, mas também contribuam para a preservação dos recursos hídricos no longo prazo, beneficiando a sociedade como um todo.

## **2.4 A Transformação dos Hidrômetros: Da Micromedição Mecânica às Tecnologias Avançadas**

O hidrômetro é um dispositivo fundamental para medir o consumo de água, desempenhando um papel central no controle e no faturamento desse recurso em instalações residenciais, comerciais e industriais. Essa tecnologia é indispensável para a gestão eficiente da água, um recurso natural limitado e vital. A medição precisa não apenas garante uma

cobrança justa, mas também incentiva a conscientização dos consumidores, promovendo práticas mais sustentáveis no uso da água.

Aspectos como precisão, durabilidade e confiabilidade dos hidrômetros são cruciais para assegurar que a medição atenda às reais necessidades dos usuários. Além disso, esses fatores impactam diretamente a eficiência na distribuição de recursos hídricos, ajudando a evitar desperdícios e a reduzir as perdas operacionais das empresas de saneamento.

No Brasil, a introdução desses dispositivos ocorreu no início do século XX, acompanhando a expansão dos sistemas de saneamento básico nas principais cidades brasileiras. No final do século XIX e início do século XX, cidades como Rio de Janeiro e São Paulo passaram por um rápido crescimento populacional e urbano, o que exigiu melhorias significativas nos serviços de abastecimento de água. Nesse contexto, a medição precisa do consumo de água tornou-se necessária para garantir a distribuição equitativa e a cobrança justa pelo serviço. Os primeiros hidrômetros usados no Brasil eram, em sua maioria, importados de países europeus, onde a tecnologia já estava mais avançada (BERMAD, 2024).

A partir da década de 1940, com o avanço da industrialização e a crescente urbanização, houve uma ampliação significativa na instalação de hidrômetros em residências e estabelecimentos comerciais. Nas décadas seguintes, especialmente a partir de 1970, o país iniciou a produção local de hidrômetros, diminuindo a dependência de importações e permitindo uma maior distribuição desses dispositivos em todo o território nacional. A fabricação nacional também possibilitou a adaptação dos equipamentos às especificidades das redes de abastecimento brasileiras. Com o avanço tecnológico, os hidrômetros evoluíram de dispositivos puramente mecânicos para modelos mais sofisticados, como os hidrômetros ultrassônicos e os medidores inteligentes, que oferecem maior precisão e funcionalidades adicionais, como leitura remota e detecção de anomalias no consumo (BERMAD, 2024).

No Ceará, assim como em outras regiões do Brasil, o uso de hidrômetros iniciou-se com o crescimento das cidades e a expansão das redes de distribuição de água. A instalação de hidrômetros passou a ser mais significativa a partir da década de 1930, com o processo de urbanização das principais cidades do estado, como Fortaleza. Com isso, a micromedição tornou-se uma estratégia de controle, reduzindo o desperdício e melhorando a distribuição de água, recurso escasso na região. Foi somente a partir da década de 1970 que o uso de hidrômetros no estado se intensificou. Durante esse período, a Companhia de Água e Esgoto

do Estado do Ceará (CAGECE) iniciou a instalação em larga escala de hidrômetros mecânicos em todas as unidades consumidoras. A partir dos anos 2000, com a modernização das redes de abastecimento e a busca por mais eficiência no monitoramento do consumo, o estado começou a implementar novas tecnologias, como hidrômetros eletrônicos e, mais recentemente, ultrassônicos.

O mercado de hidrômetros conta com diversas tecnologias que atendem a diferentes demandas. Os hidrômetros mecânicos, por exemplo, são amplamente utilizados devido ao baixo custo e à simplicidade de operação. No entanto, avanços tecnológicos nos últimos anos têm impulsionado a adoção de hidrômetros ultrassônicos, considerados mais modernos. Esses dispositivos oferecem maior precisão na medição e são menos suscetíveis a falhas provocadas por partículas sólidas ou condições adversas da água.

Além de garantir medições precisas, os hidrômetros ultrassônicos possuem capacidades avançadas, como integração a sistemas de telemetria e automação. Isso possibilita a coleta de dados em tempo real, contribuindo para a gestão inteligente de redes de abastecimento – uma funcionalidade particularmente relevante em ambientes urbanos e industriais.

A escolha do tipo de hidrômetro depende de fatores como custo, aplicação específica, condições da rede de distribuição e o nível de precisão requerido. Entretanto, à medida que as cidades buscam soluções mais inteligentes e sustentáveis, a substituição de tecnologias convencionais por alternativas avançadas, como os hidrômetros ultrassônicos, tende a crescer no cenário nacional.

Ainda sobre os tipos de hidrômetros, existem diversas opções disponíveis, cuja escolha, como mencionado anteriormente, depende da finalidade de uso, da precisão necessária e do custo-benefício. Abaixo estão descritos os tipos de hidrômetros mais utilizados no Brasil, acompanhados de suas características e finalidades:

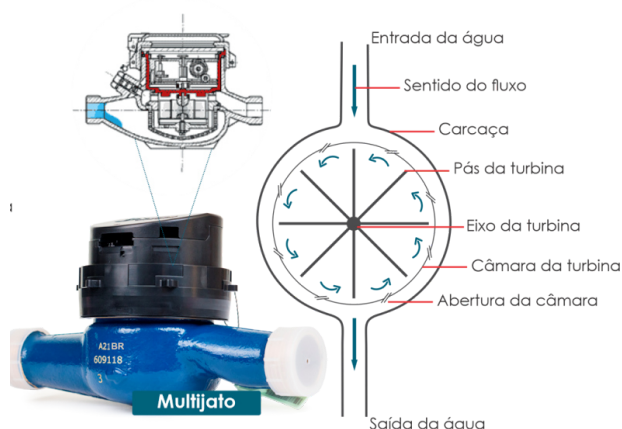
#### ***2.4.1 Hidrometro Multijato:***

Esse tipo de medidor possui várias entradas para a água (em forma de jatos), que distribuem uniformemente o fluxo em torno de uma turbina. O movimento dos jatos de água faz a turbina girar, e o número de giros é proporcional ao volume de água que passou. O

hidrômetro multijato é amplamente utilizado em medições residenciais devido à sua confiabilidade e simplicidade de operação. Ele conta com um sistema de engrenagens que transmite o movimento da turbina para o mostrador, permitindo uma leitura clara e precisa do consumo de água.

Entre suas vantagens estão a boa precisão para fluxos médios e altos, além de sua alta resistência, o que o torna ideal para instalações em áreas urbanas com demandas variáveis de consumo. Ele também possui um custo relativamente acessível em relação a outros tipos de hidrômetros. No entanto, apresenta menor precisão em fluxos baixos, tornando-se menos eficiente em situações onde há um consumo muito reduzido. Além disso, por ser um dispositivo mecânico, está sujeito a desgaste com o tempo, o que pode impactar sua durabilidade e precisão, exigindo manutenção ou substituição periódica.

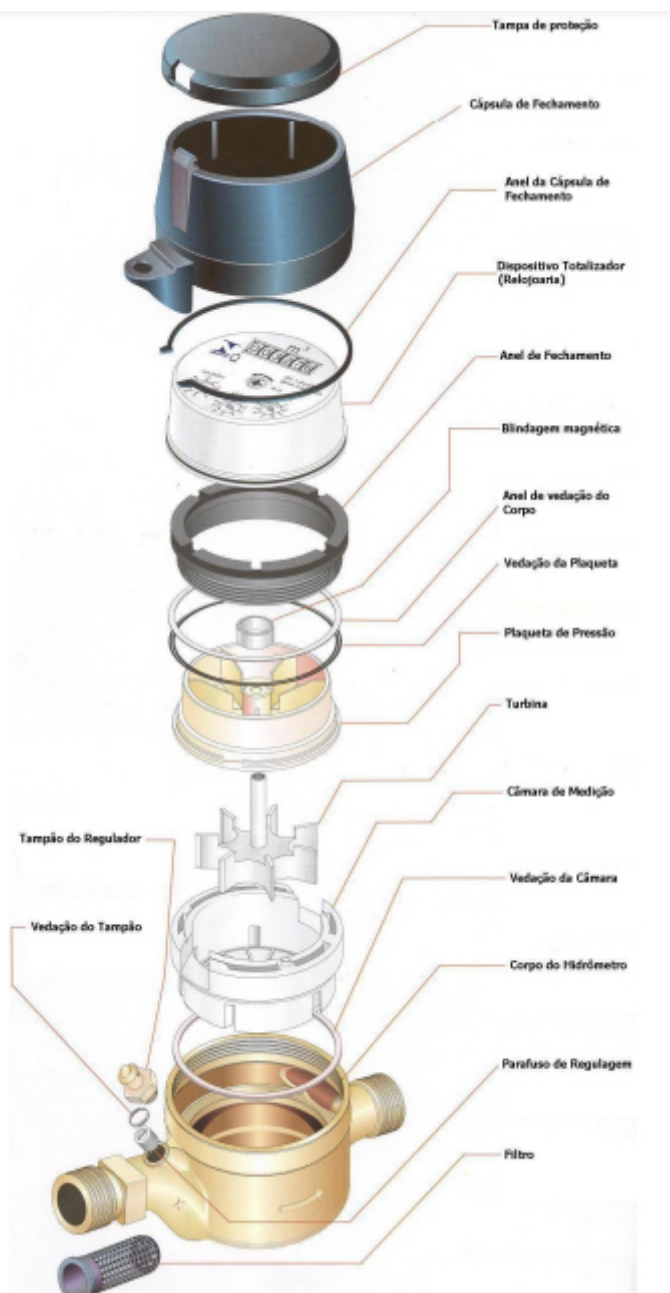
**Figura 02: Hidrômetro Multijato**



Fonte: Adaptado de

<https://empresa.renovamedicao.com.br/como-funciona-o-hidrometro-unijato-e-o-hidrometro-multijato/>

**Figura 03: Hidrômetro Multijato, vista ampliada.**



Fonte: Gularte (2005).

#### **2.4.2 Hidrômetro Unijato:**

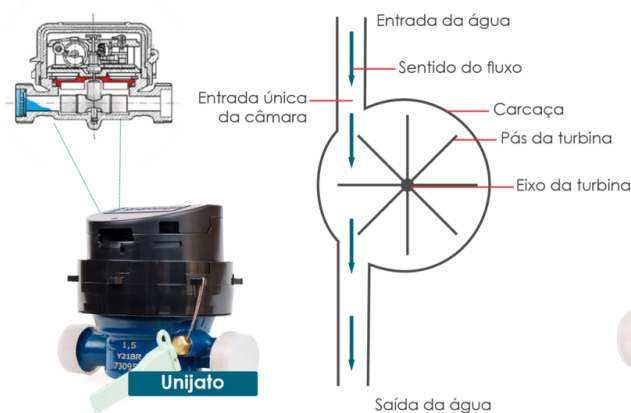
Esse medidor, também conhecido como hidrômetro monojato ou de jato único, é semelhante ao multijato, mas possui apenas uma entrada para a água, que é direcionada



diretamente para a turbina. O movimento da turbina é então transmitido para o mostrador, onde o volume consumido é registrado. Por ter uma estrutura mais simples, o hidrômetro monojato é mais compacto que o multijato, sendo ideal para instalações com espaço reduzido ou onde a vazão de água seja baixa, como em residências pequenas ou locais com consumo limitado.

Entre suas vantagens está a facilidade de instalação em locais de difícil acesso devido ao seu tamanho reduzido. Contudo, ele apresenta algumas limitações, como maior sensibilidade às partículas sólidas presentes na água, que podem causar obstruções ou desgaste mais rápido do equipamento. Além disso, sua precisão é menor em situações de fluxos irregulares, o que pode comprometer a confiabilidade da medição em algumas condições. Por essa razão, é importante avaliar as características da rede de abastecimento e a qualidade da água antes de optar por esse tipo de medidor.

**Figura 04: Hidrômetro Unijato**



Fonte: Adaptado de

<https://empresa.renovamedicao.com.br/como-funciona-o-hidrometro-unijato-e-o-hidrometro-multijato/>

Figura 05: Hidrômetro Unijato, vista ampliada.



Fonte: Gularte (2005)

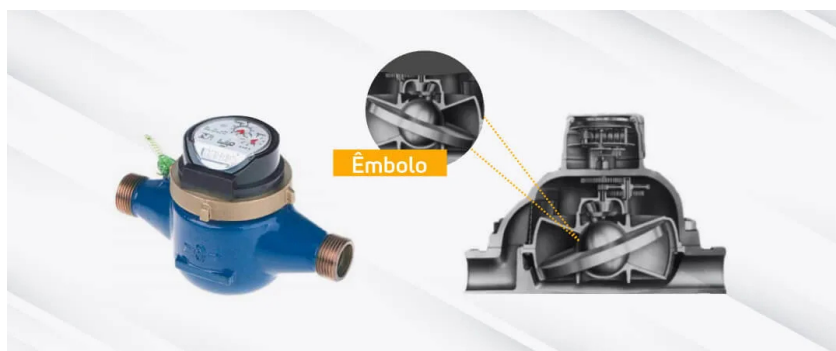
### 2.4.3 Hidrômetro Volumétrico:

Esse tipo de medidor calcula o volume de água com base no preenchimento e esvaziamento de uma câmara, denominada êmbolo ou anel. À medida que a água entra no medidor, o êmbolo se enche e, com a diferença de pressão – maior na entrada –, transporta o

volume de água para a saída. Esse movimento provoca a oscilação de um pistão dentro da câmara, e o número de ciclos desse pistão é utilizado para determinar o consumo de água com alta precisão.

Por medir diretamente o volume de água, esse hidrômetro é altamente preciso, especialmente em condições de baixas vazões, sendo também menos sensível a fluxos irregulares, o que o torna ideal para locais onde o controle rigoroso do consumo é necessário. No entanto, apresenta algumas desvantagens, como um custo mais elevado em comparação aos hidrômetros mecânicos convencionais. Além disso, requer o uso de filtros para proteção, devido à maior sensibilidade às impurezas presentes na água, que podem comprometer sua eficiência e durabilidade. Por esse motivo, é recomendável instalá-lo em redes de abastecimento com boa qualidade de água e realizar manutenções preventivas para garantir sua funcionalidade ao longo do tempo.

**Figura 06: Hidrômetro Volumétrico**



Fonte: <https://www.renovamedicao.com.br/escolha-medidorideal>

**Figura 07: Hidrômetro Volumétrico, visão ampliada.**



Fonte: Coelho (1996)

#### **2.4.4 Hidrômetro Ultrassônico:**

O medidor ultrassônico é um equipamento que mede o fluxo de água utilizando ondas ultrassônicas. Ele é composto por dois sensores que emitem e recebem sinais ultrassônicos simultaneamente, permitindo que as ondas atravessem o fluido. A velocidade dessas ondas é influenciada pela velocidade do próprio líquido. Assim, os sensores medem o tempo de trânsito das ondas, que é proporcional à velocidade do fluxo de água, possibilitando o cálculo preciso do consumo.

Entre suas principais vantagens está a alta precisão, mesmo em condições de vazões baixas, tornando-o ideal para medição em redes com consumos irregulares. Além disso, por não possuir peças móveis, o medidor ultrassônico não sofre desgaste mecânico, o que reduz a necessidade de manutenção ao longo do tempo. Outra característica relevante é sua resistência às impurezas presentes na água, que frequentemente afetam outros tipos de hidrômetros.

Uma inovação significativa desse equipamento é sua capacidade de integração com sistemas de monitoramento remoto, como IoT (Internet das Coisas). Essa funcionalidade permite que tanto a concessionária quanto o usuário acompanhem o consumo de água em tempo real por meio de aplicativos online. Além disso, o medidor ultrassônico facilita a identificação de anormalidades no consumo, como vazamentos ou usos excessivos, promovendo maior controle e eficiência na gestão de recursos hídricos. Apesar de suas vantagens, ele apresenta um custo inicial mais elevado em comparação aos modelos convencionais, o que deve ser considerado na escolha do sistema.

**Figura 08: Hidrômetro Ultrassônico**

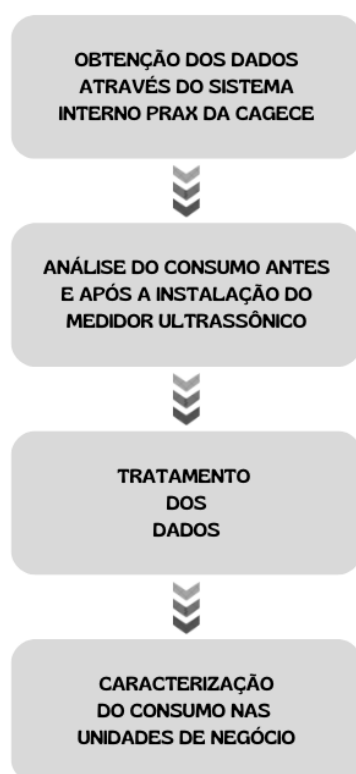


Fonte: <https://hidrauconex.com.br/hidrometro-ultrassonico-octave.html>

### 3. METODOLOGIA

Está descrito neste tópico a metodologia aplicada no presente trabalho, com o objetivo de alcançar os objetivos propostos anteriormente. A figura 09 é um fluxograma resumido das atividades executadas:

**Figura 09: Fluxograma de Atividades**



Fonte: (Autor, 2025)

#### 3.1 Análise da área de estudo

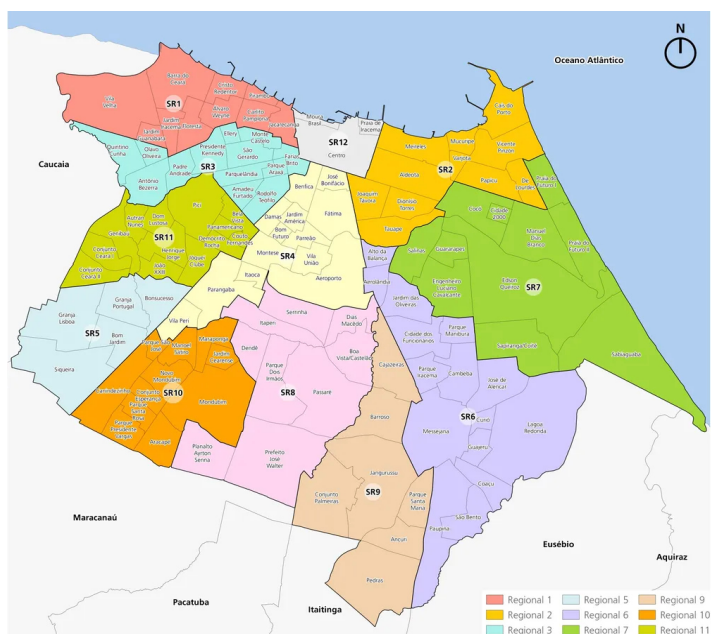
A pesquisa foi conduzida na cidade de Fortaleza e região metropolitana. Fortaleza, capital do estado do Ceará, está localizada na Região Nordeste do Brasil e é uma das cidades mais populosas do país, com uma população superior a 2,4 milhões de habitantes, conforme o Censo Demográfico de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A cidade apresenta um crescimento populacional contínuo e uma urbanização diversificada, que abrange desde áreas de alta densidade populacional até zonas em processo de expansão. Esse processo de crescimento e diversificação é abordado no Plano Diretor de

Fortaleza, que estabelece diretrizes para o desenvolvimento urbano, a reorganização territorial e a melhoria da infraestrutura, promovendo a urbanização planejada e a qualidade de vida dos habitantes (FORTALEZA, 2021)

A área de estudo concentra-se nas regiões que abrigam os 2.000 maiores clientes da companhia, os quais contam com a instalação de medidores ultrassônicos com telemetria. Em setembro de 2022, a Cagece deu início à implantação desses medidores, visando proporcionar leituras mais precisas e em tempo real (CAGECE, 2025).

O mapa a seguir apresenta a área abrangida pelo município de Fortaleza, destacando, em seguida, a localização dos pontos considerados neste estudo.

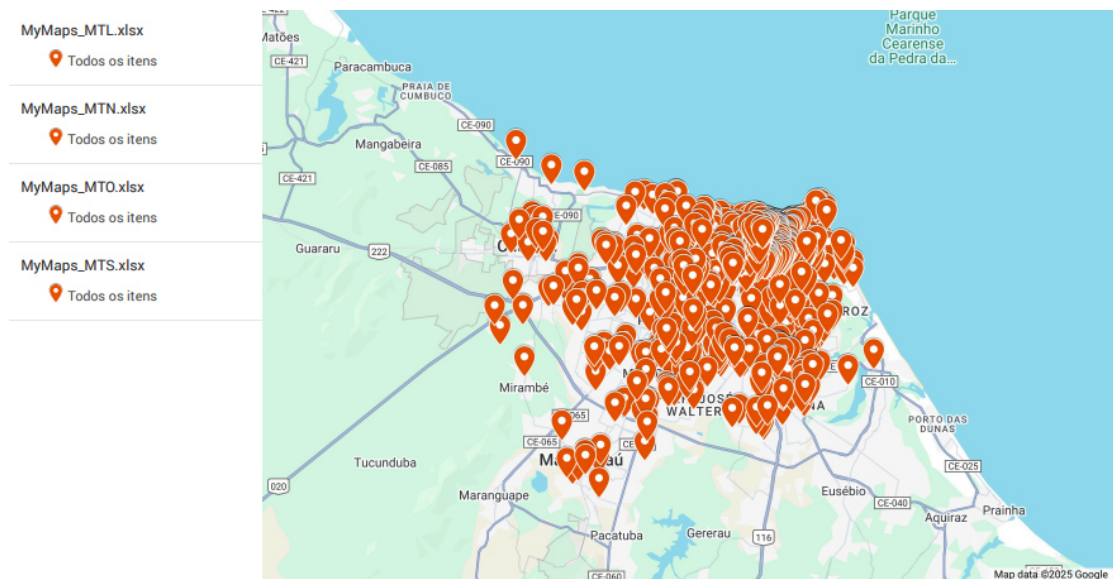
**Figura 10: Mapa de Fortaleza e suas 12 regionais.**



Fonte:

<https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2021/01/06/12-regionais-de-fortaleza-confira-a-nova-divisao-da-capital-ce-areense.ghtml>

**Figura 11: Localização dos 2000 pontos.**



Fonte: (Autor, 2025)

Além disso, é importante destacar que a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) organiza a distribuição de água e o gerenciamento dos recursos hídricos em Fortaleza e no interior do estado por meio de um modelo baseado na divisão territorial em sub-bacias hidrográficas. Esse modelo visa otimizar o controle dos sistemas de abastecimento e garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos, respeitando as características e as necessidades específicas de cada região. Em Fortaleza, as sub-bacias hidrográficas são organizadas nas seguintes unidades de negócios:

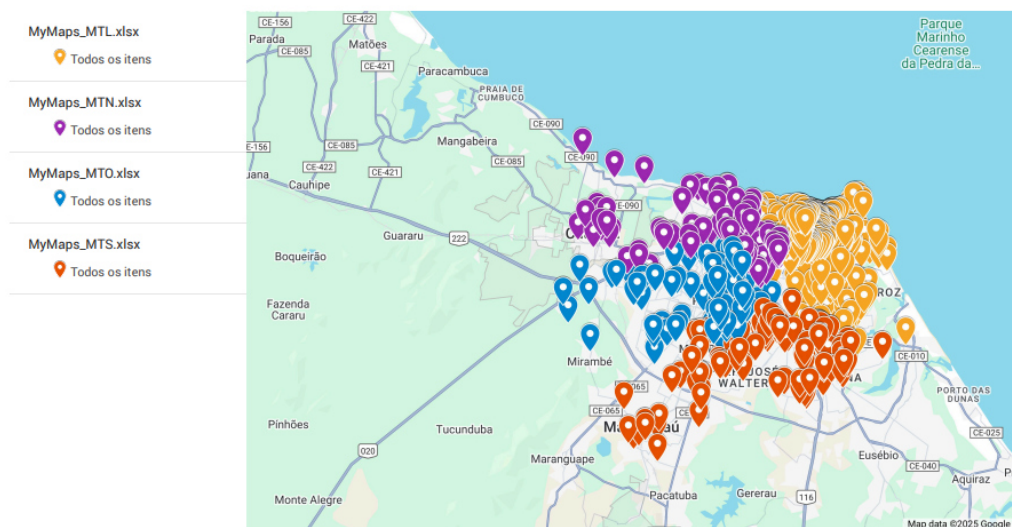
1. Unidade de Negócio Metropolitana Norte (UNMTN), engloba bairros como Presidente Kennedy, Vila Velha, Caucaia (Região Metropolitana), dentre outros.
2. Unidade de Negócio Metropolitana Oeste (UNMTO), engloba bairros como Henrique Jorge, Mondubim, Conjunto Ceará, dentre outros.
3. Unidade de Negócio Metropolitana Sul (UNMTS), engloba bairros como Messejana, Castelão, Maracanaú (Região Metropolitana), Passaré, dentre outros.
4. Unidade de Negócio Metropolitana Leste (UNMTL), engloba bairros como Aldeota, Mucuripe, Meireles, Cocó, dentre outros.

Cada unidade de negócio atende a um número específico de consumidores, que possuem características e perfis de consumo distintos. O mapa a seguir ilustra a distribuição



dos 2.000 clientes que receberam a instalação de medidores ultrassônicos com telemetria, destacando a unidade de negócio à qual cada cliente pertence.

**Figura 12: Localização dos 2000 pontos dividido por unidade de negócio.**



Fonte: (Autor, 2025)

### 3.2 Obtenção e tratamento dos dados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram originalmente coletados para atender a uma demanda específica de trabalho e extraídos do sistema interno da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). Este sistema foi a principal fonte de informações sobre o consumo de água registrado por duas tecnologias distintas de medição: hidrômetros convencionais e ultrassônicos.

Para a análise, adotou-se um período total de 24 meses, dividido em dois intervalos de 12 meses. O primeiro intervalo considerou os 12 meses anteriores à instalação do hidrômetro ultrassônico, quando o consumo de água foi registrado por hidrômetros convencionais. O segundo intervalo correspondeu aos 12 meses subsequentes à instalação do hidrômetro ultrassônico, utilizando como referência o mês de instalação, denominado "mês 0". O estudo concentrou dados de setembro de 2021 até janeiro de 2025, onde a grande maioria se concentra no ano de 2023.

Os dados coletados abrangeram diversas unidades consumidoras, permitindo uma análise comparativa detalhada entre os dois tipos de medidores. Essa abordagem possibilitou observar mudanças no consumo, identificar eventuais variações no padrão de medição e avaliar a precisão e eficiência das tecnologias empregadas.

Para garantir a qualidade dos dados e a confiabilidade dos resultados, todos os registros passaram por verificações no sistema interno da Cagece. Foram considerados apenas os imóveis com registros consistentes de consumo nos dois períodos analisados, evitando discrepâncias causadas por fatores externos, como trocas de imóveis, desocupações ou irregularidades nos registros. Além disso, foi realizado um tratamento rigoroso para excluir pontos considerados como “*outliers*”, ou seja, registros que apresentavam comportamento fora do padrão esperado.

Foram desconsiderados os imóveis cuja média de consumo era igual a zero ou próxima disso, tanto antes quanto após a instalação do hidrômetro ultrassônico, pois esses casos indicavam possível desocupação ou ausência de consumo significativo. Da mesma forma, registros com diferença de consumo negativa elevada (acima de 1000 m<sup>3</sup>) e imóveis que apresentavam variação anormal no consumo também foram excluídos.

Cabe ressaltar que a análise abrangeu todas as 2000 inscrições, avaliando se a queda brusca no consumo indicava uma anormalidade que justificasse a exclusão do ponto ou se refletia apenas uma mudança no perfil de consumo do cliente. Por fim, também foram desconsiderados os imóveis que não possuíam os 24 meses completos de registro de consumo, devido à insuficiência de informações para atender ao padrão adotado na análise. Essa exclusão foi essencial para garantir a consistência e a comparabilidade dos dados entre os períodos avaliados. Segue abaixo as subcategorias que os pontos *outliers* foram divididos:

1. *Outlier* Variação no Consumo: Pontos em que o consumo foi inferior à média dos demais meses do imóvel em, pelo menos, 5 meses, ou que não apresentavam uma homogeneidade nos dados.

**Figura 13: *Outlier* Variação no Consumo - Caso 01.**

DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
13/04/2022	-12	202204	10589	400
13/05/2022	-11	202205	11008	419
13/06/2022	-10	202206	11461	453
13/07/2022	-9	202207	11897	436
12/08/2022	-8	202208	12285	388
13/09/2022	-7	202209	12750	465
13/10/2022	-6	202210	13171	421
12/11/2022	-5	202211	13596	425
13/12/2022	-4	202212	14017	421
13/01/2023	-3	202301	14385	368
13/02/2023	-2	202302	14842	457
15/03/2023	-1	202303	15296	454
14/04/2023	0	202304	15796	500
15/05/2023	1	202305	277	488
14/06/2023	2	202306	787	510
14/07/2023	3	202307	975	188
14/08/2023	4	202308	981	6
13/09/2023	5	202309	987	6
14/10/2023	6	202310	1018	31
14/11/2023	7	202311	1086	68
14/12/2023	8	202312	1161	77
12/01/2024	9	202401	1210	49
12/02/2024	10	202402	1271	61
13/03/2024	11	202403	1320	49
12/04/2024	12	202404	1367	47

Fonte: (Autor, 2025)

**Figura 14: *Outlier* Consumo Mínimo - Caso 02.**

DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
06/05/2022	-12	202205	207	81
06/06/2022	-11	202206	270	63
06/07/2022	-10	202207	335	65
05/08/2022	-9	202208	909	574
06/09/2022	-8	202209	1039	130
06/10/2022	-7	202210	1370	331
05/11/2022	-6	202211	2070	700
06/12/2022	-5	202212	2731	661
06/01/2023	-4	202301	3279	548
06/02/2023	-3	202302	3804	525
08/03/2023	-2	202303	4408	604
06/04/2023	-1	202304	4763	355
06/05/2023	0	202305	4944	181
06/06/2023	1	202306	444	740
06/07/2023	2	202307	1091	647
05/08/2023	3	202308	1552	461
06/09/2023	4	202309	2072	520
06/10/2023	5	202310	2372	300
07/11/2023	6	202311	2548	176
07/12/2023	0	202312	2558	10
05/01/2024	8	202401	2688	130
05/02/2024	0	202402	2696	8
06/03/2024	0	202403	2725	29
05/04/2024	11	202404	2731	6
06/05/2024	12	202405	2736	5

Fonte: (Autor, 2025)

2. *Outlier* Consumo Zero: Pontos em que o consumo é zero ou próximo a zero, em pelo menos 05 meses.

**Figura 15: *Outlier* Consumo Zero - Caso 01.**

DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
03/12/2021	-12	202112	3748	76
04/01/2022	-11	202201	3748	0
03/02/2022	-10	202202	3748	0
04/03/2022	-9	202203	3807	59
04/04/2022	-8	202204	3807	0
04/05/2022	-7	202205	3807	0
03/06/2022	-6	202206	3807	0
04/07/2022	-5	202207	3807	0
03/08/2022	-4	202208	3807	0
03/09/2022	-3	202209	3807	0
04/10/2022	-2	202210	3807	0
03/11/2022	-1	202211	3807	0
03/12/2022	0	202212	3888	81
04/01/2023	1	202301	0	0
03/02/2023	2	202302	3	3
06/03/2023	3	202303	3	0
04/04/2023	4	202304	54	51
04/05/2023	5	202305	102	48
03/06/2023	6	202306	195	93
04/07/2023	7	202307	238	43
03/08/2023	8	202308	260	22
04/09/2023	9	202309	262	2
04/10/2023	10	202310	267	5
04/11/2023	11	202311	0	30
05/12/2023	12	202312	267	27

Fonte: (Autor, 2025)

**Figura 16: *Outlier* Consumo Zero - Caso 02.**

DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
09/09/2022	-12	202209	6693	0
10/10/2022	-11	202210	6697	4
09/11/2022	-10	202211	6699	2
09/12/2022	-9	202212	6705	6
10/01/2023	-8	202301	6709	4
09/02/2023	-7	202302	6710	1
11/03/2023	-6	202303	6710	0
11/04/2023	-5	202304	6727	17
10/05/2023	-4	202305	6727	0
10/06/2023	-3	202306	6728	1
11/07/2023	-2	202307	6728	0
10/08/2023	-1	202308	6728	0
09/09/2023	0	202309	6728	0
10/10/2023	1	202310	0	0
10/11/2023	2	202311	0	0
11/12/2023	3	202312	0	0
10/01/2024	4	202401	0	0
09/02/2024	5	202402	0	0
11/03/2024	6	202403	0	0
10/04/2024	7	202404	0	0
10/05/2024	8	202405	0	0
10/06/2024	9	202406	0	0
10/07/2024	10	202407	93	93
09/08/2024	11	202408	248	155
10/09/2024	12	202409	357	109

Fonte: (Autor, 2025)

3. *Outlier* Diferença de Consumo Negativo: Pontos onde a diferença de consumo é negativa e maior que 1000m<sup>3</sup>.

**Figura 17: *Outlier* Diferença de Consumo Negativo > 1000m<sup>3</sup>**

Média de Consumo Antes (m <sup>3</sup> )	Média de Consumo após (m <sup>3</sup> )	Diferença de consumo	Situação	Motivo
2503,11	1372,50	-1130,61	Retirado	Outlier Diferença de Consumo Negativo > 1000m <sup>3</sup>
3127,50	2026,92	-1100,58	Retirado	Outlier Diferença de Consumo Negativo > 1000m <sup>3</sup>

Fonte: (Autor, 2025)

4. *Outlier* Sem Dados: Pontos em que não há os 24 meses completos para a análise do consumo. No caso abaixo, trata-se de uma nova ligação realizada com a instalação do medidor ultrassônico, o que resultou na ausência dos 12 meses anteriores à instalação.

**Figura 18: *Outlier* sem dados.**

DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
10/01/2024	1	202401	606	550
09/02/2024	2	202402	921	315
11/03/2024	3	202403	969	0
10/04/2024	4	202404	969	0
10/05/2024	5	202405	1090	169
10/06/2024	6	202406	1090	204
10/07/2024	7	202407	1090	204
09/08/2024	8	202408	1299	209
10/09/2024	9	202409	1485	186
10/10/2024	10	202410	1551	66
09/11/2024	11	202411	1880	329
10/12/2024	12	202412	2349	469

Fonte: (Autor, 2025)

A escolha do intervalo de 12 meses antes e 12 meses após a instalação do hidrômetro ultrassônico também visou mitigar os efeitos de variações sazonais no consumo de água, como períodos de estiagem ou alta demanda. Essa abordagem permitiu uma comparação mais equilibrada e precisa entre as duas tecnologias de medição, contribuindo para a confiabilidade dos resultados obtidos. Além disso, vale ressaltar que, durante o período analisado (2021-2025), não houve necessidade de racionamento de água, pois os reservatórios do estado e do município estavam com níveis elevados. Em novembro de 2024, os reservatórios do Ceará atingiram 46,65% da capacidade total, o maior volume registrado desde 2012 (O POVO, 2024). Já em janeiro de 2025, o nível dos reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh) alcançou 43% da capacidade total (COGERH, 2025).

Com essa abordagem, a pesquisa buscou não apenas avaliar as diferenças de consumo em função das tecnologias, mas também explorar o impacto da troca de medidores na gestão e no uso eficiente dos recursos hídricos. Com isso, foi feita a caracterização do consumo nas unidades de negócio apresentadas anteriormente, bem como o comparativo desta. Além disso, ao final, foi avaliado as vantagens e desvantagens do medidor mecânico e ultrassônico através da análise de como cada medidor se comportou nos períodos analisados. A Figura 19 exemplifica como os dados foram organizados, tendo como base a análise em cima dos 24 meses de consumos, e o “mês 0” como o mês de instalação:

**Figura 19: Histórico Consumo.**

DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
19/05/2022	-12	202205	568	1002
18/06/2022	-11	202206	1558	990
19/07/2022	-10	202207	2561	1003
18/08/2022	-9	202208	3587	1026
17/09/2022	-8	202209	4728	1141
18/10/2022	-7	202210	5794	1066
18/11/2022	-6	202211	6937	1143
17/12/2022	-5	202212	8033	1096
18/01/2023	-4	202301	9173	1140
17/02/2023	-3	202302	10137	964
20/03/2023	-2	202303	11175	1038
19/04/2023	-1	202304	12098	923
19/05/2023	0	202305	13082	984
19/06/2023	1	202306	934	1334
19/07/2023	2	202307	2051	1117
18/08/2023	3	202308	3110	1059
18/09/2023	4	202309	4094	984
19/10/2023	5	202310	5147	1053
18/11/2023	6	202311	6221	1074
19/12/2023	7	202312	7340	1119
17/01/2024	8	202401	8331	991
17/02/2024	9	202402	9398	1067
18/03/2024	10	202403	10426	1028
17/04/2024	11	202404	11435	1009
17/05/2024	12	202405	12498	1063

Fonte: (Autor, 2025)

Após a organização e padronização dos valores de consumo medido, os imóveis foram identificados de acordo com as unidades de negócio às quais pertenciam e os diâmetros dos hidrômetros ultrassônicos instalados. A seguir, apresenta-se a forma como os dados ficaram organizados após o processo dessa identificação:

**Figura 20: Consumo Detalhado - Caso 01.**

UN	DN	DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
UN-MTL	DN 25	01/02/2022	-12	202202	9018	330
UN-MTL	DN 25	02/03/2022	-11	202203	9259	241
UN-MTL	DN 25	01/04/2022	-10	202204	290	300
UN-MTL	DN 25	02/05/2022	-9	202205	611	321
UN-MTL	DN 25	01/06/2022	-8	202206	850	239
UN-MTL	DN 25	01/07/2022	-7	202207	1061	211
UN-MTL	DN 25	01/08/2022	-6	202208	1330	269
UN-MTL	DN 25	01/09/2022	-5	202209	1662	332
UN-MTL	DN 25	01/10/2022	-4	202210	1898	236
UN-MTL	DN 25	01/11/2022	-3	202211	2294	396
UN-MTL	DN 25	01/12/2022	-2	202212	2580	286
UN-MTL	DN 25	02/01/2023	-1	202301	2895	315
UN-MTL	DN 25	01/02/2023	0	202302	3255	360
UN-MTL	DN 25	03/03/2023	1	202303	281	290
UN-MTL	DN 25	01/04/2023	2	202304	559	278
UN-MTL	DN 25	02/05/2023	3	202305	852	293
UN-MTL	DN 25	01/06/2023	4	202306	1130	278
UN-MTL	DN 25	01/07/2023	5	202307	1589	459
UN-MTL	DN 25	01/08/2023	6	202308	1839	250
UN-MTL	DN 25	01/09/2023	7	202309	2121	282
UN-MTL	DN 25	02/10/2023	8	202310	2421	300
UN-MTL	DN 25	01/11/2023	9	202311	2671	250
UN-MTL	DN 25	01/12/2023	10	202312	2982	311
UN-MTL	DN 25	02/01/2024	11	202401	3313	331
UN-MTL	DN 25	01/02/2024	12	202402	3674	361

Fonte: (Autor, 2025)

**Figura 21: Consumo Detalhado - Caso 02.**

UN	DN	DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
UN-MTL	DN 25	02/01/2022	-12	202201	34689	359
UN-MTL	DN 25	01/02/2022	-11	202202	34908	219
UN-MTL	DN 25	02/03/2022	-10	202203	35250	342
UN-MTL	DN 25	01/04/2022	-9	202204	35619	369
UN-MTL	DN 25	02/05/2022	-8	202205	35883	264
UN-MTL	DN 25	01/06/2022	-7	202206	36173	290
UN-MTL	DN 25	01/07/2022	-6	202207	36520	347
UN-MTL	DN 25	01/08/2022	-5	202208	36873	353
UN-MTL	DN 25	01/09/2022	-4	202209	37250	377
UN-MTL	DN 25	01/10/2022	-3	202210	37546	296
UN-MTL	DN 25	01/11/2022	-2	202211	37884	338
UN-MTL	DN 25	01/12/2022	-1	202212	38285	401
UN-MTL	DN 25	02/01/2023	0	202301	38860	575
UN-MTL	DN 25	01/02/2023	1	202302	99	212
UN-MTL	DN 25	03/03/2023	2	202303	492	393
UN-MTL	DN 25	01/04/2023	3	202304	857	365
UN-MTL	DN 25	02/05/2023	4	202305	1306	449
UN-MTL	DN 25	01/06/2023	5	202306	1732	435
UN-MTL	DN 25	01/07/2023	6	202307	2106	374
UN-MTL	DN 25	01/08/2023	7	202308	2598	492
UN-MTL	DN 25	01/09/2023	8	202309	3041	451
UN-MTL	DN 25	02/10/2023	9	202310	3440	410
UN-MTL	DN 25	01/11/2023	10	202311	3856	416
UN-MTL	DN 25	01/12/2023	11	202312	4287	431
UN-MTL	DN 25	02/01/2024	12	202401	4715	428

Fonte: (Autor, 2025)

Para concluir esta etapa de análise dos dados, foi realizado o processo de anonimização dos imóveis. Essa medida visa garantir a proteção dos dados pessoais e o sigilo das informações dos clientes envolvidos no estudo, em conformidade com as boas práticas de privacidade e segurança da informação. Cada imóvel foi identificado por um número único, sequencial, que varia de 1 a 2000.

O processo de anonimização foi essencial para garantir que o foco da pesquisa – a caracterização do consumo de água – fosse mantido sem comprometer a identidade dos clientes. Assim, qualquer informação sensível, como endereço ou dados pessoais, foi desvinculada das análises realizadas, garantindo que os resultados fossem utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e técnicos.

Essa abordagem também reforça o compromisso com a ética na manipulação de dados, permitindo que a pesquisa atenda aos princípios de integridade e confidencialidade, garantindo que nenhuma informação possa ser rastreada ou associada diretamente aos consumidores avaliados. Logo abaixo, é apresentada a forma como os dados finais foram organizados e utilizados para a caracterização do consumo:

**Figura 22: Consumo Anonimizado - Caso 01.**

Cliente	UN	DN	DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
10	UN-MTL	DN 25	01/02/2022	-12	202202	9018	330
10	UN-MTL	DN 25	02/03/2022	-11	202203	9259	241
10	UN-MTL	DN 25	01/04/2022	-10	202204	290	300
10	UN-MTL	DN 25	02/05/2022	-9	202205	611	321
10	UN-MTL	DN 25	01/06/2022	-8	202206	850	239
10	UN-MTL	DN 25	01/07/2022	-7	202207	1061	211
10	UN-MTL	DN 25	01/08/2022	-6	202208	1330	269
10	UN-MTL	DN 25	01/09/2022	-5	202209	1662	332
10	UN-MTL	DN 25	01/10/2022	-4	202210	1898	236
10	UN-MTL	DN 25	01/11/2022	-3	202211	2294	396
10	UN-MTL	DN 25	01/12/2022	-2	202212	2580	286
10	UN-MTL	DN 25	02/01/2023	-1	202301	2895	315
10	UN-MTL	DN 25	01/02/2023	0	202302	3255	360
10	UN-MTL	DN 25	03/03/2023	1	202303	281	290
10	UN-MTL	DN 25	01/04/2023	2	202304	559	278
10	UN-MTL	DN 25	02/05/2023	3	202305	852	293
10	UN-MTL	DN 25	01/06/2023	4	202306	1130	278
10	UN-MTL	DN 25	01/07/2023	5	202307	1589	459
10	UN-MTL	DN 25	01/08/2023	6	202308	1839	250
10	UN-MTL	DN 25	01/09/2023	7	202309	2121	282
10	UN-MTL	DN 25	02/10/2023	8	202310	2421	300
10	UN-MTL	DN 25	01/11/2023	9	202311	2671	250
10	UN-MTL	DN 25	01/12/2023	10	202312	2982	311
10	UN-MTL	DN 25	02/01/2024	11	202401	3313	331
10	UN-MTL	DN 25	01/02/2024	12	202402	3674	361

Fonte: (Autor, 2025)



**Figura 23: Consumo Anonimizado - Caso 02.**

Ciente	UN	DN	DataLeitura	MêsRef	Competência	Leitura	Consumo
5	UN-MTL	DN 25	02/01/2022	-12	202201	34689	359
5	UN-MTL	DN 25	01/02/2022	-11	202202	34908	219
5	UN-MTL	DN 25	02/03/2022	-10	202203	35250	342
5	UN-MTL	DN 25	01/04/2022	-9	202204	35619	369
5	UN-MTL	DN 25	02/05/2022	-8	202205	35883	264
5	UN-MTL	DN 25	01/06/2022	-7	202206	36173	290
5	UN-MTL	DN 25	01/07/2022	-6	202207	36520	347
5	UN-MTL	DN 25	01/08/2022	-5	202208	36873	353
5	UN-MTL	DN 25	01/09/2022	-4	202209	37250	377
5	UN-MTL	DN 25	01/10/2022	-3	202210	37546	296
5	UN-MTL	DN 25	01/11/2022	-2	202211	37884	338
5	UN-MTL	DN 25	01/12/2022	-1	202212	38285	401
5	UN-MTL	DN 25	02/01/2023	0	202301	38860	575
5	UN-MTL	DN 25	01/02/2023	1	202302	99	212
5	UN-MTL	DN 25	03/03/2023	2	202303	492	393
5	UN-MTL	DN 25	01/04/2023	3	202304	857	365
5	UN-MTL	DN 25	02/05/2023	4	202305	1306	449
5	UN-MTL	DN 25	01/06/2023	5	202306	1732	435
5	UN-MTL	DN 25	01/07/2023	6	202307	2106	374
5	UN-MTL	DN 25	01/08/2023	7	202308	2598	492
5	UN-MTL	DN 25	01/09/2023	8	202309	3041	451
5	UN-MTL	DN 25	02/10/2023	9	202310	3440	410
5	UN-MTL	DN 25	01/11/2023	10	202311	3856	416
5	UN-MTL	DN 25	01/12/2023	11	202312	4287	431
5	UN-MTL	DN 25	02/01/2024	12	202401	4715	428

Fonte: (Autor, 2025)

### 3.3 Critérios Técnicos para Seleção do Diâmetro dos Hidrômetros.

A tabela de pré-dimensionamento de hidrômetros adotada pela CAGECE apresenta os critérios técnicos para a seleção de hidrômetros, considerando o número de economias alimentadas, o consumo médio mensal e a tecnologia aplicada. A classificação está dividida em três categorias principais: hidrômetros mecânicos, volumétricos e ultrassônicos.

#### 3.3.1 Hidrômetros Mecânicos :

- São recomendados para 1 até 2.000 economias, com um consumo médio mensal variando de 360 m³/mês (para economias menores) a 81.000 m³/mês (para grandes economias).
- A escolha do hidrômetro é baseada na vazão nominal (Qn), que varia de 1,5 m³/h a 150 m³/h, e nos diâmetros que vão de ¾" a 6".
- Inclui modelos velocimétricos e Woltmann, indicados por letras de designação que variam de A a L, com diferentes classes de precisão e códigos específicos para cada marca.

### **3.3.2 Hidrômetros Volumétricos :**


- Aplicáveis para até 20 economias, com consumo médio mensal máximo de 600 m<sup>3</sup>/mês.
- Apresenta uma vazão permanente (Q3) de 2,5 m<sup>3</sup>/h, com diâmetro de ¾".
- São classificados na categoria volumétrica, com a designação "A" e classe "C".

### **3.3.3 Hidrômetros Ultrassônicos :**

- Projetados para maior precisão e tecnologia tecnológica, são indicados para até 4.000 economias.
- O consumo médio mensal vai de 25 m<sup>3</sup>/mês (para 0 a 25 economias) a 169.000 m<sup>3</sup>/mês (para a quantidade máxima de economias).
- Os diâmetros vão de ¾ a 6", e as vazões permanentes (Q3) chegam a 250 m<sup>3</sup>/h.
- Oferecem vantagens como maior isolamento em baixas vazões e resistência a impurezas, sendo ideais para aplicações mais modernas e exigentes.

Essa tabela ilustra a relação entre o número de economias atendidas e as especificações técnicas do medidor, abrangendo aspectos como o tipo, diâmetro, vazão e classe de medição. A sua utilização foi fundamental para subsidiar a caracterização do consumo, tema que será explorado em maior detalhe nos tópicos seguintes. Segue abaixo a tabela utilizada:

Figura 24: Tabela de Pré-Dimensionamento de Hidrômetros.


**Cagece**

**TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE HIDRÔMETROS**



**CEARÁ**  
GOVERNO DO ESTADO  
SECRETARIA DE OBRAS

Tabela de pré-dimensionamento de hidrômetro adotada pela CAGECE em função do número de economias e tecnologia.

**HIDRÔMETROS MECÂNICOS**

Nº de Economias	CONSUMO MÉDIO MENSAL		Tipo	Vazão nominal (Qn)	Designação do Hidrômetro	Classe	ESPECIFICAÇÃO DO MEDIDOR		Cód.Item
	Mín	Máx					Diâmetro		
	(m³/mês)						Pol	mm	
1 a 12	0	360	Velocimétrico	1,5	A	B ou C	¾"	20	060605000002 / 060605000055
13 a 40	361	1200	Velocimétrico	3,5	C	B	1"	25	060605000001
41 a 60	1201	1800	Velocimétrico	5	D	B	1"	25	060605000007
61 a 120	1801	3600	Velocimétrico	10	E	B	1 ½"	40	060605000006
121 a 180	3601	5400	Velocimétrico / Woltmann	15	F / G	B	2"	50	060605000003 / 060605000014
181 a 480	5401	14400	Woltmann	40	J	B	3"	80	060605000011
481 a 720	14401	21600	Woltmann	60	K	B	4"	100	060605000012
721 a 2000	21601	81000	Woltmann	150	L	B	6"	150	060605000013

**HIDRÔMETROS VOLUMÉTRICOS**

Nº de Economias	CONSUMO MÉDIO MENSAL		Tipo	Vazão Permanente (Q3)	Designação do Hidrômetro	Classe	ESPECIFICAÇÃO DO MEDIDOR		Cód.Item
	Mín	Máx					Diâmetro		
	(m³/mês)						Pol	mm	
0 a 20	0	600	Volumétrico	2,5	A	C	¾"	20	060605000056

**HIDRÔMETROS ULTRASSÔNICOS**

Nº de Economias	CONSUMO MÉDIO MENSAL		Tipo	Vazão Permanente (Q3)	Designação do Hidrômetro	Classe	ESPECIFICAÇÃO DO MEDIDOR		Cód.Item
	Mín	Máx					Diâmetro		
	(m³/mês)						Pol	mm	
0 a 25	25	750	Ultrassônico	2,5	A	2	¾"	20	060605000048
26 a 90	751	2800	Ultrassônico	6,3	C	2	1"	25	060605000064 / 060605000049
91 a 240	2801	7200	Ultrassônico	16	E	2	1 ½"	40	060605000050
241 a 370	7201	11200	Ultrassônico	25	F	2	2"	50	060605000051
371 a 940	11201	28300	Ultrassônico	63	J	2	3"	80	060605000052
941 a 1500	28301	45000	Ultrassônico	100	K	2	4"	100	060605000053
1501 a 4000	45001	169000	Ultrassônico	250	L	2	6"	150	060605000054

Fortaleza, 25 de janeiro de 2024

Fortaleza, 25 de janeiro de 2024

Fonte: Regimento Interno da CAGECE, 2024. Documento interno.

### 3.4 Caracterização do Consumo

A caracterização do consumo de água é um processo essencial para compreender os padrões de uso e identificar oportunidades de melhoria na eficiência do abastecimento e na gestão dos recursos hídricos. No contexto deste estudo, foram analisados os dados de consumo dos clientes lotados nas unidades de negócio mencionadas anteriormente, considerando a influência de alguns fatores fundamentais, descritos a seguir:

1. **Número de economias atendidas** : Refere-se à quantidade de unidades consumidoras conectadas ao medidor instalado, sendo um indicador importante para avaliar a adequação do equipamento às demandas locais.

2. **Tecnologia de medição utilizada** : A escolha do hidrômetro — seja ele convencional ou ultrassônico — afeta diretamente a precisão das conclusões realizadas e a qualidade das informações reportadas à companhia.
3. **Consumo Médio** : Foi calculado o consumo médio de cada imóvel analisado, permitindo a identificação de padrões de consumo.
4. **Consumo Médio por Economia**: Uma análise do consumo médio por economia tem como objetivo investigar como a demanda de água se comporta em relação à quantidade de economias atendidas por cada medidor. Considerando que cada medidor supre uma determinada média de economias, esta avaliação permite compreender a eficiência da medição e identificar padrões de consumo em diferentes unidades de negócio.

Em um primeiro momento, após a organização e adaptação dos dados para a pesquisa, fez-se o cálculo do consumo médio em dois períodos distintos: antes e após a instalação do hidrômetro ultrassônico. Essa análise comparativa, apresentada na figura abaixo, evidencia as mudanças nos padrões de consumo em função da tecnologia de medição empregada.

**Figura 25: Caracterização do Consumo**

Cliente	UN	DN	Média de Consumo Antes (m³)	Média de Consumo após (m³)
160	UN-MTN	DN 40	779	977,08
161	UN-MTL	DN 25	367,75	565,92
162	UN-MTL	DN 40	1148,67	1348,08
163	UN-MTL	DN 40	239,42	439,17
164	UN-MTL	DN 40	3171,42	3372,83
165	UN-MTS	DN 40	948,00	1149,92
166	UN-MTL	DN 40	384,00	586,08
167	UN-MTO	DN 40	1320,33	1523,92
168	UN-MTN	DN 20	277,92	484,50
169	UN-MTL	DN 25	318,42	525,67

Fonte: (Autor, 2025)

Com os valores calculados, foi determinado o consumo médio por diâmetro, considerando a quantidade de economias alcançadas pelo medidor ultrassônico. Como exemplo, analisaremos o caso dos hidrômetros ultrassônicos de diâmetro igual a 20mm.

No caso do DN 20, que atende de 0 a 25 economias, o número médio de economias atendidas será calculado da seguinte forma:

1. O intervalo de economias atendidas pelo medidor ultrassônico DN 20 vai de 0 a 25;
2. Para calcular o número médio de economias atendidas, somamos o valor inicial (0) e o valor máximo (25):  $0 + 25 = 25$ ;
3. Em seguida, dividimos o resultado por 2, já que estamos lidando com um intervalo:  $25 / 2 = 12,5$ ;
4. O valor resultante é arredondado para cima, pois consideramos que, mesmo que o valor seja fracionado, o medidor pode atender até o valor inteiro mais próximo de economias. Assim, o número médio de economias atendidas será 13;
5. O último passo foi dividir o consumo médio após a instalação do medidor ultrassônico pela média de economias atendidas por ele;

Essa abordagem garante uma estimativa de consumo médio considerando a faixa de economias que o hidrômetro pode atender, o que é fundamental para uma análise precisa no contexto do uso de hidrômetros ultrassônicos. A figura abaixo mostra a média de consumo por economia, tendo como fator delimitante, o diâmetro do medidor:

**Figura 26: Consumo médio por economia.**

Cliente	UN	DN	Economias	Média Economia	Média de Consumo Antes (m³)	Média de Consumo após (m³)	Consumo Médio por economia ultrassônico
160	UN-MTN	DN 40	91 - 240	165,5	779	977,08	5,90
161	UN-MTL	DN 25	26-90	58	367,75	565,92	9,76
162	UN-MTL	DN 40	91 - 240	165,5	1148,67	1348,08	8,15
163	UN-MTL	DN 40	91 - 240	165,5	239,42	439,17	2,65
164	UN-MTL	DN 40	91 - 240	165,5	3171,42	3372,83	20,38
165	UN-MTS	DN 40	91 - 240	165,5	948,00	1149,92	6,95
166	UN-MTL	DN 40	91 - 240	165,5	384,00	586,08	3,54
167	UN-MTO	DN 40	91 - 240	165,5	1320,33	1523,92	9,21
168	UN-MTN	DN 20	0 - 25	12,5	277,92	484,50	38,76
169	UN-MTL	DN 25	26-90	58	318,42	525,67	9,06

Fonte: (Autor, 2025)

Por fim, após a determinação do consumo médio por economia para todos os clientes analisados, os dados foram segmentados por Unidade de Negócio (UN) para possibilitar uma análise mais detalhada do padrão de consumo em Fortaleza e na Região Metropolitana. Essa segmentação permite identificar variações de consumo entre as diferentes unidades, fornecendo subsídios para a tomada de decisões estratégicas.

Para cada Unidade de Negócio, foi calculado o consumo médio total, obtido a partir da soma dos consumos médios individuais dos clientes pertencentes à unidade, dividida pelo número total de clientes atendidos pela UN. Esse projeto possibilita uma visão mais clara sobre o comportamento do consumo em cada região, permitindo comparações entre as unidades e facilitando a identificação de possíveis padrões ou anomalias.

### **3.5 Utilização de Mapas de Calor para Correlação entre Consumo Hídrico e Variáveis Socioeconômicas**

Em uma etapa final da metodologia, foram elaborados mapas de calor utilizando a ferramenta Power BI, com o objetivo de avaliar a distribuição espacial do consumo hídrico e sua relação com a densidade demográfica nos bairros de Fortaleza e região metropolitana. Para isso, utilizou-se dados detalhados de consumo por economia, integrados ao Power BI, possibilitando uma visualização geográfica precisa. O mapa de calor foi desenvolvido a partir desses dados, destacando as áreas de maior e menor concentração de consumo.

Posteriormente, foi realizada uma análise aprofundada da relação entre as áreas de maior consumo hídrico com o poder aquisitivo e a densidade demográfica. Para esta etapa, foram considerados mapas demográficos e de poder aquisitivo disponibilizados em sites de órgãos da prefeitura de Fortaleza, permitindo investigar como o perfil econômico e a distribuição populacional influenciam o padrão de consumo de água. Essa abordagem possibilitou uma compreensão mais ampla dos fatores que impactam o consumo hídrico na região específica, fornecendo *insights* relevantes para a caracterização do comportamento do consumidor.

## 4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, são apresentadas e propostas os resultados obtidos a partir da comparação entre os hidrômetros convencionais e ultrassônicos, buscando caracterizar o consumo de água em diferentes regiões e avaliar a precisão das descobertas realizadas por cada tipo de medidor. Para isso, a análise aborda o perfil de consumo identificado, as diferenças nos registros de medição entre os dois tipos de hidrômetros e suas implicações na confiabilidade dos dados. Além disso, são exploradas as características técnicas de cada medidor, destacando suas vantagens e especificações, a fim de compreender o impacto da tecnologia utilizada na eficiência do monitoramento do consumo de água.

### 4.1 Caracterização do Consumo Geral nas Unidades de Negócios analisadas.

Inicialmente, foram removidos os *outliers*, garantindo maior precisão na análise ao eliminar valores de consumo atípicos que poderiam distorcer os resultados. Em seguida, foi realizada a caracterização do consumo final geral antes e após a troca do medidor, bem como a caracterização do consumo para cada unidade de negócio, considerando os pontos remanescentes incluídos no escopo do estudo. Esses *outliers* foram excluídos por apresentarem valores de consumo atípicos que poderiam distorcer os resultados. A Figura 27 apresenta a quantidade de pontos *outliers* identificados e removidos em cada unidade de negócio, detalhando a quantidade de dados analisados:

**Figura 27: Escopo Analisado.**

UN	Qtde. Escopo	Pontos <i>Outliers</i>	Qtde. Analisada
UN-BME	22	0	22
UN-BML	3	0	3
UN-MTL	1288	72	1216
UN-MTN	241	21	220
UN-MTO	180	9	171
UN-MTS	266	21	245
<b>TOTAL</b>	<b>2000</b>	<b>123</b>	<b>1877</b>

Fonte: (Autor, 2025)

Após essa etapa, foi calculado a média de consumo geral para os pontos analisados, antes e após a instalação do medidor ultrassônico, a figura abaixo apresenta esses valores:

**Figura 28: Média geral de consumo Antes vs. Após instalação do medidor ultrassônico.**

Media de Consumo Antes (m <sup>3</sup> )	Media de Consumo Após (m <sup>3</sup> )	Variação Geral (%)
789,71	846,07	7,14%

Fonte: (Autor, 2025)

É possível observar que a variação de consumo, ao comparar a média antes e após a instalação do medidor ultrassônico, apresentou um valor positivo de 7,14%, indicando um aumento na média de consumo. O segundo passo foi agrupar os clientes conforme a unidade de negócio a que pertenciam, o que permitiu uma análise segmentada e mais detalhada do consumo de água. Em seguida, foi calculada a média de consumo geral antes e após a instalação dos medidores. Essa abordagem possibilitou a comparação direta do desempenho dos hidrômetros convencionais com os ultrassônicos. A figura abaixo apresenta as médias de consumo obtidas para cada unidade de negócio, permitindo observar as variações no consumo registrado nos 12 meses antes e 12 meses depois da substituição dos hidrômetros.

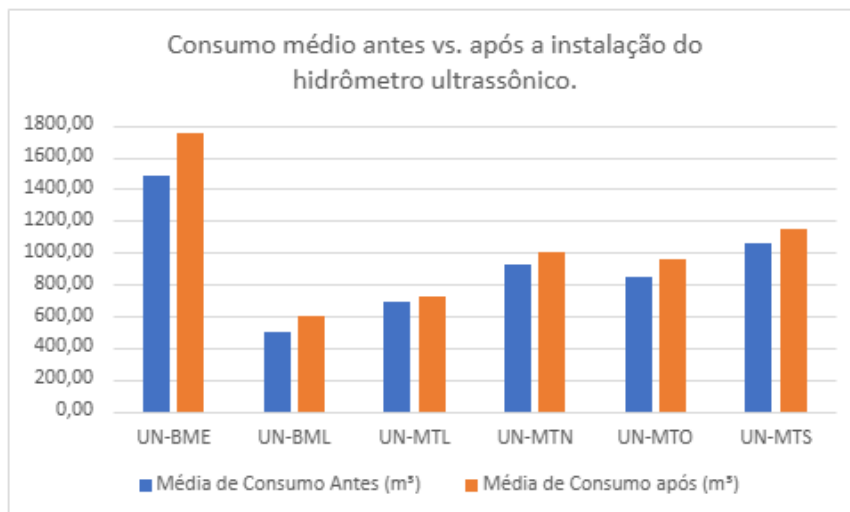
**Figura 29: Consumo médio antes vs. após a instalação do hidrômetro ultrassônico.**

UN	Média de Consumo Antes (m <sup>3</sup> )	Média de Consumo após (m <sup>3</sup> )	% Variação no Consumo
UN-BME	1487,41	1753,49	17,89%
UN-BML	496,98	596,97	20,12%
UN-MTL	691,09	724,91	4,89%
UN-MTN	919,26	1007,51	9,60%
UN-MTO	846,93	956,84	12,98%
UN-MTS	1062,33	1144,96	7,78%

Fonte: (Autor, 2025)



**Gráfico 1: Consumo médio antes vs. após a instalação do hidrômetro ultrassônico.**



Fonte: (Autor, 2025)

Os dados apresentados mostram as médias de consumo antes e após a substituição dos hidrômetros convencionais pelos ultrassônicos em seis Unidades de Negócio (UN). O objetivo dessa análise foi verificar se houve mudanças significativas no consumo registrado, contribuindo para a caracterização do perfil de consumo e a avaliação da eficácia dos novos medidores, conforme os objetivos propostos no presente trabalho. Verifica-se que a UN-BME e a UN-BML apresentaram um aumento no consumo com a troca do medidor de 17,89% e 20,12%, respectivamente, representando os maiores incrementos observados. Contudo, o limitado campo amostral compromete a confiabilidade desses resultados, devido ao número reduzido de inscrições analisadas.

Por outro lado, UN-MTL, unidade que possui o maior campo amostral, apresentou um aumento na média de consumo igual a 4,89%, apesar de ser o menor aumento dentre as unidades analisadas, a grande quantidade de dados confere maior precisão aos resultados obtidos. Além disso, as unidades UN-MTN, UN-MTO e UN-MTS possuem campos amostrais semelhantes e variações de consumo próximo, registrando aumentos de 9,60%, 12,98% e 7,78%, respectivamente. A similaridade nos campos amostrais, combinada com os aumentos na média de consumo, sugere um comportamento de consumo semelhante entre essas unidades.

A tabela a seguir detalha o comportamento da média de consumo de cada Unidade de Negócio em comparação com a média geral após a instalação do medidor ultrassônico.

**Figura 30: Comparação do Consumo por UN com a Média Geral após instalação do Medidor Ultrassônico.**

UN	Média de Consumo após (m³)	Média de Consumo Geral após	Comparação com a Média Geral (%)
UN-BME	1753,49	846,07	107,25%
UN-BML	596,97	846,07	-29,44%
UN-MTL	724,91	846,07	-14,32%
UN-MTN	1007,51	846,07	19,08%
UN-MTO	956,84	846,07	13,09%
UN-MTS	1144,96	846,07	35,33%

Fonte: (Autor, 2025)

A análise dos resultados revela que o comportamento da comparação da média por UN em relação à geral apresentou significativa heterogeneidade, abaixo tem-se detalhado os resultados para cada unidade:

- 1. UN-BME/UN-BML:** possuem poucos pontos analisados (22 e 3, respectivamente), o que pode explicar os altos valores de comparação do consumo em relação à média geral (107,25% e -29,44%).
- 2. UN-MTL:** Possui o maior número de pontos analisados (1.216), o que dá maior peso à sua média de consumo no cálculo da média geral. Isso ajuda a explicar porque a variação de consumo da UN-MTL é próxima da média geral (-14,32%), já que seus dados influenciam diretamente o valor agregado.
- 3. UN-MTO/UN-MTN:** Ambas possuem campo amostral semelhante, com 171 e 220, respectivamente. Ademais, apresentaram diferenças próximas na comparação da média por unidade em relação à média geral: a UN-MTO ficou 13,09% acima da média (menor valor analisado), enquanto a UN-MTN ficou 19,08% acima.
- 4. UN-MTS:** A unidade tem um número razoável de amostras (245) e um consumo 35,33% acima da média, o que pode indicar um padrão de consumo consistentemente elevado na área comprovada.

#### 4.2 Caracterização do Consumo por Economia nas Unidades de Negócios analisadas.

Após a avaliação das médias de consumo antes e após a instalação dos hidrômetros ultrassônicos e a comparação dela com a média geral, a próxima etapa consiste em analisar o consumo por economia, considerando a quantidade de economias atendidas por cada medidor

instalado. Esse recorte analítico permite investigar como a divisão do consumo entre diferentes unidades em um mesmo imóvel influencia o perfil de uso da água.

Em muitos casos, um único medidor é responsável por medir o consumo de múltiplas economias, como em condomínios, estabelecimentos comerciais com várias lojas ou imóveis multifamiliares. Nesses cenários, o comportamento do consumo pode variar significativamente, refletindo tanto o número de ocupantes quanto o tipo de atividade desenvolvida em cada unidade.

A escolha de analisar o consumo por economia é fundamental para compreender melhor a dinâmica de uso da água em diferentes contextos. Imóveis com maior número de economias tendem a apresentar um consumo agregado mais elevado, porém, quando dividido pelo número de unidades atendidas, o consumo médio por economia pode revelar padrões específicos. Por exemplo, as propriedades residenciais multifamiliares podem apresentar um consumo médio por economia menor em comparação com as unidades comerciais, devido à diferença na rotina de uso da água. A figura abaixo detalha a quantidade e os diâmetros dos medidores presentes em cada unidade de negócio. Essa análise permite compreender a distribuição dos diferentes tamanhos de medidores, auxiliando na avaliação da adequação dos diâmetros em relação ao perfil de consumo de cada unidade.

**Figura 31: Diâmetro dos medidores por Unidade de Negócio.**

UN	DN 20	DN 25	DN 40	DN 50	DN 80	DN 100	Total Geral
UN-BME	10	2	2	7		1	22
UN-BML	2	1					3
UN-MTL	300	372	501	109	3	2	1287
UN-MTN	69	36	57	79			241
UN-MTO	36	47	40	56	1		180
UN-MTS	40	80	73	70	2	2	267
<b>Total Geral</b>	<b>457</b>	<b>538</b>	<b>673</b>	<b>321</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2000</b>

Fonte: (Autor, 2025)

A Figura 31 apresenta a distribuição dos medidores ultrassônicos instalados de acordo com o diâmetro nominal (DN) em cada Unidade de Negócio (UN). Foram analisados um total de 2.000 medidores, distribuídos entre as seis unidades: UN-BME, UN-BML, UN-MTL, UN-MTN, UN-MTO e UN-MTS .

Observa-se que a UN-MTL concentra a maior quantidade de medidores (1287 unidades), representando 64,35% do total aplicado, enquanto a UN-BML possui apenas 3 unidades, o que equivale a 0,15% do total. Esse cenário indica que a UN-MTL atende a uma área com alta densidade de consumo ou uma base de clientes significativamente maior.

Em relação ao diâmetro nominal, destaca-se que:

- DN 40 é o diâmetro mais utilizado, totalizando 673 unidades ( 33,65% do total), o que sugere um perfil de consumo intermediário, comum em pequenas indústrias, comércios ou grandes residências.
- DN 25 e DN 20 também possuem peças expressivas, com 538 e 457 unidades , respectivamente, estabelecendo uma predominância de clientes residenciais ou pequenos negócios.
- DN 100 é o menos utilizado, com apenas 5 unidades , distribuídas entre UN-BME e UN-MTL , o que sugere um número limitado de grandes consumidores, como indústrias de grande porte.

Ao analisar a distribuição por unidade de negócio:

- A UN-MTL concentra a maior parte dos medidores para quase todos os diâmetros, destacando-se os DN40 (501 unidades) e DN25 (372 unidades) , apontando uma área com alta demanda diversificada de consumo.
- A UN-MTN apresenta quantidades consideráveis em DN 40 e DN 50 , indicando uma concentração de consumidores comerciais ou condomínios.
- Como UN -BME
- e UN-BML apresentam menor diversidade e quantidade de medidores, o que pode refletir áreas com menor densidade populacional ou perfis de consumo mais específicos.

Após uma análise dos diâmetros dos medidores instalados, é necessário verificar a quantidade de economias atendidas por cada um deles. A figura abaixo apresenta uma análise da quantidade média de economias atendidas por cada medidor ultrassônico, conforme detalhado anteriormente na Figura 18 – Tabela de Pré-Dimensionamento de Hidrômetros.

**Figura 32: Economias atendidas por diâmetro.**

Diâmetro Nominal (DN)	Economias	Média de Economias
DN 20	0-25	13
DN 25	26-90	58
DN 40	91-240	166
DN 50	241-370	306
DN 80	371-940	656
DN 100	940-1500	1221

Fonte: (Autor, 2025)

Entendendo que cada medidor atende a uma quantidade média de economia, foi calculado não apenas a média de consumo antes e após a instalação do medidor ultrassônico, mas também a média de consumo por economia. Esse cálculo permitiu uma análise mais aprofundada do consumo por economia, considerando o tipo de hidrômetro instalado em cada unidade de negócio.

Essa abordagem detalhada permite avaliar com maior precisão como o consumo é distribuído entre as economias atendidas, permitindo identificar padrões de consumo específicos e desvios possíveis. Além disso, ao correlacionar o consumo por economia com o tipo de hidrômetro utilizado, é possível verificar a avaliação dos medidores instalados e identificar oportunidades para otimização do dimensionamento. A figura abaixo apresenta como ficou essa análise detalhada do consumo por economia:

**Figura 33: Análise detalhada do consumo por economia.**

Cliente	UN	DN	Economias	Média Economias	Média de Consumo Antes (m³)	Média de Consumo após (m³)	Consumo Médio por economia ultrassônico
116	UN-MTS	DN 25	26-90	58	618,25	399,33	6,89
117	UN-MTL	DN 25	26-90	58	882,50	665,50	11,47
118	UN-MTL	DN 50	241 - 370	306	2097,50	1882,50	6,16
119	UN-MTL	DN 40	91 - 240	166	901,50	689,30	4,16
120	UN-MTS	DN 25	26-90	58	457,00	245,67	4,24
121	UN-MTL	DN 20	0 - 25	13	283,75	73,00	5,84
122	UN-MTL	DN 25	26-90	58	955,33	750,08	12,93
123	UN-MTL	DN 25	26-90	58	606,42	401,33	6,92
124	UN-MTS	DN 50	241 - 370	306	716,08	511,25	1,67
125	UN-MTS	DN 25	26-90	58	869,45	664,92	11,46
126	UN-MTL	DN 40	91 - 240	166	531,78	327,73	1,98
127	UN-MTL	DN 50	241 - 370	306	740,42	536,64	1,76
128	UN-MTN	DN 40	91 - 240	166	1230,58	1029,08	6,22
129	UN-MTL	DN 20	0 - 25	13	316,08	116,67	9,33
130	UN-MTL	DN 25	26-90	58	319,50	120,75	2,08
131	UN-MTL	DN 40	91 - 240	166	623,08	424,42	2,56
132	UN-MTL	DN 25	26-90	58	562,83	365,42	6,30
133	UN-MTL	DN 25	26-90	58	626,17	431,42	7,44
134	UN-MTS	DN 20	0 - 25	13	205,83	113,17	8,87

Fonte: (Autor, 2025)

Com os valores de consumo médio por economia identificados, os dados foram organizados por unidades de negócio, permitindo uma visão segmentada do consumo em cada região. Em seguida, foi calculada a média geral do consumo por economia, considerando todos os medidores instalados, independentemente do diâmetro.

Essa abordagem fornece uma visão abrangente do consumo médio por economia, auxiliando na identificação de padrões de consumo regionais e na avaliação da eficácia dos medidores ultrassônicos de forma integrada. A análise sem distinção de diâmetro permite uma comparação direta entre as unidades de negócio, oferecendo uma perspectiva geral do comportamento de consumo.

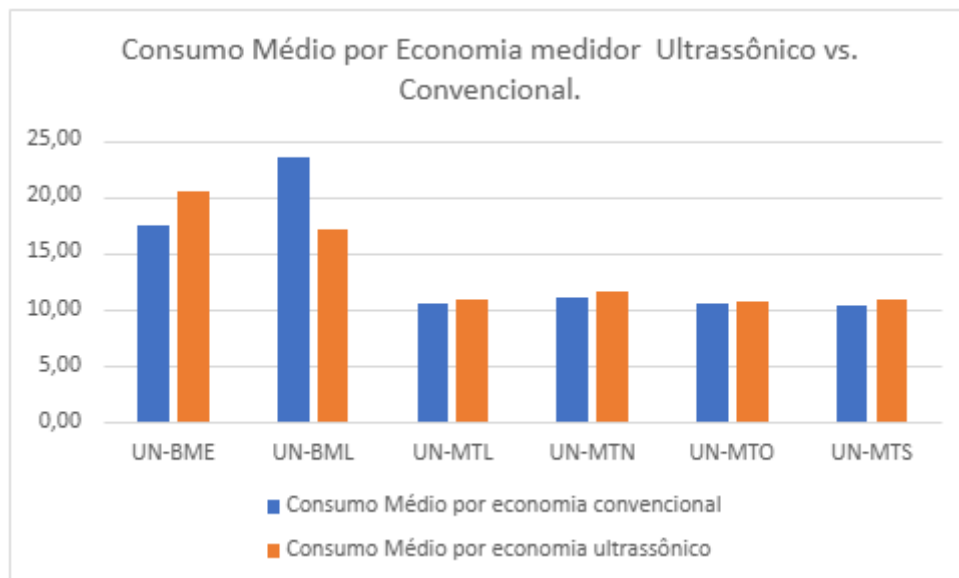
A figura abaixo apresenta os resultados dessa análise, destacando as variações de consumo médio por economia em cada unidade de negócio, tanto para o medidor ultrassônico, como para o medidor convencional. Essas informações são essenciais para embasar decisões estratégicas sobre dimensionamento e gestão de recursos hídricos.

**Figura 34: Consumo Médio por Economia medidor Ultrassônico vs. Convencional.**

UN <input type="text"/>	Consumo Médio por economia convencional <input type="text"/>	Consumo Médio por economia ultrassônico <input type="text"/>	% Variação no Consumo <input type="text"/>
UN-BME	17,46	20,57	17,78%
UN-BML	23,61	17,17	-27,27%
UN-MTL	10,60	10,83	2,16%
UN-MTN	11,01	11,66	5,90%
UN-MTO	10,60	10,67	0,66%
UN-MTS	10,39	10,82	4,11%
Total Geral	10,72	11,03	2,91%

Fonte: (Autor, 2025)

**Gráfico 2: Consumo Médio por Economia medidor Ultrassônico vs. Convencional.**



Fonte: (Autor, 2025)

Conforme distribuído, todas as unidades, com exceção da UN-BML, registraram aumento positivo no consumo por economia após a substituição dos hidrômetros. Conforme mencionado acima, UN-BML e UN-BMO apresentam os menores campos amostrais, o que limita a confiabilidade de seus resultados. A UN-MTN destacou-se com o maior aumento no consumo por economia, registrando uma variação positiva de 5,90%. Em seguida, a UN-MTS apresentou um incremento de 4,11%. Logo após, vem a UN-MTL, com 2,16%, e, por fim, a UN-MTO, com o menor aumento entre as unidades, de 0,66%.

Esses resultados reforçam o aumento positivo na precisão dos medidores ultrassônicos, evidenciando sua eficácia na medição do consumo de água. A avaliação positiva observada nas unidades testadas indica que os novos medidores são mais precisos na coleta do volume consumido, contribuindo para uma caracterização mais fiel do perfil de consumo. Isso demonstra o potencial dos hidrômetros ultrassônicos em aprimorar a gestão de recursos hídricos, alinhando-se aos objetivos de eficiência e transparência no monitoramento do consumo.

Ademais, também foi analisado o desvio padrão da média do consumo médio por economia nos medidores ultrassônicos. Esse cálculo é fundamental para entender a variação do consumo em cada unidade de negócio, mostrando quanto os consumos individuais variam da média. Um desvio padrão elevado indica que há uma grande variação nos consumos das

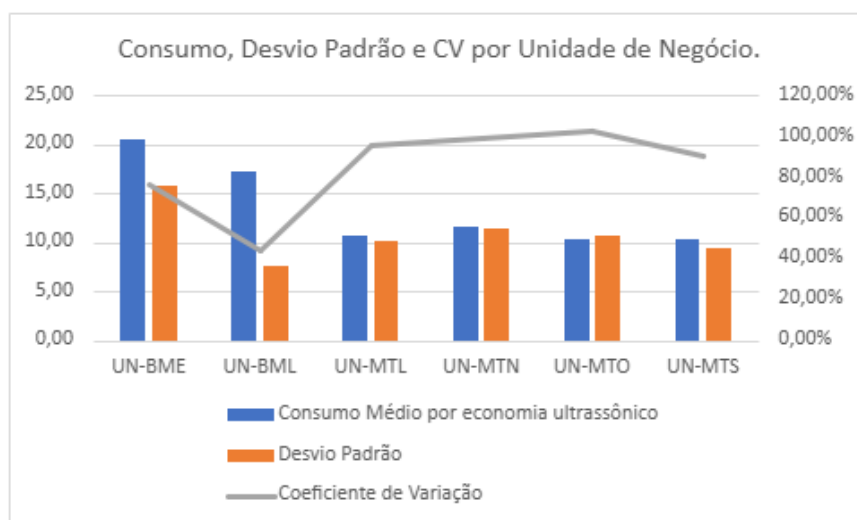
economias daquela região, indicando comportamentos de uso da água muito diferentes entre os consumidores. Por outro lado, um desvio padrão baixo indica que os consumos individuais são mais próximos da média, revelando um padrão de consumo mais consistente e semelhante entre as economias daquela localidade. Assim, a análise do desvio padrão complementa a interpretação dos resultados, oferecendo uma visão mais completa sobre a uniformidade ou variação dos hábitos de consumo de água em diferentes regiões. A figura abaixo apresenta o desvio padrão do consumo médio por economia:

**Figura 35: Desvio Padrão por Economia Ultrassônico.**

UN	Consumo Médio por economia ultrassônico	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (CV)
UN-BME	20,57	15,77	76,68%
UN-BML	17,17	7,61	44,30%
UN-MTL	10,57	10,13	95,81%
UN-MTN	11,53	11,43	99,11%
UN-MTO	10,35	10,67	103,02%
UN-MTS	10,27	9,32	90,75%

Fonte: (Autor, 2025)

**Gráfico 3: Consumo, Desvio Padrão e CV por Unidade de Negócio, medidor ultrassônico.**



Fonte: (Autor, 2025)

A fim de avaliar o quão próximo o desvio padrão é da média de consumo por economia, foi calculado o Coeficiente de Variação (CV), que expressa a variação relativa em relação à média. Valores mais baixos de CV indicam maior consistência nos consumos, enquanto valores mais altos indicam maior dispersão. Esse indicador é particularmente útil



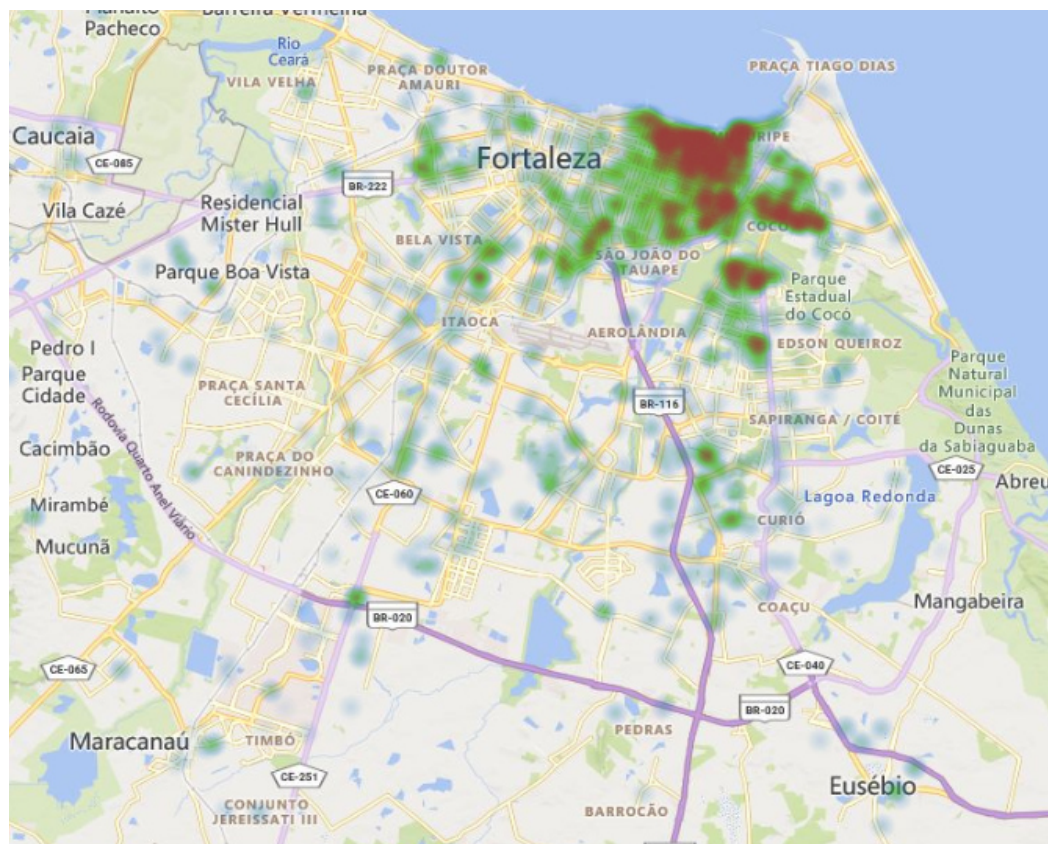
para comparar a variabilidade entre diferentes grupos com médias distintas, uma vez que o CV é expresso em porcentagem, tornando-se uma métrica adimensional e facilmente interpretável.

Observa-se que as unidades de negócio UN-MTO, UN-MTN e UN-MTL apresentaram os maiores coeficientes de variação (103,02%, 99,11% e 95,81%, respectivamente), evidenciando alta heterogeneidade nos padrões de consumo dessas regiões. Esse comportamento pode ser atribuído à diversidade de perfis de consumo, como variações na quantidade de economias atendidas e diferenças nos hábitos de uso da água. Nessas regiões, a maior quantidade de economias atendidas pode ter contribuído para a dispersão observada, uma vez que um número maior de clientes tende a refletir uma maior diversidade nos perfis de consumo. Fatores como características socioeconômicas heterogêneas e a presença de diferentes tipos de consumidores (residenciais, comerciais ou industriais) podem estar influenciando a demanda (DALMÔNICA, 2014).

#### **4.3 Análise do Consumo de Água em Fortaleza e Região Metropolitana: Influências do Poder Aquisitivo e da Densidade Populacional**

Por fim, para complementar a análise, foi elaborado um mapa de calor para representar as regiões com os maiores consumos médios por economia. Esse tipo de visualização facilita a identificação de áreas com altos índices de consumo, permitindo uma análise espacial mais detalhada.

**Figura 36: Mapa de Calor Consumo por Economia.**



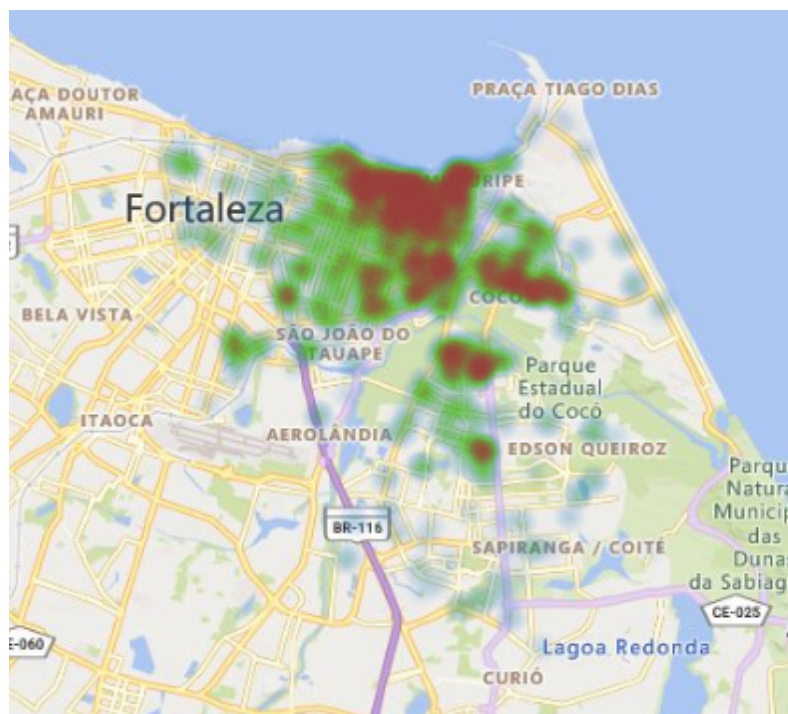
Fonte: (Autor, 2025)

O mapa de calor apresentado evidencia a distribuição espacial do consumo médio por economia nos pontos analisados no presente estudo. Observa-se que as áreas com maior consumo estão concentradas na região nordeste da cidade, abrangendo bairros como Cocó, Meireles, Aldeota e arredores, onde a intensidade do vermelho indica maior demanda por água. Por outro lado, áreas ao sul e oeste apresentam consumo significativamente menor, conforme indicado pelas tonalidades mais claras de verde no mapa.

Essa variação no consumo pode ser atribuída a diversos fatores, como o perfil socioeconômico dos moradores, que influenciam os padrões de uso de água em residências de maior poder aquisitivo, onde é comum o uso intensivo para jardins, piscinas e atividades domésticas. Além disso, as características das edificações, como o tamanho das residências e a presença de condomínios, podem impactar o consumo médio por economia.

Analisando por Unidade de Negócio (UN), a região da UN-MTL foi a que apresentou áreas com a maior concentração de pontos com alto consumo por economia, conforme a figura abaixo:

**Figura 37: Mapa de Calor Consumo por Economia - UNMTL.**

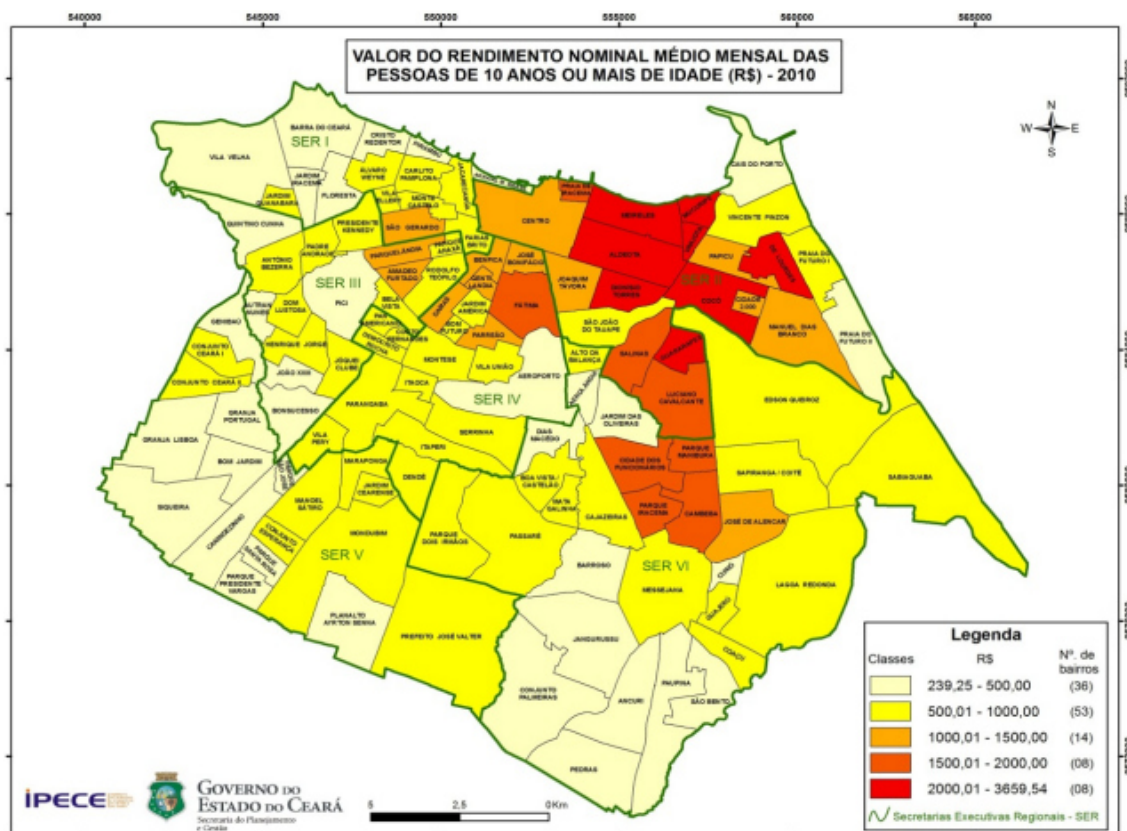


Fonte: (Autor, 2025)

Como mencionado anteriormente, a Unidade de Negócio MTL é a que possui o maior campo amostral, o que contribui para a concentração de altas médias de consumo na região que a engloba. No entanto, não se pode desconsiderar o perfil de consumo dos bairros abrangidos pela unidade, que influencia diretamente os padrões observados no mapa de calor.

Essa área compreende bairros de perfil diversificado, incluindo regiões com alta densidade populacional e áreas de poder aquisitivo elevado, o que naturalmente resulta em diferentes padrões de consumo de água. Por exemplo, bairros como Cocó, Meireles e Aldeota, destacados no mapa e pela intensidade da cor vermelha, são conhecidos por concentrarem condomínios de alto padrão, o que sugere um consumo elevado por economia devido ao uso intensivo de água em jardins, piscinas e atividades domésticas (IPECE, 2012). O mapa abaixo ilustra o que foi discutido anteriormente, apresentando um levantamento realizado pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) em 2012 sobre a distribuição espacial da renda pessoal nos bairros de Fortaleza.

**Figura 38: Distribuição espacial da renda pessoal nos bairros de Fortaleza**



Fonte: IPECE, 2012.

Ao analisar de forma sobreposta os mapas 02 e 03, observa-se uma clara ligação entre o poder aquisitivo e o consumo de água nos bairros de Fortaleza. O Mapa 03, produzido pelo IPECE, mostra a distribuição do rendimento nominal médio mensal nos bairros da cidade. As áreas destacadas em vermelho e laranja, como Cocó, Meireles e Aldeota, indicam regiões com maior poder aquisitivo. Já o Mapa 02, que é um mapa de calor de consumo por economia, revela que essas mesmas regiões concentram os maiores níveis de consumo de água. Essa sobreposição valida a possibilidade de que o poder aquisitivo aumente a influência direta sobre o consumo de água. Além disso, a presença de condomínios de alto padrão com múltiplas unidades habitacionais pode aumentar ainda mais o consumo total por economia.

Por outro lado, observa-se que regiões com menor poder aquisitivo, destacadas em amarelo e laranja no mapa 03, apresentam menor concentração de consumo no mapa de calor. Isso sugere que fatores socioeconômicos, como renda e perfil de consumo, têm um papel significativo na demanda por água. A análise conjunta desses mapas evidencia a influência da estrutura socioeconômica na distribuição do consumo de água na cidade de Fortaleza.

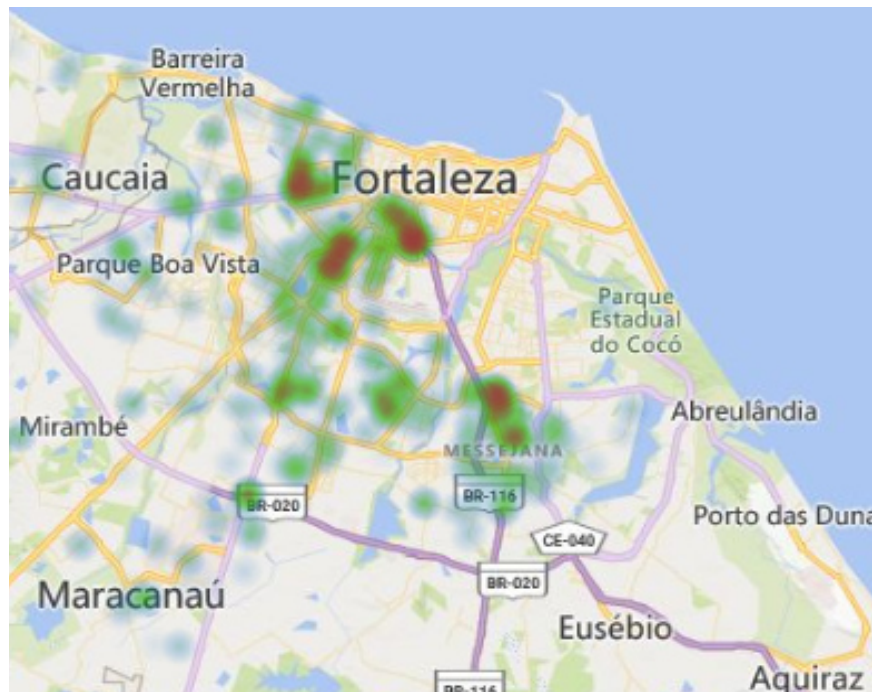


Outro ponto relevante é a influência do número de economias por medidor. Nas regiões onde um único medidor abastece várias economias, como condomínios horizontais ou verticais, o consumo total registrado é naturalmente maior, impactando a média por economia.

Além do perfil socioeconômico e do tipo de edificação, outros fatores comportamentais e culturais também devem ser considerados, como hábitos de consumo, sazonalidade e uso de recursos hídricos para fins não residenciais, como comércio e serviços. Tais fatores podem influenciar as variações observadas, indicando que uma análise isolada do volume consumido pode não refletir a real demanda de água na região.

A última análise foca nas unidades de negócio que possuem um campo amostral semelhante, como UN-MTO (171 pontos válidos), UN-MTN (220 pontos válidos) e UN-MTS (245 pontos válidos). Ao comparar essas unidades, é possível obter *insights* mais precisos sobre o comportamento do consumo médio por economia, uma vez que o tamanho amostral próximo contribui para uma análise mais equilibrada.

**Figura 39: Mapa de Calor Consumo por Economia - UN-MTN, MTO e MTS.**



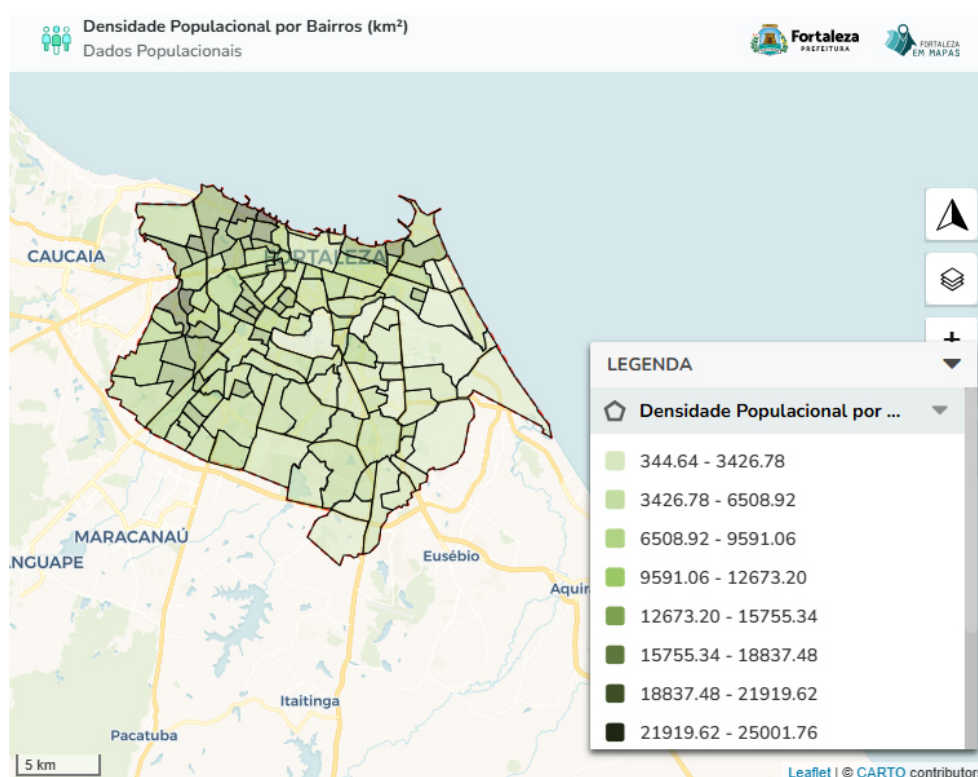
Fonte: (Autor, 2025)

A análise do consumo por economia nas Unidades de Negócio MTN, MTO e MTS revela um padrão equilibrado na maioria das regiões, com maiores concentrações de consumo

nos bairros Montese, Cambé, Presidente Kennedy e Fátima, conforme evidenciado no Mapa 04. Esses locais destacam-se por apresentarem alta densidade populacional, grande número de prédios residenciais com áreas comuns e condomínios fechados com amplas áreas verdes que demandam volumes significativos de água para manutenção (IBGE, 2022).

O Mapa 05 mostra a distribuição da densidade populacional por bairros em Fortaleza, evidenciando que as áreas de maior densidade coincidem com as regiões de maior consumo observadas no Mapa 04. Essa sobreposição sugere que a concentração de economias em áreas urbanizadas influencia significativamente a demanda por água.

**Figura 40: Densidade Populacional por Bairros (km<sup>2</sup>) em Fortaleza-CE.**



Fonte: Fortaleza, 2022.

A correlação entre os dois mapas demonstra que bairros com alta densidade populacional tendem a apresentar um maior consumo por economia, o que pode ser atribuído a fatores como:

- Número elevado de moradores por unidade habitacional, como em condomínios verticais e conjuntos residenciais;

- Consumo coletivo para manutenção de áreas comuns, incluindo piscinas, jardins e serviços compartilhados;
- Perfil socioeconômico das regiões analisadas, onde o poder aquisitivo também contribui para o aumento do consumo per capita.

Além disso, a análise dos mapas permite concluir que o perfil de consumo varia não apenas pela densidade demográfica, mas também pela configuração urbana e características das economias atendidas, ressaltando a importância de políticas públicas focadas na gestão eficiente da demanda hídrica nas regiões com alta concentração populacional.

#### **4.4 Análise das Vantagens e Desvantagens na Substituição do Medidor Convencional pelo Ultrassônico**

Diversos dados foram analisados, revelando um comportamento positivo do perfil de consumo nas unidades de negócio. Observa-se um aumento consistente em todas as análises, desde a média geral de consumo até a análise detalhada por economia. Esses resultados evidenciam a eficiência superior do medidor ultrassônico em comparação aos medidores convencionais, demonstrando sua maior precisão na captação do volume consumido. Com isso, esse comportamento indica que os hidrômetros ultrassônicos podem estar registrando o consumo de forma mais precisa do que os convencionais. Isso ocorre porque os hidrômetros ultrassônicos utilizam tecnologia avançada para medir a vazão da água, detectando até mesmo pequenos fluxos que poderiam passar despercebidos pelos medidores tradicionais (SAGA MEDIÇÃO, 2025).

A maior precisão na medição pode ser atribuída à capacidade dos hidrômetros ultrassônicos de operar sem peças móveis, o que reduz o desgaste e mantém a calibração ao longo do tempo. Além disso, esses medidores são menos suscetíveis a interferências causadas por partículas sólidas na água, garantindo leituras mais confiáveis. Por outro lado, o aumento no consumo registrado não necessariamente indica um aumento real no consumo de água, mas sim a eliminação de sub-registros que eram comuns com os hidrômetros convencionais, especialmente em vazões baixas.

Essa melhoria na precisão das medições tem implicações significativas tanto para as companhias de abastecimento quanto para os consumidores. Para as empresas, há um aumento na confiabilidade das informações de consumo, possibilitando um melhor planejamento de recursos hídricos e faturamento mais justo. Para os consumidores, apesar do aumento no valor das contas de água, a medição mais precisa reflete o consumo real, promovendo uma maior conscientização sobre o uso eficiente da água. Além disso, é válido destacar a possibilidade de integração com um sistema de monitoramento remoto do consumo, como observado nos 2.000 casos analisados. Esses medidores fazem parte de uma ação de melhoria inovadora pela Cagece, que optou pela instalação de hidrômetros ultrassônicos interligados a um sistema de telemedição, permitindo a captação e transmissão remota dos dados de consumo.

Essa tecnologia apresenta uma série de vantagens, como o aumento na precisão da medição, o que reduz a possibilidade de erros e fraudes, além de permitir o acompanhamento em tempo real do consumo de água. Dessa forma, os usuários podem monitorar seus padrões de consumo de maneira prática e eficaz, promovendo um uso mais consciente e sustentável dos recursos hídricos.

Essa inovação também contribui para uma gestão mais eficiente, facilitando a identificação de anomalias, como vazamentos, e possibilitando uma resposta mais rápida a essas ocorrências. Assim, a telemedida representa um avanço significativo na modernização do sistema de abastecimento de água (CAGECE, 2025).

Ademais, embora o hidrômetro ultrassônico apresente vantagens tecnológicas, o medidor convencional ainda possui benefícios que justificam sua ampla utilização. Dentre as principais vantagens, destaca-se o baixo custo de aquisição e manutenção, tornando-o economicamente viável para implementações em larga escala. Outra vantagem importante é a familiaridade dos consumidores e técnicos com o funcionamento do modelo convencional. Esse conhecimento prévio reduz a necessidade de treinamentos específicos e facilita a adaptação em campo, resultando em maior eficiência operacional. Além disso, uma ampla disponibilidade de peças de reposição e a facilidade de manutenção garantem menor tempo de inatividade, contribuindo para a continuidade na medição do consumo hídrico. Por fim, sua menor complexidade tecnológica torna-o menos suscetível a falhas eletrônicas ou interferências eletromagnéticas, garantindo uma operação contínua e estável.



## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo analisou o consumo de água em Fortaleza e Região Metropolitana, comparando o desempenho dos hidrômetros convencionais com os ultrassônicos em uma abordagem que considerou o diâmetro do medidor instalado, uma vez que este parâmetro determina a quantidade de economias atendidas e o consumo por economia, além de considerar as características demográficas e socioeconômicas das regiões atendidas.

A troca dos hidrômetros convencionais pelos ultrassônicos revelou um comportamento significativo na média de consumo, mostrando que, para as 06 Unidades de Negócio analisadas, houve uma variação positiva no consumo registrado. Esse aumento reflete a maior precisão dos hidrômetros ultrassônicos, capazes de detectar vazões menores que geralmente não são registradas pelos convencionais, evidenciando o aumento da assertividade na medição correta do consumo dos clientes. Esse resultado corrobora com estudos que apontam para a eficiência superior dos hidrômetros ultrassônicos na redução das perdas aparentes, promovendo um registro mais preciso do volume consumido e contribuindo para um melhor gerenciamento hídrico.

A associação entre o diâmetro do medidor e o perfil do consumidor foi um fator determinante na análise. Observou-se que hidrômetros com maior diâmetro estão diretamente associados a edificações multifamiliares, como prédios residenciais com áreas comuns e condomínios fechados, onde há um número elevado de economias por medidor, impactando o consumo total registrado. Esse comportamento foi especialmente notável na UN-MTL, que concentrou uma grande parte dos medidores de maior capacidade, refletindo em altos valores de consumo por economia, conforme evidenciado pelo mapa de calor. Essa distribuição reflete o perfil urbano da região, caracterizado por alta densidade populacional, elevado poder aquisitivo e grande quantidade de áreas verdes que demandam volumes significativos de água para manutenção.

Outro ponto relevante foi a análise do consumo por economia, com destaque para as Unidades de Negócio que apresentaram consumos médios semelhantes, bem como o número amostral de inscrições analisadas. Nesse contexto, as UN-MTN, UN-MTO e UN-MTS apresentaram, respectivamente, um consumo por economia igual a  $11,66\text{m}^3$ ,  $10,67\text{m}^3$  e  $10,82\text{m}^3$ . Notou-se que MTN e MTO tiveram valores mais próximos, e ao se analisar o mapa

de calor, observa-se um comportamento de consumo semelhante nessas regiões, sugerindo padrões habitacionais e socioeconômicos comparáveis.

Os mapas de calor utilizados na pesquisa foram fundamentais para visualizar a distribuição espacial do consumo por economia, destacando regiões críticas e padrões de consumo elevados. Verificou-se que bairros como Aldeota, Meireles e Cocó concentraram altos valores de consumo por economia, o que pode ser atribuído ao alto poder aquisitivo e ao perfil residencial dessas regiões, caracterizadas por condomínios de luxo, prédios residenciais com áreas comuns amplas e edificações multifamiliares. Esses fatores contribuem para um consumo per capita superior, devido à demanda de água para manutenção de áreas verdes, piscinas e outras amenidades.

A utilização dos mapas de calor também mostrou-se eficaz na identificação de áreas críticas, permitindo uma visualização clara das regiões com maior concentração de consumo. Isso possibilitou relacionar os dados de consumo com características demográficas e socioeconômicas, oferecendo *insights* valiosos para o planejamento estratégico e a gestão eficiente dos recursos hídricos. Além disso, a análise espacial contribuiu para a compreensão dos padrões de consumo, revelando que áreas com alta densidade populacional e condomínios multifamiliares tendem a registrar maiores consumos por economia, enquanto bairros com menor densidade apresentam padrões de consumo distintos.

Conclui-se que a substituição dos hidrômetros convencionais pelos ultrassônicos apresentou vantagens na precisão da medição e na detecção de baixas vazões, especialmente em regiões com altas concentrações populacionais e condomínios multifamiliares. Ademais, a utilização do mapa de calor mostrou-se uma ferramenta eficaz na identificação de padrões de consumo, contribuindo para o planejamento estratégico e gestão eficiente dos recursos hídricos.

Esse estudo ressalta a necessidade de políticas públicas e estratégias de gerenciamento que considerem as características demográficas, socioeconômicas e o perfil de consumo das diferentes Unidades de Negócio, otimizando a distribuição e o uso da água na Região Metropolitana de Fortaleza.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Água no Mundo**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 01 dez. 2024
- CHOW, VT; EMPREGADA, DR; MAYS, LW *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS (CIIAGRO). **Balanco hídrico**. Disponível em: [https://www.ciiagro.sp.gov.br/def\\_1.html](https://www.ciiagro.sp.gov.br/def_1.html). Acesso em: 01 dez. 2024.
- GLEICK, PH *Água em crise: um guia para os recursos de água doce do mundo*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agências da ONU lançam Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/123077-ag%C3%A7%C3%A3o-da-onu-lan%C3%A7a-relat%C3%B3rio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-h%C3%A1dricos> . Acesso em: 02 dez. 2024.
- UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água e Mudança Climática**. Paris: UNESCO, 2020. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_por) .Acesso em: 02 dez. 2024.
- BRASIL ESCOLA. *Distribuição de água no Brasil* . Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-brasil.htm> . Acesso em: 02 dez. 2024.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Relatório de segurança hídrica: impactos da seca 2012–2017 no Nordeste*. Brasília: ANA, 2018.
- FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTOS E AGRICULTURA. *O Estado dos Recursos Hídricos e Terrestres Mundiais para Alimentação e Agricultura (SOLAW)*. Roma: FAO, 2011
- SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Relatório de saneamento 2022*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, 2022.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Projeção da população brasileira em 2023*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados> . Acesso em: 8 dez. 2024.

MARSHALL, A. *Princípios de economia*. Londres: Macmillan, 1920.

KEYNES, JM *A teoria geral do emprego, juros e dinheiro*. Nova York: Harcourt Brace, 1936.

ONU. *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf> . Acesso em: 05 dez. 2024.

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Relatório de saneamento 2020*. São Paulo: ABES, 2020.

SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Relatório de saneamento 2020*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020.

SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Relatório de saneamento 2022*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.

SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos: dados consolidados 2021*. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: <https://app4.mdr.gov.br/serieHistorica> . Acesso em: 8 dez. 2024

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Diretrizes sobre o consumo de água potável para saúde*. Genebra, 2018. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf) . Acesso em: 8 dez. 2024.

CONSELHO REGIONAL DE ADMINISTRAÇÃO DE MINAS GERAIS. *Desperdício de água ainda é alto no Brasil* . Disponível em: <https://www.cramg.org.br/desperdicio-de-agua-ainda-e-alto-no-brasil/> . Acesso em: 10 dez. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Demográfico 2023: População estimada*. 2023.

CREDER, Hélio. *Instalações hidráulicas e sanitárias*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BERMAD. *A evolução da medição de água – Impacto no uso da água e na receita do serviço*. Disponível em: <https://blog.bermad.com/saneamento/a-evolucao-da-medicao-de-agua-impacto-no-uso-da-agua-e-na-receita-do-servico> . Acesso em: 5 jan. 2025.

COELHO, Adalberto Cavalcanti. *Medição de água, política e prática – Manual de consulta*. Recife: Comunicarte, 1996.

GULARTE, CB *Um estudo sobre a submedição em hidrômetros para aplicação no controle de perdas aparentes no sistema de abastecimento de água de Blumenau*. 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Metrologia Científica e Industrial) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

RENOVA MEDIÇÃO. **Como funciona o hidrômetro unijato e o hidrômetro multijato?**

Renovamedicação. Disponível em:

<https://empresa.renovamedicao.com.br/como-funciona-o-hidrometro-unijato-eo-hidrometro-multijato/> . Acesso em: 15 jan. 2025.

RENOVA MEDIÇÃO. **Escolha o medidor ideal. Renovamedicação.** Disponível em:

<https://www.renovamedicao.com.br/escolha-medidorideal> . Acesso em: 16 jan. 2025.

HIDRAUCONEX. **Hidrômetro ultrassônico Octave. Hidrauconex.** Disponível em:

<https://hidrauconex.com.br/hidrometro-ultrassonico-octave.html> . Acesso em: 17 jan. 2025.

FORTALEZA. Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente. **Plano Diretor de Fortaleza.**

**Fortaleza, 2021.** Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/urbanismo> . Acesso em: 19 jan. 2025.

G1 CEARÁ. **12 regionais de Fortaleza: confira a nova divisão da capital cearense.** G1, 06 jan. 2021. Disponível em:

<https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2021/01/06/12-regionais-de-fortaleza-confira-a-nova-divisao-da-capital-cearense.ghtml> . Acesso em: 22 jan. 2025.

COGERH. **Reservatórios do Ceará registram 43% da capacidade total no início de 2025.**

Portal Cogerh, 10 jan. 2025. Disponível em:

<https://portal.cogerh.com.br/reservatorios-do-ceara-registram-43-da-capacidade-total-no-inicio-de-2025/>. Acesso em: 19 fev. 2025.

DALMÔNICA, BM **Análise dos fatores influenciadores no consumo de água em sistemas de abastecimento** . 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14201/1/AnaliseFatoresInfluenciadores.pdf> . Acesso em: 24 fev. 2025.

FORTALEZA. **Densidade populacional por bairro (km²)** . Fortaleza em Mapas, 2022.

Disponível em:

<https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/mapa/782/densidade-populacional-por-bairros-km> . Acesso em: 24 fev. 2025.

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **A tecnologia inovadora pela Cagece permite a medição de água em tempo real** . Disponível em:

<https://www.cagece.com.br/comunicacao/noticias/tecnologia-implementada-pela-cagece-possibilita-medicao-de-agua-em-tempo-real> . Acesso em: 27 fev. 2025.

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Telemedição: clientes com maior consumo de água passam a contar com ferramenta remota de medição** . Disponível em:

<https://www.cagece.com.br/comunicacao/noticias/telemedicao-clientes-com-maior-consumo-de-agua-passam-a-contar-com-ferramenta-remota-de-medicao> . Acesso em: 27 fev. 2025.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Informe IPECE nº 42 - Outubro de 2012.** Disponível em:

[https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Ipece\\_Informe\\_42\\_outubro\\_2012.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Ipece_Informe_42_outubro_2012.pdf) . Acesso em: 28 fev. 2025.

SAGA MEDIÇÃO. *Hidrômetro Ultrassônico*. Disponível em: <https://sagamedicao.com.br/ultrassonico> . Acesso em: 24 fev. 2025.

CAGECE. *Tabela de Pré-Dimensionamento de Hidrômetros*. Regimento Interno. Fortaleza: CAGECE, 2024. Documento interno, não publicado.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Socioeconômico dos Bairros de Fortaleza**. Fortaleza: IPECE, 2021. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 13 fev. 2025.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Relatório Mundial sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: 2021*. Nova York: ONU, 2021.

GLEICK, PH *Água em crise: um guia para os recursos de água doce do mundo*. Oxford: Oxford University Press, 1993.

CHOW, VT; EMPREGADA, DR; MAYS, LW *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTOS E AGRICULTURA. *O Estado dos Recursos Hídricos e Terrestres Mundiais para Alimentação e Agricultura (SOLAW)*. Roma: FAO, 2011.

SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico dos serviços de saneamento no Brasil*. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Água potável e saneamento: relatório da OMS, 2018**. Disponível em: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/glaas/glaas-2018-19/2019-country-survey-documents/glaas-2018-2019-country-survey-guidance-pt.pdf> . Acesso em: 4 jan. 2025.

EXAME. *Onde mais se consome água no Brasil*. Disponível em: <https://exame.com/brasil/onde-mais-se-consome-agua-no-brasil/> . Acesso em: 02 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População estimada do Ceará. 2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br> . Acesso em: 4 jan. 2025.

SINISA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Consumo de água no Brasil. 2021**. Disponível em: <https://www.snis.gov.br> . Acesso em: 4 jan. 2025.

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas de Água: Controle e Gestão em Sistemas de Abastecimento**. São Paulo: ABES, 2015.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico 2022: Fortaleza - CE**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/fortaleza.html> . Acesso em: 19 jan. 2025.

FORTALEZA. Instituto de Planejamento de Fortaleza – IPLANFOR. **Plataforma 121 Bairros de Fortaleza**. Fortaleza, 2009. Disponível em: <https://bairros.fortaleza.ce.gov.br/sobre> . Acesso em: 19 jan. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: Resultados por Setores Censitários**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 fev. 2025.

O POVO. ***Reservatórios do Ceará chegam a novembro com maior volume acumulado desde 2012***. O Povo, 16 nov. 2024. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/2024/11/16/reservatorios-do-ceara-chegam-a-novembro-com-maior-volume-acumulado-desde-2012.html>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SAGA MEDIÇÃO. **Hidrômetro Ultrassônico**. Disponível em: <https://sagamedicao.com.br/ultrassonico>. Acesso em: 24 fev. 2025.