

## ANALISE DE UM PROTÓTIPO PARA CONTROLE DO ESCOAMENTO DE ÁGUA EM TUBULAÇÃO

*Rafael Kepler Bronzo<sup>1</sup> Sergio Weine Paulino Chaves<sup>2</sup> Vladimir Batista Figueiredo<sup>3</sup> George Bezerra Ribeiro<sup>4</sup>*

**Resumo:** O fornecimento de água potável é um serviço indispensável para o desenvolvimento da sociedade, por isto é importante que as prestadoras de serviços o façam com responsabilidade e qualidade. Uma das principais queixas dos consumidores deste serviço está relacionada a presença de ar no sistema de abastecimento de água, que por sua vez acabam por influenciar os equipamentos de medição de vazão, podendo resultar em um aumento desproporcional na conta de água. O artigo tem por objetivo a construção de um protótipo utilizando a plataforma Arduino®, com o propósito de automatizar o controle do escoamento de água em uma residência por meio do monitoramento da pressão, vazão e temperatura. Também foram analisados e averiguados a eficiência desse protótipo e o tempo de retorno do investimento. Ao longo dos testes o protótipo demonstrou ser uma opção economicamente viável e funcional, pois atingiu objetivo proposto na sua concepção.

Palavras-chave: água; automação; vazão; temperatura; pressão.

### 1. INTRODUÇÃO

O fornecimento de água potável é um serviço essencial, uma vez que é indispensável à vida e ao próprio desenvolvimento da sociedade. Tendo em vista seu papel fundamental, é importante que o mesmo seja prestado com qualidade e responsabilidade, de modo a garantir o atendimento das necessidades mais básicas da população.

O Decreto 5.440/2005, que regulamenta as condições e procedimentos gerais sobre o controle de qualidade da água e dos sistemas de abastecimento e que institui os mecanismos para informação ao consumidor. Entretanto, por muitas vezes esta informação não está acessível à todos, e por desconhecimento destas o consumidor acaba pagando mais caro, ao receber um serviço que foge aos parâmetros de qualidade estabelecidos por lei.

No Estado do Rio Grande do Norte o fornecimento de água potável é feito pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN, que é responsável pelo abastecimento de 153 municípios e 13 localidades em todo o estado. [1]

O fornecimento de água é feito através de tubulações, que movimentam a água de um ponto a outro dos sistemas de abastecimento, desde a sua captação até o consumo. Baseado nos princípios de fenômenos de transporte [2], o deslocamento do fluido é possível devido a diferença de pressão existente ao longo das redes ou entre a rede e o ambiente externo, onde se está submetido à pressão atmosférica. Sempre que a pressão interna for positiva e superior à pressão externa, não haverá a presença de gases que possam causar interferências na medição do consumo de água, no entanto, ao ocorrer paradas no abastecimento, a situação poderá ser inversa, passando a entrar ar no sistema, que provavelmente será contabilizado pelos aparelhos de medição da residência.

Os aparelhos de medição utilizados nas residências trabalham sob um conjunto de condições e especificações definidas pelo fabricante. Caso os mesmos operem fora das condições preestabelecidas implicarão diretamente em erros nas medições. Isto, por sua vez, poderá onerar significativamente a conta do fornecimento de água do consumidor final que, muitas vezes, pela falta de informação ou mesmo instrumentos de medição adequados, acabam pagando muito caro.

Segundo [3], a não existência de uma norma para a fabricação e a aplicação de equipamentos para redução de ar, associada ao desinteresse por partes das prestadoras de serviços de abastecimento de água, têm chamado atenção dos consumidores a respeito da interferência dos gases no hidrômetro. Fato este que permite que esta situação passe despercebida por muitos órgãos de fiscalização, contribuindo ainda mais para a hipossuficiência do consumidor final.

O presente trabalho tem por objetivo principal a construção de um protótipo que permita o controle automatizado do registro geral do imóvel, possibilitando um maior nível de informação sobre as características do fornecimento de água para o consumidor final. Além disso, propõe-se também como objetivo específico analisar e averiguar a eficiência do protótipo e o tempo de retorno do investimento.

### 2. Desenvolvimento

## 2.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)

O Sistema de Abastecimento de Água é definido por [4] como “[...] o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público.”. [5], ainda acrescenta que o sistema é de “[...] responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão.”.

A composição dos SAA é descrita por [4] como “sistemas são compostos, de uma maneira geral, pelas unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais.”. A Figura 1, representa a configuração básica do SAA.

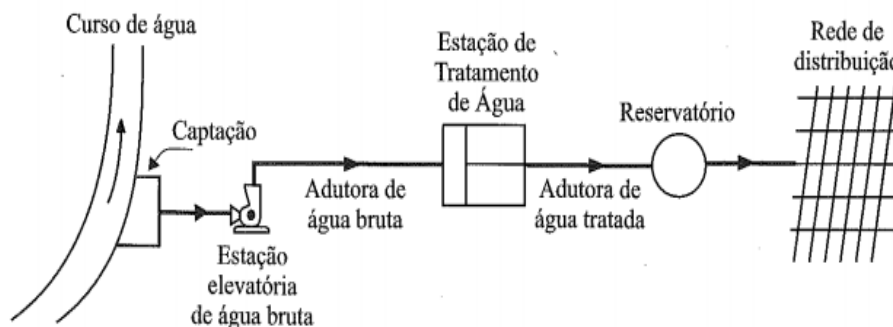


Figura 1. Configuração básica do SAA. (Fonte: [6])

## 2.2. SISTEMAS DE MEDIÇÃO

De acordo com [5], todo sistema hidráulico necessita do conhecimento sobre vazão em diferentes pontos da linha, tanto para condutos forçados, quanto para condutos livres. No SAA, é importante medir a vazão desde da captação até as redes de distribuição, essas medições normalmente são realizadas por macromedidores, e estão relacionadas com o gerenciamento do sistema e aspectos quantitativos. Os medidores instalados nos pontos individuais de consumo são, em geral, denominados de micromedidores, estes permitem o controle do consumo, bem como a cobrança justa do que se é usado. No mercado atual, existem diversos tipos de medidores de vazão, a Figura 2 mostra os principais equipamentos de medição [5].



Figura 2. Principais medidores de vazão. (Adaptado de [8], [9], [10], [11], [12], [13])

A escolha do tipo de medidor dependerá de fatores, tais como: o tipo de fluido, condição e regime de escoamento, precisão e confiabilidade desejada, pressão disponível na linha, custo de aquisição e manutenção, vida útil, dimensão, facilidades de operação [5]. No Quadro 1 é possível analisar as características dos instrumentos.

| <u>Numeração</u> | <u>Tipo</u>       | <u>Utilização</u>                  | <u>Faixa</u> | <u>Perda de pressão</u> | <u>Precisão aproximada %</u> | <u>Comprimento prévio n°. Diâmetros</u> | <u>Sensibilidade à viscosidade</u> | <u>Custo relativo</u> |
|------------------|-------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| (A)              | Venturi           | Líquidos comuns<br>pouca suspensão | 4:1          | Baixa                   | $\pm 1$ da escala            | 5 a 20                                  | Alta                               | Médio                 |
| (B)              | Placa de orifício | Líquidos comuns<br>pouca suspensão | 4:1          | Média                   | $\pm 1/\pm 4$ da escala      | 10 a 30                                 | Alta                               | Baixo                 |
| (C)              | Tubo de Pitot     | Líquidos sem impurezas             | 3:1          | Muito Baixa             | $\pm 3/\pm 5$ da escala      | 20 a 30                                 | Baixa                              | Baixo                 |
| (D)              | Turbina           | Líquidos comuns                    | 20:1         | Alta                    | $\pm 0,25$ da proporção      | 5 a 10                                  | Alta                               | Alto                  |

|     |                 |                                    |      |        |                        |        |        |      |
|-----|-----------------|------------------------------------|------|--------|------------------------|--------|--------|------|
|     |                 | pouca suspensão                    |      |        |                        |        |        |      |
| (E) | Eletromagnético | Líquidos condutivos com suspensões | 40:1 | Não há | $\pm 0,5$ da proporção | 5      | Não há | Alto |
| (F) | Ultra-sônico    | Líquidos viscosos com suspensões   | 10:1 | Não há | $\pm 5$ da escala      | 5 a 30 | Não há | Alto |

Quadro 1. Características dos sensores de vazão. (Adaptado de [5])

## 2.3. EQUIPAMENTOS APLICADOS A MICROMEDIÇÃO

A micromedição é um dos principais instrumentos para o gerenciamento do sistema de abastecimento de água, pois, por meio dela é possível prever o consumo e a partir disso elaborar projetos de captação, tratamento e distribuição da água. Existem diversos equipamentos que permitem realizar a micromedição, no entanto, os mais aplicados são: Hidrômetro tipo turbina (D) e o ultrassônico (F) que serão mais abordados adiante, nos tópicos 2.3.1 e 2.3.2.

### 2.3.1. HIDROMETROS TURBINA

No que se refere a micromedições, os dispositivos a serem aplicados serão os hidrômetros tipo turbina que possuem uma grande diversidade, tornando sua aplicação vasta. De acordo com [6], os hidrômetros são “aparelhos destinados a medir e indicar a quantidade de água fornecida pela rede distribuidora a uma instalação predial.”. Com base em [14], o aparelho que submetido a certas condições de trabalho deve estar dentro da faixa de erros tolerados e as condições estabelecidas pelo fabricante.

Tomando como base o autor [6], os hidrômetros são classificados a partir do princípio de funcionamento, disposição do sistema de transmissão, disposição dos mecanismos e tipo de mostrador. Ao longo do tempo, novos dispositivos surgiram no mercado: hidrômetros com saída pulsadas, hidrômetros elétricos, hidrômetros híbridos, hidrômetro sem partes móveis e com sistema de telemedição e gerenciamento de consumo. A escolha do tipo de hidrômetro deverá ser tomada com base nos seguintes fatores: qualidade de água, temperatura e pressão da água, condições de instalação e vazões de consumo.

Segundo [15,16,17 e 19] relatam que o hidrômetro é formado por quatro elementos básicos, como mostra a Figura 3.

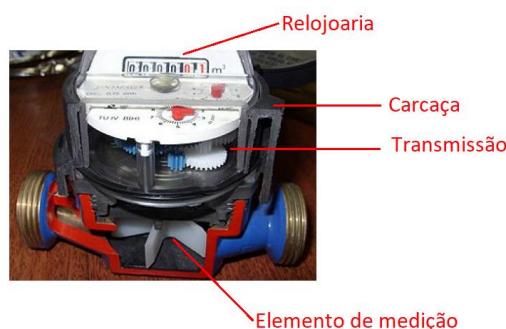


Figura 3. Principais componentes dos medidores de vazão. (Adaptado de [19])

### 2.3.2. HIDRÔMETROS ULTRASSÔNICOS

Os equipamentos de mensuração de vazão ultrassônicos utilizam-se da velocidade do som para medição do fluxo. São divididos em dois tipos, são eles: medidores de tempo de trânsito e de efeito Doppler. O primeiro aplica-se a transmissão por impulsos e o segundo, a transmissão contínua de ondas. Uma das vantagens desses aparelhos é que não causam perda de carga localizada, dispensando o contato com fluido. [5]

Ainda de acordo com [5], o funcionamento dos medidores de tempo de trânsito é baseado em dois sensores sendo um emissor e outro receptor, fixados na parede externa do tubo. Os mesmos são instalados de lados oposto e formando um ângulo, como mostra a Figura 4. Durante o fluxo, o tempo de transmissão  $t_1$  é levemente inferior a  $t_2$ . Sabendo-se a distância  $L$  entre o emissor e o receptor e os tempos de transmissão  $t_1$  e  $t_2$ , obtém-se a velocidade média de escoamento e consequentemente, a vazão.

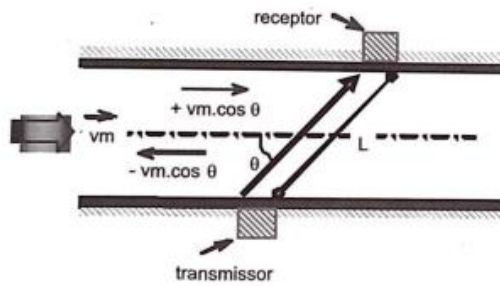


Figura 4. Funcionamento do medidor de tempo de trânsito. (Fonte: [5])

Quanto ao funcionamento dos medidores de efeito Doppler, o emissor projeta um feixe contínuo de ondas, no qual as partículas refletem, alterando sua frequência proporcionalmente ao componente da velocidade das partículas na direção do feixe.

## 2.4. AR NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Segundo [3], as águas na temperatura de 20°C contêm certa quantidade de ar dissolvido. O ar presente no fluido, de acordo com a lei de Henry, pode ser liberado caso haja diminuição da pressão e/ou aumento da temperatura da água durante o escoamento; [20] acrescenta que a quantidade de gases dissolvida é mínima e insignificante em termos dos erros de medição.

[6] trata outras situações onde o ar pode ser introduzido nas tubulações, a saber, pelo preenchimento ou esvaziamento das adutoras e trechos da rede de distribuição; pelo baixo nível de água nos reservatórios, ocasionando vórtices na tubulação de saída; durante a formação de ressalto hidráulico em trechos da adutora em superfície livre; quando da utilização de águas naturais de qualidade inferior, pela formação de gás por meio da atividade biológica; em trechos das adutoras e redes de distribuição nos quais ocorrem pressão negativa; e pelo processo de cavitação das bombas, neste caso menor em volume.

### 2.4.1. PADRÕES DE ESCOAMENTOS AR/ÁGUA EM TUBULAÇÕES

Segundo [21], o escoamento bifásico de água e ar varia de acordo com a inclinação dos canos. Os escoamentos verticais apresentam maior simetria em relação ao eixo do cano e podem ocorrer de seis formas distintas, como mostra a Figura 5.

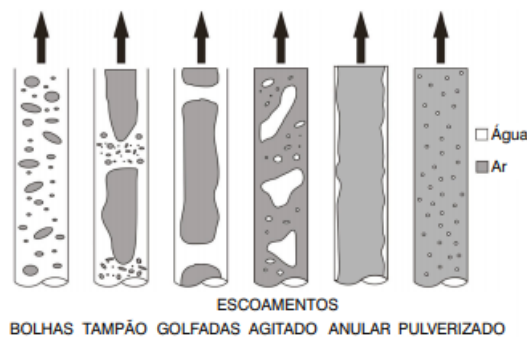


Figura 5. Tipos de escoamento vertical. (Fonte: [21])

O escoamento em tubos inclinados ocorre da mesma maneira dos tubos verticais, mudando apenas a limitação ou total supressão do escoamento de bolhas. Em relação ao escoamento em tubos horizontais, não possui nenhuma simetria devido aos efeitos da força da gravidade em fluidos de massas específicas distintas. Devido a essas diferenças de massas, ocorre a estratificação na direção vertical, o líquido tenderá a ocupar a parte mais baixa do tubo e força o ar para a parte superior, representado pela Figura 6.

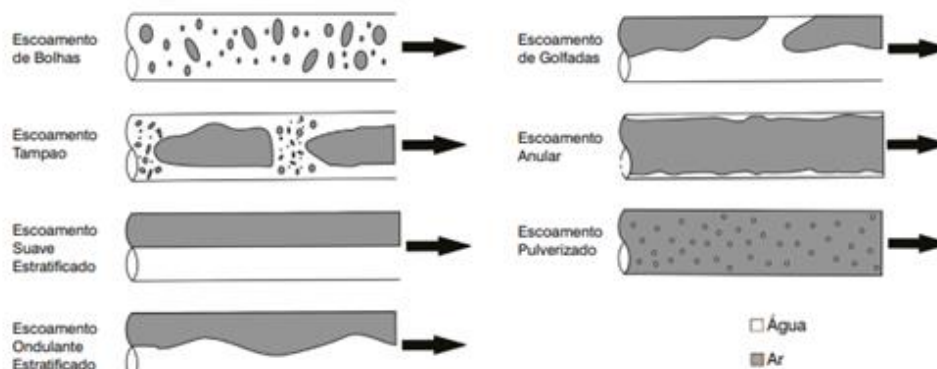


Figura 6. Tipos de escoamento horizontal. (Fonte: [21])

### 3. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida com base no consumo mensal de água de uma residência situada na cidade de Mossoró no Estado do Rio Grande do Norte, onde há frequentemente problemas com falta de abastecimento de água. Para verificar o problema de ocorrência de ar na tubulação que provavelmente interfere na medida do hidrômetro da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN, observa-se na Figura 7 o consumo registrado para o ano de 2016, onde o registro geral de água era mantido aberto indefinidamente, e no ano de 2017 quando se fechou o registro geral nos períodos de tempo que não havia abastecimento de água na rede da concessionária local.

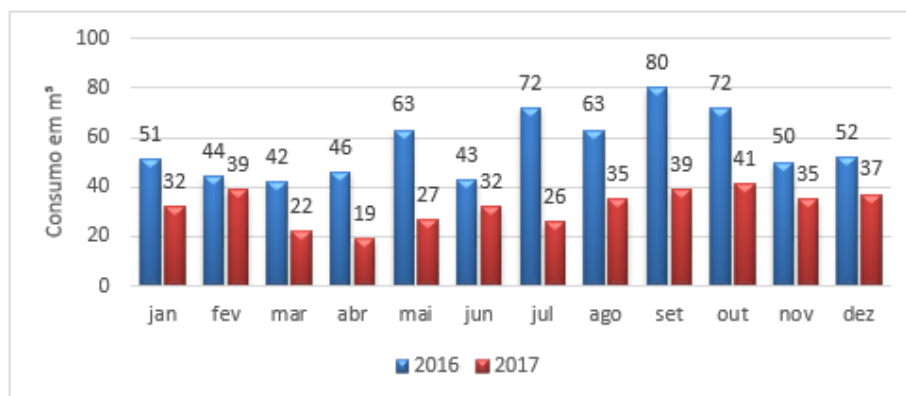


Figura 7. Dados de consumo de uma residência. (Autoria Própria)

Ao analisar os dados coletados da Figura 7, percebe-se que para o ano de 2017 o consumo de água é menor em todos os meses quando comparado ao ano de 2016. A ação de fechar o registro da água nos momentos em que não há abastecimento de água, impede que o ar presente nas tubulações passe pelo hidrômetro e gere cobranças indevidas. A presença de ar nas tubulações está ilustrada na Figura 8, onde foi possível constatar que houve a interferência da presença de ar no hidrômetro, quando se coloca um recipiente com água na saída de torneira proveniente de abastecimento de água da CAERN.



Figura 8. Bolhas de ar saindo da torneira. (Autoria Própria)

Diante do exposto, constata-se a necessidade de algum dispositivo para o controle da entrada de água, a fim de evitar que o consumidor pague por ar nas tubulações no período em que não ocorre o fornecimento de água pela concessionária. Nesse contexto, foi desenvolvido um protótipo capaz de monitorar a presença de água por

meio da pressão, vazão e temperatura, permitindo somente a passagem de água na tubulação, quando preciso e se estiver em conformidade com determinados parâmetros. A construção do dispositivo está detalhada no item 3.1.

### 3.1. DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO

A Figura 9 esquematiza o funcionamento do sistema desenvolvido e analisado. Os sensores (1, 2, 3), coletam os dados de pressão, temperatura e vazão. A placa de relógio (4) dá a referência de data/hora. Os dados coletados são enviados ao controlador (6), utilizando-se de uma plataforma Arduino®. No controlador, os dados são armazenados e enviados ao módulo micro-sd (5), para uma futura análise dos dados, poderá ser usado um computador (11).

Para o funcionamento da válvula (8), o Arduino® recebe as informações dos sensores. Caso os dados coletados estejam dentro das condições estabelecidas o mesmo envia um sinal de comando para o relé (7) permitindo a passagem de energia para a válvula. A abertura da válvula permite a passagem de fluxo de água (9), que será novamente mensurado pelos sensores

A fonte de energia (10), irá alimentar Arduino® e a válvula, de modo a garantir o seu funcionamento.

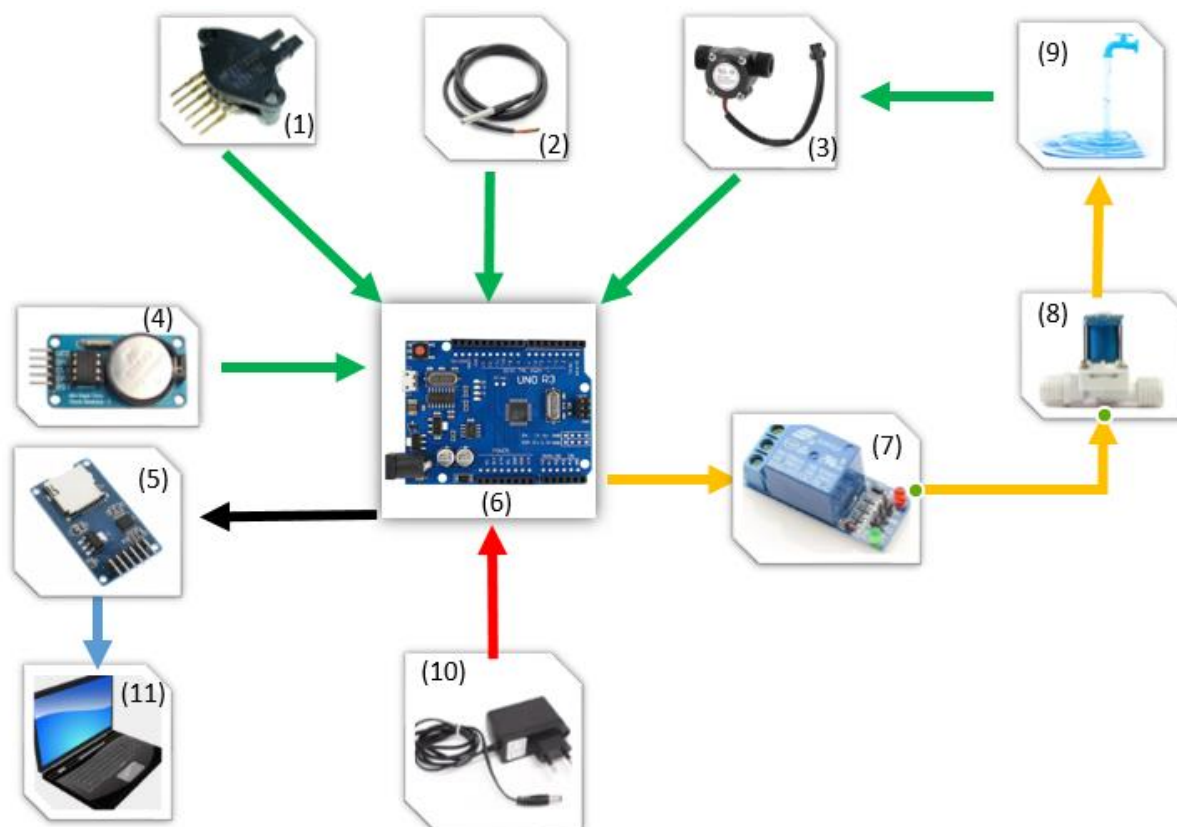


Figura 9. Esquema de funcionamento do sistema. (Autoria Própria)

Os detalhes sobre o sensoriamento e demais componentes do circuito serão discutidos nas seções 3.1.1 a 3.1.6.

#### 3.1.1. VAZÃO

Inicialmente, analisou-se o hidrômetro da concessionária (UNIMAG de 0,75m³/h) para avaliar a vazão nominal e os demais parâmetros, e em seguida a vazão que saía da torneira, próximo ao registro geral, para determinar qual seria o instrumento mais adequado para o projeto. O instrumento de medição escolhido foi o sensor de Fluxo de Água YF-S201, devido ao seu princípio de funcionamento ser similar aos hidrômetros tipo turbina, sendo compatível com a vazão da residência, além de que a tensão de entrada do sensor é próxima aos 5V, permitindo ser controlado diretamente pelo Arduino®, sem necessitar de fonte de alimentação externa. As características do sensor YF-S201 são [22]: tensão de operação 5 a 24V, corrente máxima de 15mA (5V), faixa de fluxo de 1 a 30L/min, pressão máxima de 2 MPa, 450 pulsos por litro, temperatura de trabalho de -25 a 80°C e precisão de  $\pm 10\%$ . A Figura 10 traz a imagem do sensor de fluxo YF-S201.



Figura 10. Sensor de fluxo de água, modelo YF-S201. (Fonte: [22])

O sensor mede o fluxo de água por meio de sinal PWM, que é enviado para um microcontrolador. Seu funcionamento é baseado na utilização de um sensor de efeito Hall para detecção da rotação de um rotor de nylon com um ímã acoplado (Figura 11). Quando a água passa pelo rotor, são gerados pulsos proporcionais à velocidade [23].

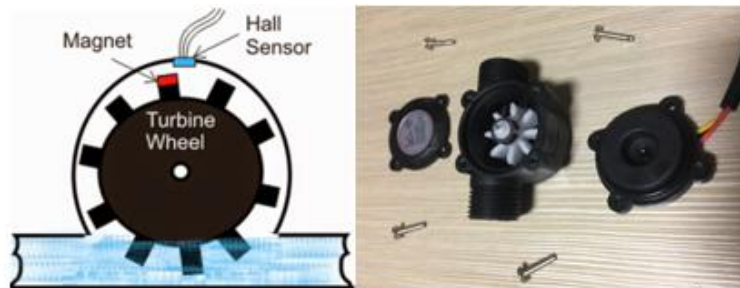


Figura 11. Funcionamento do sensor de fluxo YF-S201. (Adaptado de [23] [24])

### 3.1.2. TEMPERATURA

Segundo os manuais do fabricante de tubulações Tigre [25] (segue a NBR 5648), a temperatura máxima dos tubos de PVC (fria) não deveria ultrapassar 70°C. No entanto, a água da concessionária vem com temperaturas próximas à máxima suportada pelo PVC, podendo causar futuros problemas na tubulação da residência. Na coleta dos dados de temperatura, escolheu-se o sensor modelo Dallas DS18B20 por ser impermeável. As especificações do dispositivo são: tensão de operação entre 3 e 5,5V, leitura de temperatura entre -55 e 125°C, precisão de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  e resolução de 9 ou 12 bits [26]. Este sensor é adequado ao projeto, devido a sua precisão, faixa de leitura e, também por sua tensão de operação compatível com o Arduino®. A Figura 12, traz a imagem do sensor de temperatura Dallas DS18B20.



Figura 12. Sensor de temperatura, modelo DS18B20. (Fonte: [26])

### 3.1.3. PRESSÃO

Assim como a temperatura, existe uma pressão máxima que os tubos de PVC podem suportar; a NBR5648 [25] determina que a pressão é de 735 KPa. Tendo como parâmetro os valores de pressão a monitorar, foi considerado o uso do sensor MPX5700DP, cujas especificações são: faixa de pressão de 0 a 700KPa, tensão de entrada de 5V e faixa de temperatura de operação de -40 a 125°C [27]. A escolha desse sensor também deu-se devido à sua resistência a elevadas temperaturas e por sua tensão de entrada ser compatível com o Arduino®. A Figura 13 ilustra o dispositivo sensor.



Figura 13. Sensor de pressão, modelo MPX5700DP. (Fonte: [28])

[29] O sensor de pressão escolhido é composto por um transdutor piezoresistivo que, quando submetido à pressão, gera uma tensão elétrica proporcional. A tensão produzida pelo sensor é lida por um Arduino®, que converte a tensão medida em valor de pressão.

#### 3.1.4. VÁLVULA SOLENOIDE

Para substituir o registro geral da casa, empregou-se uma válvula solenoide, tipo normalmente fechada (NF), que, na falta de energia para o seu funcionamento, fecha a passagem de água. As especificações da válvula são: tensão de operação de 12V, pressão de trabalho entre 19,6 e 784 KPa, vazão mínima de 7 L/min (em 19,6KPa), vazão máxima de 40 L/min (em 784KPa), temperatura máxima de 60°C e rosca 25mm (3/4) [30].. A imagem da válvula solenoide está apresentada na Figura 14.



Figura 14. Válvula solenoide. (Autoria [30])

A válvula é composta por uma bobina elétrica e um êmbolo. Em posição de repouso, sem passagem de corrente, o êmbolo tampa o orifício por onde o fluido circula. Quando uma corrente elétrica passa pela bobina, esta corrente gera um campo magnético que por sua vez “puxa” o êmbolo, abrindo a passagem [31].

#### 3.1.5. ARDUINO UNO

O Arduino® é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre microcontrolado, ou seja, ele usa um circuito integrado microcontrolador Atmel AVR [32]. O mesmo, também é fácil de ser programado e aplicado, desenvolvido para ser utilizado por pessoas leigas em programação e em eletrônica. Além do mais, foi construído para ser uma plataforma de baixo custo e acessível. A escolha dessa plataforma ocorreu devido a facilidade de interação com sensores digitais e analógicos e o baixo custo para aquisição. A Figura 15 mostra o Arduino UNO que foi aplicado ao projeto.



Figura 15. Arduino Uno. (Fonte: [33])

#### 3.1.6. Relógio de Tempo Real (RTC) DS3231

Como referência de tempo foi escolhido um relógio de tempo real (RTC) de alta precisão e baixo consumo de energia, modelo DS3231. É. Em sua placa vem embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão. Relógio DS3231 é capaz de informar os segundos, minutos, horas, dias, data, mês e ano.. Em caso de falta de energia o RTC passa a utilizar sua bateria interna, evitando a perda de informação; a

comunicação entre o sensor e o Arduino se dá via protocolo I2C. As características de operação deste sensor, são: tensão operação 3,3v à 5v, interface I2C e faixa de temperatura 0 a 40°C [referência]. Na Figura 16 é possível ver a imagem do módulo implementado no projeto.



Figura 16. Relógio de Tempo Real, modelo RTC DS3231 (Autoria Própria)

### 3.2. SOFTWARE

O diagrama de automação do sistema está ilustrado na Figura 17. Inicialmente são habilitadas as bibliotecas necessárias, seguido da definição dos pinos e variáveis para cada sensor. Com a função Void setup do Arduino®, são inicializados o sensor de temperatura e a porta serial, além da inicialização definiu-se a condição inicial do módulo relé e do sensor de vazão.

Após a definição do estado inicial, inicia-se o laço de repetição do programa. No código de programação há dois contadores, utilizados na contagem do tempo. O primeiro define o tempo de abertura da válvula solenoide para as primeiras coletas e o segundo define o tempo em que a válvula deve permanecer fechada.

Os valores medidos pelos sensores determinam se os parâmetros de temperatura, vazão e pressão estarão dentro ou fora das condições de operação pré-estabelecidas.

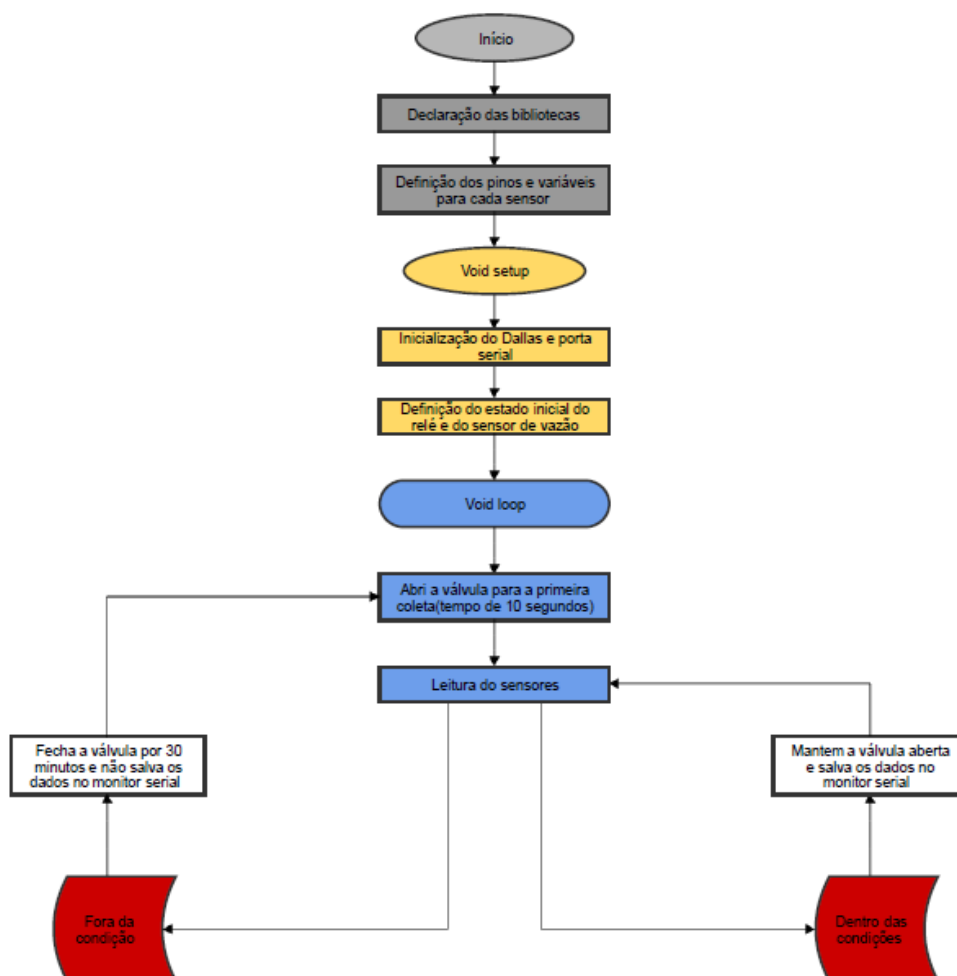


Figura 17. Fluxograma de operação do sistema automatizado. (Autoria Própria)

Uma das lógicas mais importantes atribuídas ao projeto é o funcionamento da válvula solenoide que é

responsável pelo controle do fluxo de água a partir dos parâmetros de vazão, temperatura e pressão.

Os critérios definidos para a abertura da válvula foram: o medidor de fluxo deve registrar uma vazão entre 2 a 12 L/min, a temperatura da água deve ser inferior a 60°C e a pressão deve estar entre 70 e 700KPa. A vazão e a pressão precisam estar dentro dessa faixa para que o fluido chegue até o reservatório superior de água da unidade consumidora.

O fluxo de água foi determinado pelo método experimental, o processo ocorreu por meio do controle do registro geral: Enquanto um observador monitorava e controlava o fluxo, outro acompanhava a entrada de água no reservatório. Desta forma, foi possível encontrar um valor mínimo necessário para o fluxo de água. Para pressão manométrica utilizou-se do princípio de Stevin [35] aplicando a densidade da água, a gravidade e altura aproximada de 7m.

Em relação aos critérios de temperatura, o algoritmo foi aplicado para armazenar os dados de temperatura máxima e mínima do dia.

### 3.3. ESQUEMA DE LIGAÇÃO

A estrutura da coleta de dados é composta por uma plataforma de prototipagem e componentes ligados a ela. Dentre eles, há o módulo relé, dispositivo responsável pelo controle da válvula solenoide. Os demais componentes encontram-se apresentados na Figura 18, a qual mostra a esquematização da montagem, realizada por meio de conexão a uma barra de sindal. Todo o conjunto foi alojado em uma caixa plástica, instalada próxima aos dispositivos de medição e controle do fluxo de água. A placa do Arduino® foi alimentada por uma fonte de 12V.

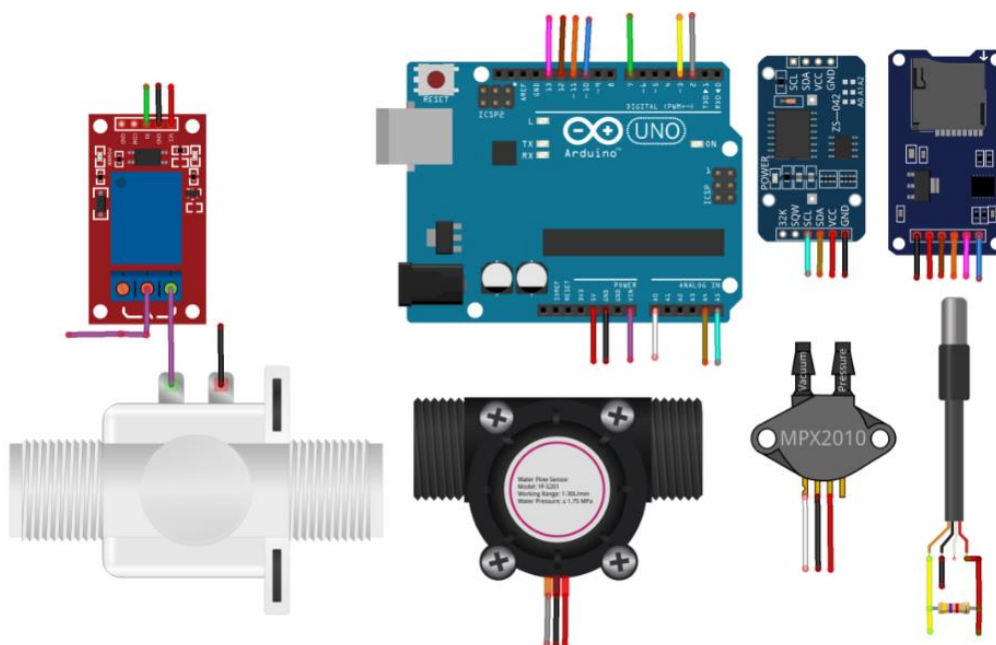


Figura 18. Diagrama de ligação dos sensores ao Arduino. (Autoria Própria)

### 3.4. PROCEDIMENTO DE LIGAÇÃO E TESTE DO EQUIPAMENTO CONSTRUÍDO

Para executar os testes, necessitou-se construir um aparato com os seguintes materiais: um pedaço de tubo para unir os demais componentes de PVC, duas uniões utilizadas para conectar os sensores à instalação predial, dois T's e dois tampões tipo *cap*, um aplicado ao sensor de temperatura e outro ao sensor de pressão, uma luva de redução de 25mm para 20mm, duas luvas com rosca de 20mm e uma de 25mm, cola de PVC, cola de silicone de alta temperatura para vedar os furos, fios, fonte de 12v para alimentar o Arduino UNO e a válvula solenoide, uma extensão USB, uma caixa plástica para abrigar e proteger contra o sol e a chuva. A Figura 19 mostra como foram manipulados os materiais e o local onde foi instalado.

Antes de efetuar a coleta de dados, instalou-se o equipamento em uma mangueira, para averiguar uma possível existência de vazamentos. Após a verificação, houve a substituição do registro geral da residência pelo instrumento construído.

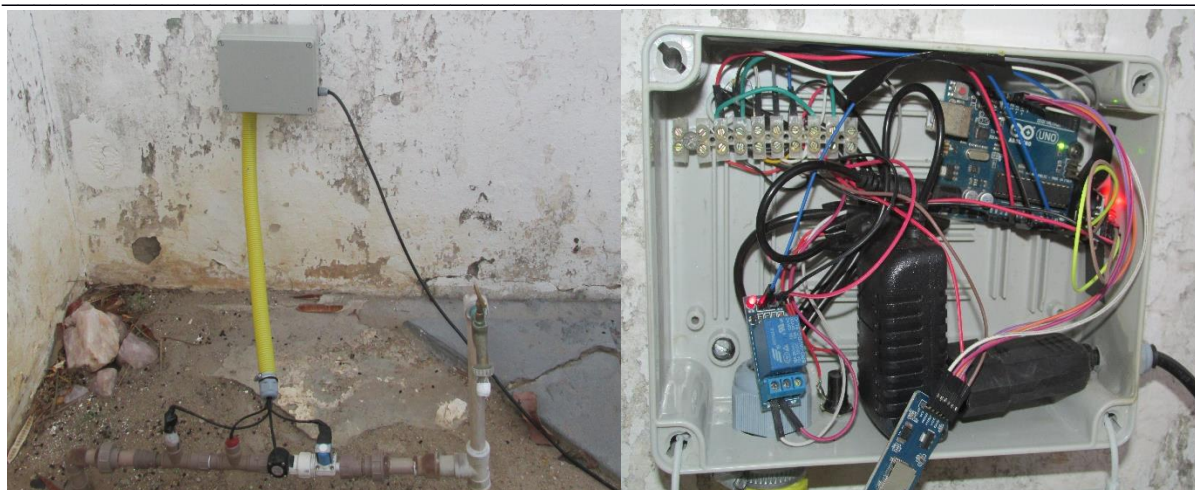


Figura 19. Dispositivo construído, instalado na unidade consumidora. (Autoria Própria)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A realização da coleta de dados iniciou-se no dia 04/08/2018 e estendeu-se até o dia 21/08/2018, o procedimento da extração dos dados ocorreram semanalmente. Deste modo, foi possível verificar a eficiência do protótipo. Nos tópicos 4.1 e 4.2 estão, respectivamente, mostrados os dados obtidos na coleta e uma análise do retorno do investimento, a fim de atingir os objetivos específicos propostos.

### 4.1. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE TEMPERATURA, PRESSÃO E VAZÃO

Os dados diários foram lançados no software *Microsoft Excel*, onde foi realizada a média dos valores diários e lançados em gráfico (Figura 20).

Os dados coletados pelos sensores de temperatura, pressão e vazão permitiram avaliar o funcionamento do protótipo, bem como mostraram a variação do fornecimento de água da concessionária para os nove dias de monitoramento, conforme demonstrado na Figura 20.

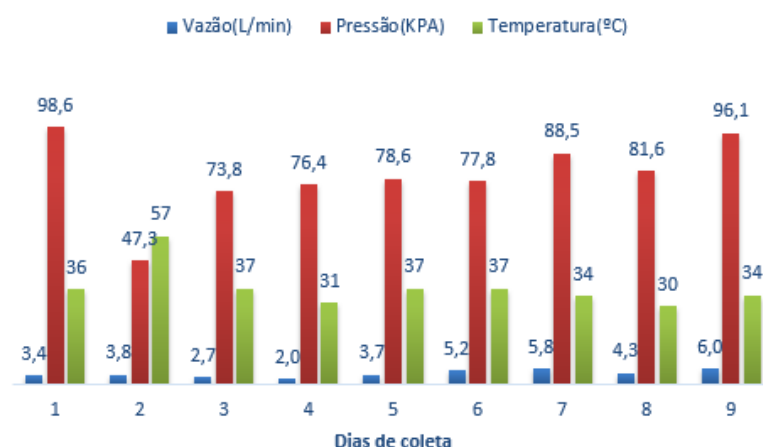


Figura 20. Dados de vazão, pressão e temperatura da água na unidade consumidora, no intervalo de monitoramento. (Autoria Própria)

As diferentes leituras registradas pelo protótipo permitem constatar a variação dos padrões de fornecimento, ressaltando ainda mais a necessidade de um dispositivo de controle para fins de acompanhamento, sobretudo se os padrões fornecidos estão fora das especificações técnicas previstas.

Durante o período da coleta de dados, alguns dias deixaram de ser registrados, pois os dados são registrados somente se atendem às condições de funcionamento pré-definidas. Deste modo, somente foram registrados os dados de 9 dos 17 dias de operação.

Ao analisar a precisão dos equipamentos utilizou-se o medidor de vazão YF-S201 para mensurar o consumo em litros, que, posteriormente, foram convertidos em  $m^3$ , em planilha do *Microsoft Excel*. Deste modo, os valores obtidos pelo sensor puderam ser comparados com os valores registrados pelo hidrômetro da concessionária de água, também em  $m^3$ . Os resultados obtidos do comparativo podem ser vistos no Quadro 2.

| Consumo(Medido) | Consumo(concessionária) | Diferença percentual |
|-----------------|-------------------------|----------------------|
| 30,55           | 31,00                   | 1,47%                |

Quadro 2. Dados comparativo entre as medições de vazão do hidrômetro da concessionária e o protótipo. (Fonte: Autoria Própria)

Com base nas especificações do sensor e no resultado apresentado no Quadro 2, pode-se afirmar que os valores obtidos pelo sensor foram próximos ao real, sendo assim, os dados coletados estão dentro do esperado.

#### 4.2. ANALISE DO CUSTO DO PROTÓTIPO E O TEMPO DE RETORNO

Para a construção do equipamento utilizou-se de um conjunto de materiais e sensores adquiridos no mercado nacional ao custo total de R\$ 290,20. No entanto, para construção do protótipo utilizando-se dos materiais importados da china, o custo final do projeto poderia sair R\$ 139,47 mais barato. O Quadro 3 traz a lista de materiais, a quantidade de cada item, os valores pagos no Brasil e os custos se os itens fossem adquiridos na China.

| Equipamentos            | Quantidade | Pago(Brasil)      | Preço(China)      |
|-------------------------|------------|-------------------|-------------------|
| Arduino Uno             | 1          | R\$ 46,90         | R\$ 13,26         |
| Sen. Pressão            | 1          | R\$ 50,00         | R\$ 33,48         |
| Sen. Fluxo              | 1          | R\$ 40,00         | R\$ 28,06         |
| Sen. Temperatura        | 1          | R\$ 17,00         | R\$ 4,82          |
| RTC                     | 1          | R\$ 16,90         | R\$ 4,57          |
| Módulo SD               | 1          | R\$ 10,90         | R\$ 2,54          |
| Fios                    | ---        | R\$ 15,00         | R\$ 15,00         |
| Barra Sindal            | 1          | R\$ 3,00          | R\$ 3,00          |
| Caixa Impermeavel       | 1          | R\$ 55,00         | R\$ 20,00         |
| Fonte de Tensão         | 1          | R\$ 12,00         | R\$ 5,00          |
| Fusível e Porta Fusível | 1          | R\$ 3,50          | R\$ 1,00          |
| Tubos e demais itens    | ---        | R\$ 20,00         | R\$ 20,00         |
| <b>Total</b>            |            | <b>R\$ 290,20</b> | <b>R\$ 150,73</b> |

Quadro 3. Listas de materiais, quantidades e custos, no mercado nacional e no exterior. (Fonte: Autoria Própria)

O tempo de retorno do custo do projeto se dá pela diminuição dos valores pagos no consumo de água registrada pela concessionária. Para fins de estimativa, foi realizada uma média para os 8 primeiros meses de consumo de água no ano. A fim de obter os valores em uma base de comparação única, as taxas e os impostos foram atualizados para o ano de 2018 e recalculados os valores pagos entre os anos 2015 e 2016 e os anos de 2017 e 2018.

Foram calculadas as médias do consumo entre os anos de 2015 e 2016 e os anos de 2017 e 2018 e foi elaborada uma tabela com os valores de consumo, em m³, e o de despesa, em reais. Por fim, foram calculadas as diferenças entre esses dois períodos de comparação. O Quadro 4 mostra os resultados desta comparação, onde é possível identificar que a economia total para os 8 primeiros meses é de R\$ 1.190,32.

| Média de 2015 e 2016   |               |                | Média de 2017 e 2018 |               |                | Diferença das Médias |               |                 |
|------------------------|---------------|----------------|----------------------|---------------|----------------|----------------------|---------------|-----------------|
| Mês                    | Consumo em m³ | Consumo em R\$ | Mês                  | Consumo em m³ | Consumo em R\$ | Mês                  | Consumo em m³ | Consumo em R\$  |
| Janeiro                | 57            | R\$ 346,79     | Janeiro              | 37            | R\$ 192,50     | Janeiro              | 21            | R\$ 154,29      |
| Fevereiro              | 52            | R\$ 308,57     | Fevereiro            | 38            | R\$ 202,76     | Fevereiro            | 14            | R\$ 105,81      |
| Março                  | 38            | R\$ 202,76     | Março                | 24            | R\$ 109,43     | Março                | 15            | R\$ 93,33       |
| Abril                  | 35            | R\$ 181,97     | Abril                | 24            | R\$ 112,74     | Abril                | 11            | R\$ 69,24       |
| Maio                   | 53            | R\$ 318,43     | Maio                 | 24            | R\$ 112,40     | Maio                 | 29            | R\$ 206,03      |
| Junho                  | 48            | R\$ 274,18     | Junho                | 23            | R\$ 107,55     | Junho                | 26            | R\$ 166,63      |
| Julho                  | 59            | R\$ 365,09     | Julho                | 27            | R\$ 130,22     | Julho                | 32            | R\$ 234,87      |
| Agosto                 | 55            | R\$ 328,69     | Agosto               | 33            | R\$ 168,56     | Agosto               | 22            | R\$ 160,13      |
| Setembro               | 72            | R\$ 475,12     | Setembro             |               |                | Setembro             |               |                 |
| Outubro                | 61            | R\$ 378,77     | Outubro              |               |                | Outubro              |               |                 |
| Novembro               | 52            | R\$ 298,12     | Novembro             |               |                | Novembro             |               |                 |
| Dezembro               | 49            | R\$ 276,59     | Dezembro             |               |                | Dezembro             |               |                 |
| <b>total (8 meses)</b> |               |                |                      |               |                |                      | <b>167</b>    | <b>1.190,32</b> |

Quadro 4. Média de consumo mensal de água e economia, em Reais, para oito meses típicos, sem e com o uso do sistema de monitoramento e controle de escoamento da água. (Fonte: Autoria Própria)

#### 5. CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido demonstrou ser uma opção economicamente viável e funcional, uma vez que, ao longo de sua utilização e monitoramento, cumpriu o objetivo proposto na sua concepção.

Dentre os principais benefícios proporcionados por sua utilização estão: controle de dados importantes como pressão, temperatura e vazão, permitindo avaliar se as condições do fornecimento de água da unidade consumidora estão dentro dos parâmetros da companhia, além de permitir identificar possíveis problemas com o abastecimento de água. Também foi possível estabelecer o controle automatizado da válvula do registro, impedindo ao máximo a entrada de ar da tubulação no sistema doméstico, que por sua vez pode impactar diretamente em uma redução da despesa com o consumo de água.

Todas estas informações além de benéficas em termos econômicos, são extremamente úteis ao consumidor para fins de fiscalização junto a companhia de abastecimento de água.

As tecnologias que compreendem as medições aplicadas no projeto encontram-se em constante aprimoramento. Diante disso, neste artigo foi realizada uma revisão bibliográfica dos conceitos necessários para uma melhor compreensão, assim como a construção de um protótipo para estudo.

Apesar de constatada a eficácia do protótipo, o reduzido período de monitoramento impede a obtenção de resultados mais conclusivos sobre sua eficiência, quanto ao real impacto na redução do valor do consumo de água.

Deste modo, sugere-se para pesquisas futuras um estudo mais aprofundado da eficiência do protótipo em relação ao consumo, com um período de monitoramento mais extenso, capaz de apresentar dados mais expressivos quanto à redução da conta de consumo de água. Além disso, sugere-se também a análise da vida útil do protótipo quando exposto à chuva e sol; uma melhoria no seu acabamento, e também, a construção de um sistema de telemetria para facilitar a coleta dados remotamente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COMPANHIA de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Companhia\\_de\\_%C3%81guas\\_e\\_Esgotos\\_do\\_Rio\\_Grande\\_do\\_Norte](https://pt.wikipedia.org/wiki/Companhia_de_%C3%81guas_e_Esgotos_do_Rio_Grande_do_Norte)>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- [2] Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N. (2004) Fenômenos de Transporte, 2a ed. LTC, Rio de Janeiro.
- [3] LOPES, Ney Procópio; LARA, Márcia; LIBÂNIO, Marcelo. Quantificação em escala de bancada do volume de ar em ligações prediais de água. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 16, n. 4, p.343-352, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522011000400005>.
- [4] GOMES, H. P. Sistemas de Abastecimento de Água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.
- [5] HELLER, L.; PÁDUA, V. L. Abastecimento de Água para Consumo Humano. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2006.
- [6] TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 3. ed. São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643p.
- [7] REIS, L. F. R.; CHEUNG, P. B. Os Vazamentos nas Redes de Distribuição de Água. In: GOMES, H. P.; GARCIA, R. P.; REY, P. L. I. (Coord.). Abastecimento de Água: o estado da arte e técnicas avançadas. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2007. p. 67-84.
- [8] MEDIDOR de fluxo de venturi. Disponível em: <<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/venturi-flow-meter-60503529581.html>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- [9] PLACA de orifício catalogo. Disponível em: <<http://www.emerson.com/pt-br/catalog/rosemount-3051sfc-wireless-conditioning-orifice-flowmeter-pt-br>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- [10] HM-8920-Manômetro e Anemômetro com tubo de Pitot. Disponível em: <<http://www.highmed.com.br/hm-8920-manometro-e-anemometro-com-tubo-de-pitot/p>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- [11] HIDRÔMETRO CONTADOR DE ÁGUA. Disponível em: <[Http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instrumentacao/techmeter/produtos/instrumentacao/hidrometro-contador-de-agua](http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instrumentacao/techmeter/produtos/instrumentacao/hidrometro-contador-de-agua)>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- [12] MEDIDOR DE VAZÃO MAGNÉTICO. Disponível em:<<http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instrumentacao/techmeter/produtos/instrumentacao/medidor-de-vazao-magnetico>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- [13] HYDRUS Ultraschallzähler. Disponível em:<<https://www.heitland-gmbh.de/wasser/hauswasserzaehler/hydrus.html>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- [14] PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCD. Micromedição: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2004b. 171p. Documento Técnico de Apoio D3. Disponível em:<[http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA\\_D3.pdf](http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_D3.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2018.
- [15] BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria n. 246, de 17 de outubro de 2000, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000667.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2018.
- [16] COELHO, A. C. Medição de Água e Controle de Perdas. Rio de Janeiro: ABES, 1983.
- [17] MENDONÇA, S. R. Manual do Reparador de Medidores de Água. São Paulo: CETESB, 1975.
- [18] RECH, A. L. Água Micromedição e Perdas. Porto Alegre: DMAE, 1992.
- [19] NOVA Mutum: Novo modelo de hidrômetro será exigido a partir de 2018. Disponível em: <<http://powermix>>.

- com.br/geral/nova-mutun-novo-modelo-de-hidrometro-sera-exigido-a-partir-de-2018/4965>. Acesso em: 31 mar. 2018.
- [20] MELLO, E. J.; FARIAS, R. L. O Ar e a sua Influência na Medição do Consumo de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-001.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2010.
- [21] FALVEY, H.T. Air-water flow in hydraulic systems. United States Bureau of Reclamation. Engineering Monograph n. 41, 1980.
- [22] SENSOR de Fluxo de Água 1/2" YF-S201. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-fluxo-de-agua-12-yf-s201/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [23] ARDUINO Lab 13 – Leitura de vazão e indicação no display do Nokia 5110. Disponível em: <<https://www.easytrollabs.com/arduino/arduino-lab-13-leitura-de-vazao-e-indicacao-no-display-do-nokia-5110/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [24] vazão Funcionamento. Disponível em: <<http://chocoball.tistory.com/archive/20170628>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [25] SISTEMAS prediais de água fria - Tubos e conexões de PVC 6,3, PN 750 kPa, com junta soldável - Requisitos. [S.l.: s.n.], [19/01/2010]. 25 p.
- [26] THOMSEN, Adilson. Medindo temperatura debaixo d'água com DS18B20. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-temperatura-ds18b20-arduino/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [27] SENSOR de Pressão Diferencial - MPX5700DP. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-pressao-arduino/sensor-de-pressao-diferencial-mpx5700dp-3812.html>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [28] SENSOR De Pressão P/ Arduino Mpx5700dp Mpx5700 Sensor De Ar. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-915363770-sensor-de-presso-p-arduino-mpx5700dp-mpx5700-sensor-de-ar-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-915363770-sensor-de-presso-p-arduino-mpx5700dp-mpx5700-sensor-de-ar-_JM)>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [29] ARDUINO Air Pressure Measurement. Disponível em: <<https://circuits4you.com/2016/05/13/arduino-pressure-measurement/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [30] VÁLVULA Solenóide para Água 12V 180° ( 3/4 x 3/4). Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/valvula-solenoides-para-agua-12v-180-x>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [31] SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. Como Funciona a Válvula Solenóide e Quais São os Tipos Existentes? Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/valvula-solenoides/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [32] MCROBERTS, Michael. ARDUINO BASICO. [S.l.]: Novatec, 2011. 456 p.
- [33] KIT Arduino Uno. Disponível em: <<https://www.dificildeencontrar.com.br/arduino/kits-arduino/kit-arduino-uno/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [34] INTRODUÇÃO ao Arduino. Disponível em: <<http://omecatronico.com.br/blog/introducao-ao-arduino/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
- [35] TEOREMA de Stevin. Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/EstaticaeHidrostatica/teoremadestevin.php>>. Acesso em: 01 abr. 2018.