



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS QUIXADÁ**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**FRANCISCO FELIPE DA SILVA**

**TORNEIRA INTELIGENTE COM CONTROLE DE FLUXO E ATIVAÇÃO  
AUTOMÁTICA PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**QUIXADÁ**

**2019**

FRANCISCO FELIPE DA SILVA

TORNEIRA INTELIGENTE COM CONTROLE DE FLUXO E ATIVAÇÃO AUTOMÁTICA  
PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Guimarães Al-Alam

QUIXADÁ

2019

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

---

S58t Silva, Francisco Felipe da.  
Torneira inteligente com controle de fluxo e ativação automática para redução de desperdício dos recursos hídricos / Francisco Felipe da Silva. – 2019.  
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Computação, Quixadá, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Wagner Guimarães Al-Alam.

1. Recursos Hídricos. 2. Válvulas. 3. Detectores. 4. Engenharia de protótipos. I. Título.

CDD 621.39

---

FRANCISCO FELIPE DA SILVA

TORNEIRA INTELIGENTE COM CONTROLE DE FLUXO E ATIVAÇÃO AUTOMÁTICA  
PARA REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Wagner Guimarães Al-Alam (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antônio Joel Ramiro de Castro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Paulo Armando Cavalcante Aguiar  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Paulo Victor Barbosa de Sousa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, e em especial à Solange Queiros, que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria de Fátima da Silva e Francisco Braga da Silva (*in memoriam*), pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao professor Wagner Guimarães Al-Alam, pela orientação, apoio e confiança.

Aos meus amigos, Iury Queiros, Antônio Raimundo, Francisco Ferreira, Barbara Fernandes, Márcia Gabrielle, Vitória Facundo, Rafaella Fernandes, Isabel Thalyta e Lorena Correia, por todo conforto, momentos memoráveis e por sempre me apoiarem.

Aos amigos que obtive em Quixadá: Marisa Silva, Raynara Lima, Marianna Pinho, Camila Diógenes, Beatriz Precebes, Iago Oliveira, Robert Cabral, Assis Félix, Ayrton Sousa, Marcelo Martins e Carlos Júnior, por toda a ajuda e bons momentos durante todo o período da minha formação acadêmica. À toda a minha turma que sempre se ajudou no decorrer dos anos. Aos amigos que não fizeram parte da vida acadêmica diretamente, mas que foram grandes aliados durante todos esses anos. A todos citados e não citados o meu mais sincero obrigado.

Aos professores da Universidade Federal do Ceará - Campus Quixadá, que contribuíram para minha formação, muito obrigado por todo aprendizado repassado.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

"Ecologia sem luta de classes é jardinagem."

(Chico Mendes)

## RESUMO

A água é uma das principais matérias primas à disposição na natureza, sendo indispensável à vida e às atividades humanas, dessa forma, é evidente a necessidade deste recurso. Diante disso, é de suma importância a criação de alternativas que visam auxiliar na melhor forma de utilizar os recursos hídricos e evitar possíveis perdas. Levando em consideração os diversos elementos que circundam o desperdício de água, tais como inutilização, esvaziamento de reservas, dentre outros, este trabalho tem como objetivo propor a criação de um modelo de uma torneira inteligente e ecológica, integrada de sensores e atuadores, com o intuito de auxiliar na preservação dos recursos hídricos. Para isso, inicialmente foi realizado um levantamento de requisitos para entender as necessidades na criação deste produto e auxiliar na modelagem de uma proposta viável, seguido de um estudo aprofundado dos componentes que podem integra-lo e verificar suas possíveis formas de utilização. Em sequência, a criação e avaliação do protótipo, que foi utilizado como base deste estudo, seguindo modelos possíveis descritos. Por fim, os testes apresentaram resultados satisfatórios na redução do desperdício dos recursos hídricos, mostrando que o objetivo deste trabalho foi atingido com êxito.

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos. Torneiras Inteligentes. Sensores. Atuadores. Requisitos. Protótipos.

## **ABSTRACT**

Water is one of the main raw materials available in nature, and it is indispensable to human life and activities, thus, the need for this resource is evident. Therefore, it is of paramount importance to create alternatives that aim to help in the best way to use water resources and avoid possible losses. Taking into account the various elements surrounding water waste, such as misuse, emptying of reserves, among others, this work aims to propose the creation of a model of an intelligent and ecological faucet, integrated of sensors and actuators, in order to assist in the preservation of water resources. To this, initially a requirements survey was carried out to understand the needs in the creation of this product and assist in the modeling of a viable proposal, followed by an in-depth study of the components that can integrate it and verify its possible forms of use. Subsequently, the creation and evaluation of the prototype, which was used as the basis of this study, following possible models described. Finally, the tests presented satisfactory results in reducing the waste of water resources, showing that the objective of this work was successfully achieved.

**Keywords:** Water resources. Smart faucets. Sensors. Actuators. Requirements. Prototypes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo do Ar. . . . .	19
Figura 2 – Escoamento Laminar. . . . .	20
Figura 3 – Escoamento Turbulento. . . . .	20
Figura 4 – Fluxo constante de água. . . . .	21
Figura 5 – Diagrama de bloco de um sensor. . . . .	23
Figura 6 – Diagrama de bloco de um atuador . . . . .	23
Figura 7 – Sinal de saída Analógico. . . . .	24
Figura 8 – Sinal de saída Digital. . . . .	24
Figura 9 – Espectro de cores. . . . .	25
Figura 10 – Sensor Infravermelho Passivo (IVP). . . . .	26
Figura 11 – Sensor Infravermelho Ativo (IVA). . . . .	26
Figura 12 – Sensor Ultrassônico . . . . .	27
Figura 13 – Sensor Capacitivo . . . . .	28
Figura 14 – Ilustração das válvulas do tipo globo, esfera e borboleta. . . . .	29
Figura 15 – Esquemático de um Relé. . . . .	31
Figura 16 – Fluxograma dos procedimentos. . . . .	40
Figura 17 – Modelagem dos Requisitos. . . . .	41
Figura 18 – Diagrama de Casos de Uso. . . . .	42
Figura 19 – Estágios para 2 válvulas idênticas . . . . .	46
Figura 20 – Estágios para 3 válvulas idênticas . . . . .	46
Figura 21 – Estágios para 2 válvulas diferentes . . . . .	47
Figura 22 – Estágios para 3 válvulas diferentes . . . . .	47
Figura 23 – Intervalos para uma válvula . . . . .	49
Figura 24 – Intervalos para duas válvula iguais . . . . .	50
Figura 25 – Intervalos para duas válvula diferentes . . . . .	50
Figura 26 – Torneira mecânica 1/4 de volta. . . . .	53
Figura 27 – Motor de passo simples e acoplado em uma caixa de redução. . . . .	53
Figura 28 – Sensor Ultrassônico em uma <i>case</i> para acoplar ao protótipo. . . . .	54
Figura 29 – Sensor de posição. . . . .	54
Figura 30 – Protótipo montado. . . . .	54
Figura 31 – Gráfico dos testes. . . . .	58

Figura 32 – Esquemático do Circuito do protótipo . . . . .	66
Figura 33 – Estrutura do <i>Firmware</i> . . . . .	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre os trabalhos. . . . .	36
Tabela 2 – Requisitos levantados. . . . .	41
Tabela 3 – Componentes utilizados. . . . .	51
Tabela 4 – Testes realizados. . . . .	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>Big Data</i>	Grande Redes de Dados
Conversor A/D	Conversor Analógico/Digital
Conversor D/A	Conversor Digital/Analógico
DCU	<i>Diagrama de Casos de Uso</i>
GPIOs	<i>Digital General Purpose Input and Output</i>
IA	Inteligência Artificial
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IoT	<i>Internet of Things</i>
IV	Infravermelho
IVA	Infravermelho Ativo
IVP	Infravermelho Passivo
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
Pa	Pascal
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SI	Sistema Internacional
ULA	<i>Unidade Lógica e Aritmética</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Mecânica dos fluidos</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Sensores</b>	<b>23</b>
<b>2.2.1</b>	<i>Sensores Infravermelhos</i>	<b>25</b>
<b>2.2.2</b>	<i>Sensores Ultrassônicos</i>	<b>26</b>
<b>2.2.3</b>	<i>Sensores Capacitivos</i>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>Atuadores</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Válvulas</i>	<b>29</b>
<b>2.3.2</b>	<i>Relés</i>	<b>31</b>
<b>2.3.3</b>	<i>Motores</i>	<b>31</b>
<b>2.4</b>	<b>Considerações de uso</b>	<b>32</b>
<b>2.5</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>32</b>
<b>2.5.1</b>	<i>Torneira automática multimodos com ativação sem as mãos</i>	<b>33</b>
<b>2.5.2</b>	<i>Torneira eletrônica automática</i>	<b>33</b>
<b>2.5.3</b>	<i>Torneira de fechamento automático</i>	<b>34</b>
<b>2.5.4</b>	<i>Adaptive faucet controller measuring proximity and motion</i>	<b>34</b>
<b>2.5.5</b>	<i>Sensor Operated Water Flow Control</i>	<b>35</b>
<b>2.5.6</b>	<i>Relacionando os Trabalhos</i>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Levantamento de requisitos e modelagem</b>	<b>37</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Levantamento de requisitos</i>	<b>37</b>
<b>3.1.2</b>	<i>Modelagem da solução</i>	<b>38</b>
<b>3.2</b>	<b>Estudo de componentes</b>	<b>38</b>
<b>3.3</b>	<b>Desenvolvimento de um protótipo</b>	<b>38</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Montagem do hardware</i>	<b>38</b>
<b>3.3.2</b>	<i>Desenvolvimento do firmware</i>	<b>38</b>
<b>3.4</b>	<b>Realização de testes</b>	<b>39</b>
<b>3.5</b>	<b>Avaliação dos resultados</b>	<b>39</b>

<b>4</b>	<b>A PROPOSTA</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Levantamento dos requisitos</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Modelagem da Solução</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>4.3</b>	<b>Estudo dos componentes</b> . . . . .	<b>43</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Componentes Utilizados</i></b> . . . . .	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>Montagem do <i>hardware</i></b> . . . . .	<b>52</b>
<b>4.5</b>	<b>Desenvolvimento do <i>firmware</i></b> . . . . .	<b>52</b>
<b>4.6</b>	<b>Protótipo</b> . . . . .	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E AVALIAÇÕES</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>Contextualização</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>5.2</b>	<b>Dados obtidos nos experimentos e resultados</b> . . . . .	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>61</b>
	<b>APÊNDICE A – ESQUEMÁTICOS DO CIRCUITO UTILIZADO PARA O PROTÓTIPO.</b> . . . . .	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE B – ESTRUTURA DO SOFTWARE DO PROJETO.</b> . . . .	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desperdício de água é uma questão há muito tempo debatida, notícias sobre o desperdício de água vem se tornando cada vez mais comuns no dia-a-dia. Mesmo este sendo o recurso mais abundante no planeta terra, apenas uma pequena fração é apropriada para o consumo.

Segundo Saveh (2016), a água é um recurso natural renovável e abundante, que ocupa aproximadamente 70% da superfície do nosso planeta. No entanto, 97% dessa água é salgada e imprópria para o consumo, menos de 3% é consumível, dos quais 2,5% está presa em geleiras. Dos 0,5% de água restante no mundo, grande maioria está presa em aquíferos subterrâneos, dificultando o acesso humano. Somente 0,04% da água do planeta está disponível na superfície.

No Brasil o índice de desperdício é alarmante e atinge até o sistema financeiro do país. De acordo com Velasco (2018), o país desperdiçou 38% da água potável nos sistemas de distribuição em 2016, o equivalente a quase 7 mil piscinas olímpicas cheias a cada dia. A perda financeira no ano foi de mais de R\$ 10 bilhões.

A perda dos recursos hídricos pode acontecer em qualquer processo de abastecimento em decorrência de variadas causas, categorizados de duas formas, reais e aparentes. Segundo Trata Brasil (2017) as chamadas perdas reais são as associadas aos vazamentos, já as perdas aparentes são as relativas à falta de hidrômetros ou demais erros de mediação, às ligações clandestinas e ao roubo de água. Ainda de acordo com Trata Brasil (2017) a cada 100 litros de água coletada e tratada, em média, apenas 63 litros é consumido, ou seja, 37% da água é perdida, seja com vazamentos, roubos, ligações clandestinas, falta de medição ou medições incorretas no consumo, que resulta em um prejuízo de R\$ 8 bilhões.

Cada uma dessas perdas apresentam diversos impactos negativos ao meio ambiente e também à sociedade. As crises recorrentes pela falta de água são no mínimo preocupantes. Tornando maior ainda a necessidade de métodos de combater o seu desperdício. Toledo (2017) afirma que em Janeiro de 2015 houve o auge da crise hídrica no Sudeste, e que em São Paulo, milhões de pessoas sofreram com as restrições no fornecimento de água em pleno verão.

O uso de tecnologias nas mais diversas atividades do cotidiano se tornou muito comum com o passar do tempo e está presente em quase tudo à nossa volta. De acordo com Karasinski (2013), tecnologia é sinônimo de aparelhos cada vez mais inteligentes, sofisticados e rápidos, como o seu computador, *tablet* ou *smartphone*.

Com todo o avanço tecnológico que vem acontecendo diariamente, não é difícil ver o seu uso em prol do meio ambiente. Segundo Santiago (2015) as inovações tecnológicas passaram a ser incorporadas pelas nações como mecanismo fundamental de conversão de uma economia extremamente poluidora para uma economia verde e sustentável, utilizando os recursos naturais de maneira eficaz e com a devida responsabilidade ambiental.

A *UC System* da *Ultra Clean Brasil* é um exemplo de tecnologia já existente no Brasil com preocupação na conservação dos recursos hídricos do planeta, o sistema é capaz de realizar a limpeza a seco e em segundos de tubulações a partir do lançamento de projéteis de espuma, capazes de remover e recuperar produtos restantes parados nas tubulações, eliminando contaminantes e biofilme microbiano, e garantindo mais economia de tempo, produtos químicos e principalmente, de consumo de água (DINO, 2017).

Com as inovações na área da tecnologia em prol do desenvolvimento sustentável surgiu de um novo conceito conhecido como águas inteligentes. Segundo Parikh (2016) o conceito de águas inteligentes é capaz de coletar informações por meio da *Internet of Things* (IoT), traduzida para o português como Internet das Coisas, utilizando sensores ao longo da rede de distribuição, processamento de dados por Inteligência Artificial (IA) e manipulação por Grande Redes de Dados (*Big Data*), podendo assim detectar onde existem falhas na rede de distribuição e antecipar crises e desperdícios.

Embora existam os grandes problemas com a coleta e a distribuição da água, existe também o desperdício ocasionado por nós, usuários. Ações para amenizar esses desperdícios são utilizadas em trabalhos com torneiras inteligentes, que são comumente encontradas em locais de grande fluxo de pessoas, como *shopping centers* e hospitais, auxiliando na redução do desperdício de água pela população. De acordo com Leite (2014) existem as torneiras com desligamento automático mecânico, que liberam a água com um simples aperto de botão, e depois de alguns segundos, dependendo da regulagem na instalação, o fluxo de água é cortado para evitar desperdícios. E também existem as torneiras com sensores que controlam a saída de água de acordo com a aproximação das mãos, e reduzem o consumo entre 35% e 80%, na comparação com as convencionais acionados manualmente.

Esses modelos de torneiras inteligentes cumprem bem o seu trabalho, mas podem apresentar algumas deficiências em suas funcionalidades, as torneiras com sensores de proximidade tem o problema de que qualquer objeto próximo pode ativar o sensor com isso liberando o fluxo de água e a torneira acionado pelo botão pode apresentar falhas ao pressionar o botão

ocasionando o não acionamento ou até o tempo excessivo do fluxo de água.

Considerando esses contextos, o estudo realizado neste trabalho é propor a criação de um modelo de uma torneira de cozinha ou banheiro, aplicando tecnologias inteligentes, composta de sensores e atuadores que realizam ações como, ativação automática por aproximação do usuário, tirando a necessidade do contato direto com a torneira, mas sem dispensar a ativação manual (caso necessária), controle da variação do fluxo de água de acordo com a localização da mão do usuário (ou outros objetos) em relação à torneira. Com cuidado para que não haja interferências externas no uso e nem problemas mecânicos de acionamento, tendo como ponto principal a importância prática e teórica da conservação dos recursos hídricos.

Os objetivos deste trabalho serão apresentados na Seção 1.1. O restante deste trabalho está estruturado de forma que no Capítulo 2 serão apresentadas as fundamentações teóricas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, partindo-se da mecânica de fluídos, seguido pelo sensoriamento e atuação no controle de fluxo de água. Já no Capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho. No Capítulo 5 são discutidos os resultados da avaliação da torneira automática. Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais e os trabalhos futuros identificados.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma torneira inteligente e ecológica com o intuito de preservar os recursos hídricos produzindo um desfecho benéfico para o meio ambiente.

Para atingir o objetivo geral foi feito o levantamento dos seguintes objetivos específicos:

- Levantar requisitos;
- Modelar o sistema;
- Montar protótipo e desenvolver *firmware*;
- Realizar testes;
- Avaliar resultados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No cotidiano de qualquer pessoa uma das atividades mais comum é a lavagem de utensílios domésticos, como pratos, copos e talheres, esse simples ato é de grande importância para manter sempre a limpeza e higienização dos materiais que são utilizados constantemente no dia a dia.

Segundo Dr. Lava Tudo (2017) limpeza é um processo que utiliza água, acompanhada ou não de algum produto de limpeza como detergente ou desinfetante, este método é realizado com a intenção de remover sujeiras, poeiras, terra e resto de alimentos dos materiais. Já a higienização é um modo de limpeza responsável pela eliminação de micro-organismos vivos, como ácaros e bactérias.

Diariamente, a atitude de lavar utensílios ou escovar os dentes na pia faz uso de grande quantidade de água. O simples ato de fechar a torneira enquanto ensaboa ou escova os dentes já ajuda bastante na economia de água.

De acordo com Demae (2017) se uma pessoa escova os dentes em cinco minutos com a torneira meio aberta, ela gasta cerca de 12 litros de água. No entanto, se fechar a torneira enquanto escova os dentes, abrindo apenas para molhar a escova e enxaguar a boca, pode-se economizar mais de 11,5 litros de água. Assim também como ao lavar a louça, abrindo a torneira apenas para molhar e enxaguar os utensílios o gasto pode ser reduzido de 117 litros para apenas 20 litros.

Atos simples como esses acarretam grandes melhorias para o meio ambiente. Nas subseções abaixo serão apresentados os conceitos utilizados ao longo do trabalho, iniciando com a discussão da mecânica dos fluidos na subseção 2.1, que estuda o comportamento das forças aplicadas em fluidos e suas propriedades, seguido dos sensores na subseção 2.2, que tem como propósito a identificação da variação de presença do usuário, continuado pelo conceito de atuadores, na subseção 2.3, que trabalha na transformação de sinais internos em impulsos externos. Por fim é apresentado a consideração de uso dos sensores e atuadores no projeto, subseção 2.4 e os trabalhos relacionados a este projeto, subseção 2.5.

### 2.1 Mecânica dos fluidos

A mecânica dos fluidos é uma subcategoria da física que analisa o efeito de forças em fluidos. Segundo Çengel e Cimbala (2007) fluido é a denominação dada a uma substância no

estado líquido ou gasoso.

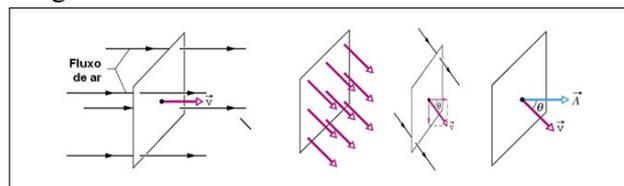
A subcategoria mecânica dos fluidos é definida como a ciência que trata do comportamento dos fluidos em repouso (estático dos fluidos) ou em movimento (dinâmica dos fluidos) e a interação entre fluidos e sólidos ou outros fluidos nas fronteiras (ÇENGEL; CIMBALA, 2007).

A mecânica dos fluidos é um estudo amplamente utilizado, tanto em atividades diárias como em projetos de engenharia moderna. Segundo Çengel e Cimbala (2007) o bombeamento de sangue feita pelo coração para todas as partes do corpo através das artérias e veias pode ser visto como exemplo fundamental da dinâmica dos fluidos. O sistema de canalização da água e esgoto de uma residência e de cidades inteiras são projetadas com base na mecânica dos fluidos.

Na mecânica dos fluidos é de grande relevância o estudo das características das grandezas relacionadas ao fluxo, vazão, pressão e número de Reynolds. Estes conceitos denominam o comportamento dos líquidos, como o movimento a quantidade a força e a estabilidade. Por serem propriedades apresentados em todos os fluidos é de grande importância o estudo destes aspectos para o trabalho.

Segundo Borba (2005) o fluxo pode ser definido como o escoamento ou movimento contínuo de algo que segue um curso. Na Figura 1 pode-se compreender fluxo como sendo um campo vetorial através de uma superfície, isto é, a “quantidade” de algo que, efetivamente, atravessa aquela superfície (PAULA, 2019).

Figura 1 – Fluxo do Ar.



Fonte: (PAULA, 2019).

Matematicamente expressada pela equação:

$$\Phi = \vec{v} \cdot \vec{A}. \quad (2.1)$$

onde  $\Phi$  é fluxo,  $\vec{v}$  é o vetor velocidade e  $\vec{A}$  o vetor área.

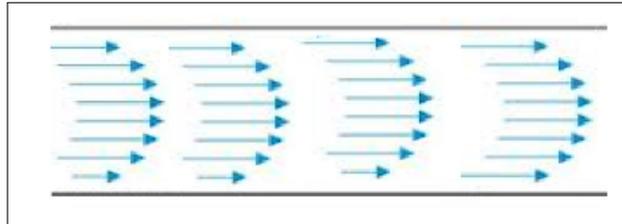
O estudo do fluxo dos líquidos é chamado de hidrodinâmica. Na hidrodinâmica podemos classificar o escoamento dos líquidos de duas formas, escoamento estacionário ou não estacionário.

Escoamento estacionário ou também conhecido como laminar, é obtido quando a velocidade de escoamento é pequena, ou seja, quando a velocidade de escoamento for a

mesma em todos os pontos (ANJOS, 2019). Na Figura 2 podemos verificar uma ilustração do comportamento do escoamento estacionário.

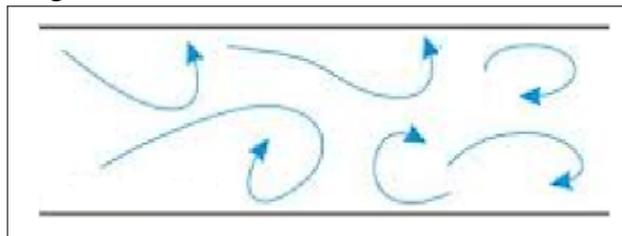
Escoamento não estacionário ou turbulento é quando a velocidade do fluido varia no decorrer do tempo. Na Figura 3 podemos verificar uma ilustração do comportamento do escoamento turbulento.

Figura 2 – Escoamento Laminar.



Fonte: (COELHO, 2013)

Figura 3 – Escoamento Turbulento.



Fonte: (COELHO, 2013)

Segundo Paula (2019) existe uma relação entre a velocidade do fluido e a secção por onde ele passa, a qual é nomeada de Equação da Continuidade.

Segundo Castelli, discípulo de Galileu, citado por Anjos (2019), quanto menor a secção por onde passa, maior a velocidade com que se escoo o fluido.

Tomando em conta a velocidade de escoamento de um fluxo constante de um líquido, a quantidade de água que entra em um lado da tubulação com velocidade  $v_1$  é a mesma que sai na outra extremidade com velocidade  $v_2$ . Na Figura 4 temos uma ilustração do fluxo constante de água.

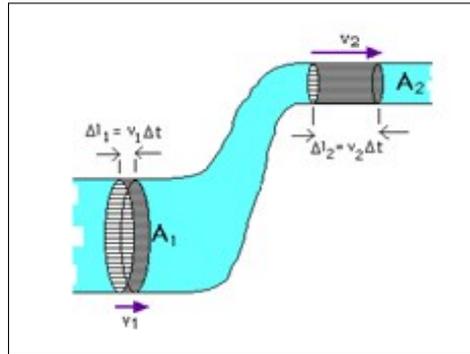
Matematicamente o volume de escoamento pode ser descrita pela equação:

$$\Delta V_{Entrada} = \Delta V_{Sada}, \quad (2.2)$$

ou, de forma reduzida,

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2. \quad (2.3)$$

Figura 4 – Fluxo constante de água.



Fonte: (PAULA, 2019).

Sendo  $A_1$ ,  $v_1$ ,  $A_2$  e  $v_2$ , a área de entrada, velocidade de entrada, área de saída e velocidade de saída, respectivamente.

A vazão pode ser definida como sendo a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que escoar através de uma seção de uma tubulação ou canal por unidade de tempo (CASSIOLATO; ALVES, 2008).

A vazão volumétrica é determinada como a quantidade em volume que escoar através de certo canal em um intervalo de tempo. A vazão volumétrica pode ser calculada a partir da Equação 2.4.

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (2.4)$$

onde  $Q$  é a vazão volumétrica,  $V$  o volume e  $t$  o tempo. As unidades volumétricas mais comuns são  $m^3/s$ ,  $m^3/h$ ,  $l/min$ ,  $l/h$ , respectivamente, metros cúbicos por segundo e por hora, litros por minuto e por hora.

A vazão mássica é determinada como a quantidade em massa de um fluido que escoar através de certo canal em um intervalo de tempo. A vazão mássica pode ser calculada a partir da Equação 2.5.

$$Q_m = \frac{m}{t}, \quad (2.5)$$

onde  $Q_m$  é a vazão mássica,  $m$  a massa, e  $t$  o tempo. As unidades de vazão mássica mais utilizadas no Sistema Internacional (SI) são:  $kg/s$ ,  $kg/h$ , respectivamente, quilogramas por segundo e hora.

Pressão é definida como uma força normal exercida por um fluido por unidade de área (ÇENGEL; CIMBALA, 2007). A pressão também mensura o resultado de força em movimento através de ambientes gasosos ou sólidos. Matematicamente pode ser expressada por:

$$P = \frac{F}{A}, \quad (2.6)$$

onde  $P$  é a pressão,  $F$  a força aplicada e  $A$  a área de contato. A unidade de medida usado para pressão no SI é o Pascal (Pa).

Quanto menor for a área de contato maior é a pressão aplicada, um exemplo é quando uma faca é amolada, o objetivo é diminuir a espessura da lâmina que entra em contato com o objeto que vai ser cortado, assim não será necessário aplicar muita força sobre o cabo da faca.

Na Lei de Stevin a pressão de um fluido é exercida dependendo da densidade, gravidade local, altura que o líquido se encontra e a pressão Atmosférica. Matematicamente temos:

$$P = P_{ATM} + \rho \cdot g \cdot h, \quad (2.7)$$

sendo,  $P$  a pressão,  $P_{ATM}$  a pressão atmosférica,  $\rho$  a densidade,  $g$  a gravidade e  $h$  a altura.

A densidade é uma grandeza que expressa a razão entre a massa de um material e o volume por ele ocupado (FOGAÇA, 2019). A unidade de medida da densidade no SI é o quilograma por metro cúbico ( $kg/m^3$ ). A gravidade é o fenômeno natural pelo qual todos os corpos físicos se atraem.

O número de Reynolds não é um métrica, porém é uma especificação importante no estudo da mecânica dos fluídos, segundo Coelho (2013), o número de Reynolds é usado para avaliar a estabilidade de um fluxo, indicando se o fluido flui de forma laminar ou turbulenta.

A equação usada para calcular o número de Reynolds é:

$$Re = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}, \quad (2.8)$$

onde:  $V$  é velocidade média do fluido,  $D$  o diâmetro para o fluxo no tubo,  $\mu$  a viscosidade dinâmica do fluido,  $\rho$  a massa específica do fluido e  $\nu$  a viscosidade cinemática do fluido.

Para identificarmos o perfil de escoamento temos três faixas de valores para o número de Reynolds.

- Linear:  $Re < 2300$ ;
- Transitório:  $2300 < Re < 4000$ ;
- Turbulento:  $4000 < Re$ .

Sendo transitório o momento em que há a ocorrência ao mesmo tempo do perfil linear e turbulento.

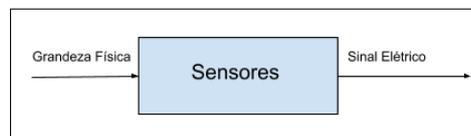
## 2.2 Sensores

Praticamente todo sistema automático é construído de sensores e atuadores, são esses os responsáveis pelo funcionamento do sistema. De acordo com Wendling (2010), sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc.

Em geral os sensores atuam transformando partes de uma grandeza física em um sinal elétrico, que por sua vez são interpretados por dispositivos eletrônicos, explica Rodrigo (2011).

Na Figura 5 podemos identificar os diagramas de bloco simplificado dos sensores, já na Figura 6, podemos ver os mesmos diagramas para os atuadores, os quais serão tratados na Seção 2.3, e verificar a principal diferença entre eles. Em ambas as figuras podemos identificar o tipo de grandeza de entrada e de saída após a conversão aplicada por cada.

Figura 5 – Diagrama de bloco de um sensor.



Fonte: Autor, baseado em (BORGES; DORES, 2010).

Figura 6 – Diagrama de bloco de um atuador



Fonte: Autor, baseado em (BORGES; DORES, 2010).

Baseado em Rodrigo (2011) e Wendling (2010), sensores são componentes eletrônicos que permitem que um equipamento eletrônico possa interagir com o mundo a partir de estímulos provenientes do ambiente em questão.

Já de acordo com Puhmann (2015) o sinal obtido pelos sensores é de natureza analógica e contínua no tempo, para fazer uso dos sinais obtidos pelos sensores é necessário

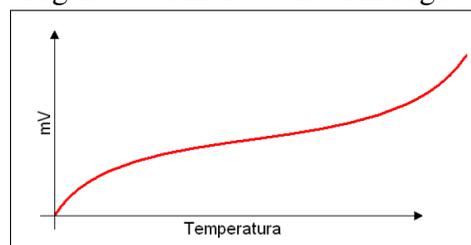
realizar algumas transformações neste sinal de forma que esse possa ser tratado e processado digitalmente. Essa transformação é realizada por um componente conhecido como Conversor Analógico/Digital (Conversor A/D), como o próprio nome sugere, esse dispositivo é responsável pela conversão do sinal analógico para o digital.

Um Conversor A/D transforma um sinal analógico, contínuo no tempo em um sinal amostrado, discreto no tempo, quantizado dentro de um número finito de valores inteiros, determinado pela resolução característica do conversor em dígitos binários. Por exemplo, num conversor de 8 bits, o sinal de entrada é transformado em amostras com os valores entre 0 e 255. Em contrapartida, existe o componente Conversor Digital/Analógico (Conversor D/A) que convertem o sinal digital em um sinal analógico sob a forma de uma tensão ou corrente de saída, explicam Puhlmann (2015) e Bonfim (2002).

Os sensores podem ser classificados de acordo com os valores de saída ao longo do tempo, podendo ser digitais ou analógicos. Os sensores digitais binários após terem o sinal convertidos por um circuito eletrônico podem assumir apenas dois valores de saída ao longo do tempo, zero ou um, já os sensores analógicos podem assumir qualquer valor de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação, sua saída analógica é uma réplica da variação da grandeza física, explica Wendling (2010).

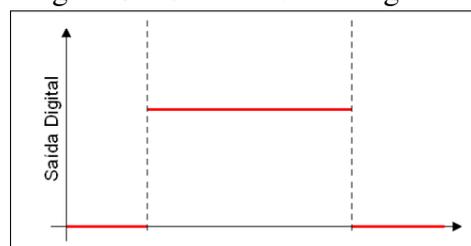
Na Figura 7 e na Figura 8 podemos identificar as formas de onda de saída dos sensores analógicos e digitais respectivamente.

Figura 7 – Sinal de saída Analógico.



Fonte: (WENDLING, 2010).

Figura 8 – Sinal de saída Digital.



Fonte: (WENDLING, 2010).

Alguns exemplos de sensores comumente utilizados em medição de distâncias são:

- Infravermelho (IV): usado comumente como sensor de presença;
- Ultrassônico: usado para medir distâncias;
- Capacitivos: medição de posicionamento com alta precisão;

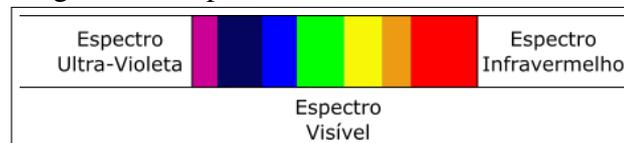
Nas subseções que seguem: 2.2.1, Sensores Infravermelhos, 2.2.2, Sensores Ultrassônicos e 2.2.3, Sensores Capacitivos, são apresentados as características de cada sensor.

### 2.2.1 Sensores Infravermelhos

Os sensores Infravermelhos (IV) são encontrados numa infinidade de aplicações eletrônicas. Podemos citar os leitores de códigos de barras, detectores de objetos ou alarmes de passagem, *encoders*, chaves ópticas e muito mais (BRAGA, 2012).

Um sensor IV é um dispositivo eletrônico capaz de emitir e detectar luz infravermelha. Esta faixa de luz é invisível para o olho humano, na Figura 9 podemos identificar como é formado esse espectro de cores.

Figura 9 – Espectro de cores.



Fonte: Autor, baseado em (SILAS, 2019).

Podemos classificar os sensores IV de dois modos, ativos (IVA) e passivos (IVP). Os sensores IVP são dispositivos sensíveis ao movimento de luz infravermelha, esses dispositivos não emitem, apenas detectam o espectro IV. São conhecidos como, detectores de movimento, sensores de proximidade e sensores de presença, entre outras nomenclaturas.

Um sensor de infravermelho passivo é formado por um receptor que reage à emissão de raios infravermelhos. Quando ocorre um movimento no ambiente há uma variação de luz infravermelha que permite que o sensor perceba essa movimentação (JFL ALARMES, 2019).

Os sensores IVA são formados por um par, um transmissor e um receptor IV, o transmissor emite um feixe IV que é detectado pelo receptor.

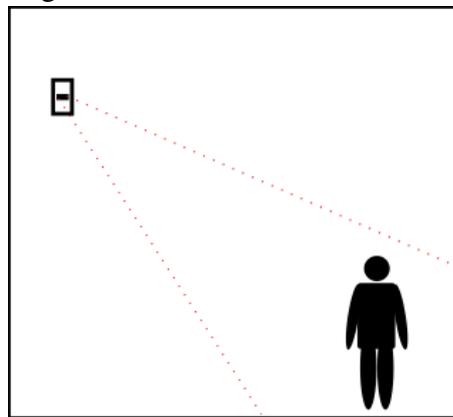
Os sensores ativos são acionados de dois modos, quando o feixe é obstruído por algum objeto impedindo que chegue ao receptor ou quando o feixe é refletido por algum objeto fazendo assim a conexão do transmissor e do receptor.

Na Figura 10 o cenário é composto de três componentes, uma pessoa, duas linhas

tracejadas que identificam o campo de atuação do sensor e o sensor, a ativação do sensor é feita quando a pessoa entra no campo de atuação do mesmo.

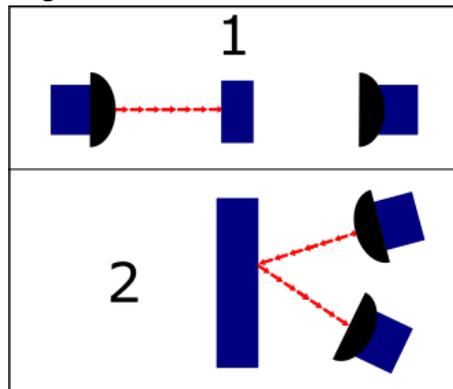
Na Figura 11, parte 1, temos o emissor posicionado ao lado esquerdo, o sinal do sensor representado pela linha tracejada, no centro uma obstrução do sinal e no lado direito o receptor, juntos caracterizando o modo de acionamento por obstrução do sinal do sensor ativo. Na parte 2, na direita temos um objeto refletor do sinal (linha tracejada) oriunda do emissor na parte superior em direção ao receptor na parte inferior, juntos caracterizando o modo de acionamento por reflexão de sinal do sensor ativo.

Figura 10 – Sensor IVP.



Fonte: Autor.

Figura 11 – Sensor IVA.



Fonte: Autor.

### 2.2.2 Sensores Ultrassônicos

Os sensores ultrassônicos trabalham utilizando altas frequências de som para detectar objetos. Com base no que dizem Helerbrock (2019) e Viana (2016), a variação da faixa de frequência de som que o humano consegue ouvir é aproximadamente de  $20Hz$  a  $20.000Hz$ ,

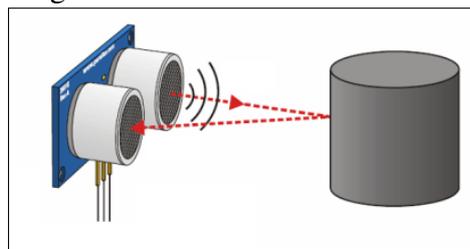
com o limite decrescendo com o avanço da idade. O ultrassom é a porção que está acima de  $20.000Hz$ .

O princípio de funcionamento dos sensores ultrassônicos está baseado na emissão de uma onda sonora de alta frequência, e na medição do tempo que leva para a recepção do eco, produzido quando a onda se encontra com um objeto capaz de refletir o som (MOTA, 2018).

Segundo Contrinex (2006), a detecção do eco é dependente da sua intensidade, que está associada a distância do sensor ao objeto. Os sensores funcionam de acordo com o princípio do atraso do eco, isto é, o tempo entre o impulso emitido e a recepção de eco. Quando o ultrassom é emitido, apenas objetos dentro desse feixe de som é detectável.

A Figura 12 representa o funcionamento de um sensor ultrassônico, onde pode-se identificar o caminho de acordo com a seta que o som faz para ser captado pelo sensor.

Figura 12 – Sensor Ultrassônico



Fonte: (MOTA, 2017)

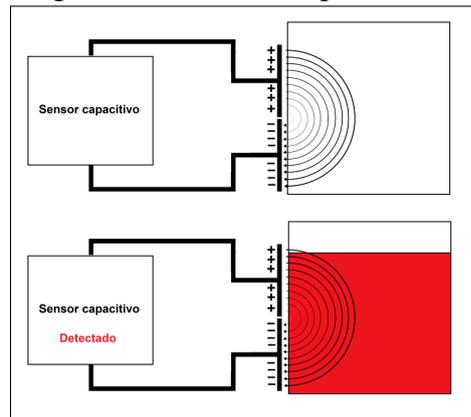
### 2.2.3 Sensores Capacitivos

De acordo com Silveira (2017a) e Digel (2018), os sensores capacitivos operam com qualquer tipo de massa. Seu funcionamento se dá por meio de incidência de um campo elétrico que é gerado por cargas elétricas em sua face, formando assim um capacitor.

É característica de um capacitor aumentar a sua capacitância quando é colocado algum tipo de massa isolante entre seus eletrodos. Com isso, quando um material é aproximado da face do sensor ele é tratado como uma massa isolante, aumentando assim a capacitância. O circuito eletrônico do sensor é acionado ao detectar essa variação de capacitância.

A Figura 13 ilustra o funcionamento de um sensor capacitivo, na parte superior o sensor está desativado pois não tem nada na área de detecção representadas pelas linhas onduladas e na parte inferior o sensor ativado com a presença de uma massa.

Figura 13 – Sensor Capacitivo



Fonte: (MOUNTAINBAJA, 2018).

Todos esses tipos de sensores apresentados podem ser considerados para utilização neste trabalho, com ênfase em uso na detecção de presença do usuário enquanto utiliza a ferramenta, a utilização combinada de mais de um tipo de sensor também é válida.

### 2.3 Atuadores

Os atuadores são mecanismos que assim como os sensores transformam uma forma de energia em outra, porém por caminho inverso, transformando um sinal elétrico em uma grandeza física, movimento, magnetismo, calor entre outros, conforme afirma Rodrigo (2011). Na Figura 6 podemos verificar um diagrama de bloco que ilustra o funcionamento de um atuador.

Normalmente o funcionamento desses componentes é feito em dois estágios, ligado ou desligado, sendo ligado quando está funcionando na potência máxima e desligado quando o funcionamento é nulo. Segundo Mecaweb (2016), existe uma técnica utilizada para controlar o tempo de ligação e desligamento, com isso pode-se controlar a potência média entregue ao componente, essa técnica é denominada *Pulse Width Modulation* (PWM) que pode ser utilizada no controle de velocidade de motores, luminosidade, servo motores e diversas outras aplicações. No PWM a frequência permanece fixa, normalmente em um valor suficiente alto para não afetar o funcionamento do equipamento a ser controlado.

Alguns exemplos de atuadores comumente utilizados são:

- Válvulas: permite a passagem de líquidos ou gases por uma abertura;
- Relés: interruptor eletromecânico;
- Motores: converte outras formas de energia em energia mecânica;

Nas subseções que seguem: 2.3.1, Válvulas, 2.3.2, Relés e 2.3.3, Motores, são

apresentados as características dos atuadores listados acima. Esses atuadores podem ser levados em consideração no trabalho proposto, no quesito do controle do fluxo de água, ativação de dispositivos e conversão de energia.

### 2.3.1 Válvulas

Uma válvula é um dispositivo que pode ser utilizado para controlar o fluxo de líquidos, gases, e materiais em suspensões. Também conhecido como reguladores, registros, entre outros (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2019). Podem ser encontradas em diversos locais, tanto em residências como em empresas e usinas hidrelétricas, e também podem ser de diversos tamanho dependendo do uso e precisão, e podemos classificá-las em dois tipos, dependendo da forma de acionamento, válvulas de acionamento mecânico e acionamento automatizado.

As válvulas de acionamento mecânicos são aqueles ativadas pela interação humana direta. É composta por um obturador responsável pelo controle de vazão, e um corpo que é a via de passagem que permite que o fluido atravesse de um ponto ao outro. Segundo Technobras (2013) as válvulas manuais são classificadas em vários tipos, segundo o desenho do corpo e os movimentos do obturador e da haste. Destacando que alguns dos principais tipos utilizados são globo, borboleta e esfera, entre outros.

As válvulas do tipo globo são as mais utilizadas e possuem corpo e internos, castelo e acionador do tipo volante. O deslocamento de sua haste é linear e é provocado pela manipulação do volante, que é proporcional à abertura da mesma. As do tipo borboleta consistem em corpo tipo anel circular, sendo que em seu interior existe um disco entre dois mancais, que faz a função de obturador. O deslocamento da haste é rotativo e provocado pela manipulação de uma alavanca. As do tipo esfera é constituída por um corpo, cujo interior aloja uma esfera oca que atua como obturador, permitindo a passagem do fluxo de forma suave. Na Figura 14, da esquerda para a direita, temos respectivamente a ilustração das válvulas globo, esfera e borboleta.

Figura 14 – Ilustração das válvulas do tipo globo, esfera e borboleta.



Fonte: Autor, baseado em (LOSA, 2015).

Válvula automatizada é toda válvula que faz uso de um atuador para operação de abertura, fechamento e controle do fluxo de fluidos ou gases circulantes numa tubulação (BONGAS, 2018c). Os tipos de válvulas citadas acima podem ser melhoradas para o uso automático ao acoplar um dispositivo ao eixo central. Um modelo mais direcionado nesse quesito é a válvula solenoide.

A válvula solenoide nada mais é do que uma válvula eletromecânica controlada, formada por duas partes principais: corpo da válvula e bobina solenoide. De acordo com Jefferson (2019) a válvula solenoide é um produto fundamental para automação industrial, sendo possível fechar, dosar, distribuir ou misturar o fluxo de gás, líquido e óleo, garantindo controle ou proteção.

A válvula de solenoide é controlada pela corrente elétrica, que passa por uma bobina. Quando a bobina é energizada, um campo magnético é criado, fazendo com que um êmbolo dentro da bobina se mova. Dependendo do desenho da válvula, o êmbolo irá abrir a válvula solenoide ou fechar a válvula (BONGAS, 2018b).

Segundo IdealVR (2019) as válvulas solenoides podem ser categorizada por grupos de operação direta, indireta ou semidireta.

Operação direta tem como princípio de desempenho simples, para esse tipo, o fluido passa por meios de canais pequenos, que podem ser fechados por um pistão, com o auxílio de uma junta de borracha.

Válvulas de operação direta são utilizadas em aplicações com taxas de fluxo relativamente pequenas e que não requerem pressão mínima de operação ou diferença de pressão para serem acionadas (SILVEIRA, 2018).

Operação indireta conta com uma membrana de borracha, conhecida como diafragma, que separa seus canais de entrada e saída. Essa membrana tem um canal para que o fluido escoe para o compartimento de cima. Fazendo-se necessário a ajuda da pressão do fluido para a ativação.

A válvula solenoide operada indiretamente é utilizada em aplicações com um diferencial de pressão suficiente e uma taxa de fluxo desejada, como, por exemplo sistemas de irrigação, chuveiros ou sistemas de lavagem de carros (SILVEIRA, 2018).

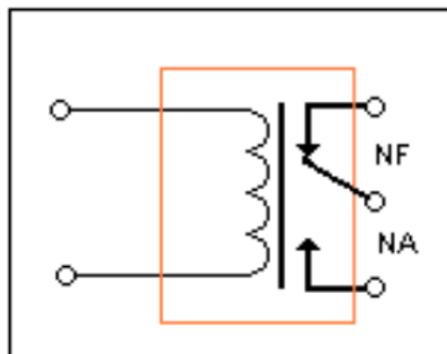
Operação semi-direta é a combinação das características dos modos de operações anteriores, essa fusão possibilita que a válvula trabalhe sem a diferença de pressão e lide com uma alta taxa de fluxo.

### 2.3.2 Relés

Relés são componentes eletrônicos que tem capacidade de ligar e desligar um sinal a partir de outro, sendo os dois sinais isolados.

Segundo Athos Eletronics (2019) o relé é composto com uma bobina e um contato preso a uma mola, que conecta nos terminais nas posições de Normalmente Aberto (NA) e Normalmente Fechado (NF), na Figura 15 encontramos um esquemático de um relé, quando a bobina é energizada ela cria um campo magnético que desloca o contato. Passando da posição fechada para a posição aberta.

Figura 15 – Esquemático de um Relé.



Fonte: (ATHOS ELETRONICS, 2019).

De acordo com Carneiro (2018), existem alguns tipos de relés, eles são, relés de tipo batente, utilizado quando uma pequena quantidade de energia na bobina pode ligar e desligar circuitos com altas tensões e correntes. Relé térmico, usado em aplicações em que uma elevação de temperatura deve ser sentida para ativar, entre outros modelos.

### 2.3.3 Motores

Os motores são máquinas com função de converter alguma forma de energia em energia mecânica. São muito utilizados na sociedade, e estão presentes nos mais diversos equipamentos que são utilizados no dia a dia como, ventiladores, geladeiras e carros.

Alguns tipos de motores são explicado por Demotor (2018), motor de combustão interno, é um motor no qual a combustão de um combustível ocorre com um oxidante em uma câmara de combustão, gerando trabalho mecânico. Motor de combustão externa, é um motor térmico no qual um fluido de trabalho interno é aquecido por combustão a partir de uma fonte externa, através da parede do motor ou de um permutador de calor. Motor elétrico, é uma

máquina elétrica rotativa que transforma a energia elétrica de entrada, em energia mecânica, entre outros modelos.

Dos atuadores apresentados, podem ser considerado para este trabalho o uso de válvulas solenoides para um melhor manuseio dos fluidos e relés para ativação de componentes a partir de menores impulsos de energia.

## 2.4 Considerações de uso

Nesta subseção é apresentado dois escopos do projeto considerando os sensores e atuadores que podem ser utilizados neste trabalho.

Considerando um escopo de uma torneira que trabalha com fluxo variável de água, o ideal seria utilizar uma ou mais válvulas com controle automatizado de modo a controlar o fluxo e a vazão por meio da ativação total ou parcial das válvulas.

Considerando o escopo de uma torneira com ativação automática, é ideal o uso de um ou mais sensores de presença para ativação quando o usuário estiver próximo a torneira com o intuito de utilizá-la, sem deixar de lado a possibilidade da ativação manual para usos contínuo sem a presença do usuário, por exemplo encher uma vasilha. Para este projeto é pretendido trabalhar com os dois escopos apresentados.

## 2.5 Trabalhos Relacionados

Nesta subseção são apresentados trabalhos que apresentam soluções equivalentes ao proposto neste trabalho, será mostrado as semelhanças e diferenças com relação ao trabalho apresentado neste documento, destacando pontos positivos e negativos que vieram a servir como apoio.

De acordo com a busca de patentes realizada na plataforma Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) foram encontradas os trabalhos de Indiana *et al.* (2013), Torneira automática multimodos com ativação sem as mãos, Lippert (1982), Torneira eletrônica automática e Santa e Pinto (1981), Torneira de fechamento automático, que se encaixam no quesito torneiras automáticas e/ou eletrônicas.

Também serão apresentados os trabalhos de Philipp (1996), *Adaptive faucet controller measuring proximity and motion* e Laverty (1991), *Sensor Operated Water Flow Control*, como fontes extras de comparação, provenientes de pesquisas no banco de patentes do *Google*

*Patents.*

### **2.5.1 Torneira automática multimodos com ativação sem as mãos**

Indiana *et al.* (2013) trabalha no campo de torneiras automáticas com uso de sensores tanto de proximidade quanto de contato.

No estudo realizado por Indiana *et al.* (2013) de versões anteriores de torneiras automáticas, ele encontra uma versão de mola que são acionadas por pressão em suas alavancas, e retornam ao estado de desligado quase que imediatamente quando a alavanca é liberada, impossibilitando o uso regular, em virtude de manter uma mão ocupada durante o uso, pressionando a alavanca, tornando-as inviáveis no uso doméstico. A solução encontrada por Indiana *et al.* (2013) é o uso de sensores de proximidade, tornando possível a ativação das torneiras sem as mãos, deixando de lado a necessidade direta de uma alavanca.

Indiana *et al.* (2013) também destaca pontos como a higiene de uso, e assistência às necessidades de deficientes e idosos.

Embora a dispensa de uma alavanca para a ativação da torneira seja vantajosa, Indiana *et al.* (2013) destaca que algumas tarefas podem ser realizadas com maior proveito com o controle direto sobre o início e término do fluxo de água, tomando como exemplo a necessidade de encher uma vasilha, uma torneira que exige que o usuário mantenha a mão continuamente na zona de detecção dos sensores pode proporcionar uma situação incômoda.

A proposta final é uma torneira composta por sensores, para ativação automática, uma alavanca para ativação manual e um controle lógico. O controle lógico compreende o modo de funcionalidade desejado pelo usuário, desativando ou ativando o modo automático da torneira.

A criação de Indiana *et al.* (2013) é semelhante ao trabalho deste documento, porém foca somente nos modos de ativação da torneira, não abordando o controle de fluxo variável de água, ponto que este trabalho também propõe abordar.

### **2.5.2 Torneira eletrônica automática**

Lippert (1982) propôs uma torneira dotada de um sistema automático, composta principalmente por um fluxo de energia luminosa, uma célula fotoelétrica e uma válvula hidráulica que libera o fluxo de água.

A ativação do fluxo de água ocorre sempre que o raio luminoso é interrompido, ocasionando o acionamento da célula fotoelétrica que libera energia e ativa uma solenoide, a

desativação do fluxo é feita quando o feixe luminoso é desobstruído.

O trabalho de Lippert (1982) como o trabalho proposto neste documento, aborda o controle e ativamente do fluxo de água de modo automático, porém o autor não se preocupa com a possibilidade de que outras formas de obstrução do feixe luminoso que não seja o usuário venham a acontecer, possibilitando assim o desperdício de recursos hídricos por ativação indevida.

### ***2.5.3 Torneira de fechamento automático***

Santa e Pinto (1981) elaboraram uma torneira acionada por pressão, ao pressionar uma alavanca, a haste ativa um mecanismo que libera o fluxo de água, e ao soltar a alavanca o fluxo é interrompido.

A criação de Santa e Pinto (1981) trabalha com o conceito de fechamento automático da torneira, porém não trabalha o fluxo variável, e por precisar de constante pressão na alavanca para o funcionamento acaba restringindo a movimentação do usuário.

### ***2.5.4 Adaptive faucet controller measuring proximity and motion***

Philipp (1996) arquitetou uma torneira automática controlado por circuitos de processamento de sinais eletrônicos com detecção de proximidade através de feixes de luz IV.

Philipp (1996) discute problemas que podem aparecer em uma instalação simples desses recursos, como a reflexão do sinal IV pelo próprio fluxo de água, sujeiras e bolhas de sabão que possam se alojar nos sensores, com isso Philipp (1996) vê a necessidade de suprimir tais problemas. Philipp (1996) discute algumas soluções já utilizadas, como a emissão do feixe IV ao lado do fluxo de modo a não ocorrer reflexão ou até diminuir a sensibilidade geral do sensor para não detectar detritos, mas em geral essa última abordagem apresenta dificuldade em detectar adequadamente as mãos do usuário.

O objetivo principal da invenção de Philipp (1996) é proporcionar um aparelho de controle automático com um meio de detecção IV com um campo amplo para permitir a detecção de uma vasta gama de posições de mão. E com objetivos adicionais de disponibilizar um dispositivo que não apresente problemas com a presença de uma corrente de água, bolhas de sabão e semelhantes dentro de seu campo de detecção do sensor

A criação de Philipp (1996) é bem semelhante ao trabalho proposto neste documento, porém trabalha apenas com o controle da ativação automático da torneira e não trabalha com controle de fluxo variável.

### **2.5.5 *Sensor Operated Water Flow Control***

Lavery (1991) trata do controle de fluxo de água referente a um bebedouro automático, é descrito um sistema para controlar o fluxo de água, incluindo o tempo de início e término do fluxo de um bebedouro. Mas pode ser expandido para o controle de fluxo de água de uma torneira com um suprimento de água convencional.

O invento faz uso de eletroválvulas eletricamente acionadas, para o controle do fluxo da água e sensor IV, que determina a presença de pessoas próximas ao bebedouro, assim ativando o fornecimento de água pela torneira.

A ativação do fluxo da água é concedida apenas quando um usuário entra na faixa de distância pré-selecionada, assim exercendo uma alteração no ambiente e refletindo o pulso de luz do transmissor IV que é captado por um receptor IV. Uma particularidade desta invenção é ter o transmissor IV separado do receptor IV, assim resultando em poucas incidências de interferências entre si.

Para a contenção do desperdício o sistema é composto por três circuitos de controle, o primeiro é responsável por identificar a presença de um potencial usuário, o segundo controla a ativação das válvulas e do fluxo de água, e terceiro circuito é incumbido de evitar o excesso de fluxo de água devido à adulteração ou outros danos aos sensores IV, identificando se o usuário permanece dentro da faixa dos sensores por um tempo determinado, após o tempo limite o fluxo é interrompido para que não haja transbordamento nem desperdício de água.

Assim como no trabalho de Lavery (1991), o estudo descrito neste documento propõe um dispositivo de controle de fluxo, composto por sensores e atuadores, porém voltados principalmente para bebedouros, e o trabalho desde documento é voltado para torneiras de uso doméstico, cozinha ou banheiro.

### **2.5.6 *Relacionando os Trabalhos***

Na Tabela 1 é mostrado alguns pontos que foram abordados nos trabalhos apresentados na Seção 2.5 e relaciona esses pontos com os do trabalho proposto neste documento. Na primeira coluna é identificado cada projeto, na sequência temos o ponto de controle de fluxo variável, ativação por proximidade, ativação ao pressionar e ativação manual.

Tabela 1 – Relação entre os trabalhos.

Projeto	Fluxo de água vari.	Ativ. por proxi.	Ativ. por pressão	Ativ. Manual
Este Projeto	Sim	Sim	Não	Sim
Lavery (1991)	Não	Sim	Não	Não
Indiana <i>et al.</i> (2013)	Não	Sim	Não	Sim
Lippert (1982)	Não	Sim	Não	Sim
Philipp (1996)	Não	Sim	Não	Não
Santa e Pinto (1981)	Não	Não	Sim	Sim

Fonte: Autor.

### 3 METODOLOGIA

Nesta Seção são apresentadas as metodologias para alcançar o objetivo geral descritos na Seção 1.1, seguindo os passos descritos nos objetivos específicos. Partindo do levantamento de requisitos, seguindo pela modelagem do sistema, montagem de protótipo, desenvolvimento do *firmware*, realização de testes e avaliação dos resultados.

#### 3.1 Levantamento de requisitos e modelagem

Para a obtenção de uma proposta viável para o que está sendo proposto nesse projeto, podemos fazer uso de duas metodologias: o levantamento de requisitos com o propósito de entender melhor as necessidades do usuário e do sistema e a modelagem da solução.

##### 3.1.1 *Levantamento de requisitos*

Na etapa de levantamento de requisitos, o processo se prende em entender como o sistema vai funcionar, compreender e explorar as necessidades dos usuários. O levantamento de requisitos para o trabalho proposto é realizado com foco em levantar características e qualidades que o produto deverá ter. Tais requisitos serão levantados através da utilização da técnica de observação etnográfica.

A etnografia é uma técnica de observação que pode ser utilizada para compreender os requisitos sociais e organizacionais, ou seja, entender a política organizacional bem como a cultura de trabalho com objetivo de familiarizar-se com o sistema e sua história (SOMMERVILLE, 2011).

De acordo com Sommerville (2011), nesta técnica o analista se insere no ambiente de trabalho em que o sistema será utilizado, com participação ativa ou passiva, observa o trabalho diário e anota tarefas reais em que o sistema será utilizado.

Na engenharia de software a etnografia é caracterizada como uma técnica de observação utilizada para mapear requisitos implícitos que refletem processos reais dentro de um ambiente sistêmico (FABRI, 2012).

Após a aplicação da técnica é esperado o levantamento de requisitos que ajudem numa melhor abordagem para a construção do sistema, naturalmente, quanto mais características forem levantadas, melhor será o resultado final do produto em correspondência ao que é proposto no trabalho.

### **3.1.2 Modelagem da solução**

Após o levantamento de requisitos, será feita uma modelagem da solução proposta, de forma a moldar bases sólidas que guiaram no desenvolvimento do produto, tanto em *hardware* como em *software*.

Souza e Souza (2011) explicam que um modelo é uma simplificação da realidade, criado para facilitar o entendimento de sistemas complexos. Estes modelos podem abranger planos detalhados, assim como planos mais gerais com uma visão panorâmica do sistema.

No processo de modelagem do sistema será utilizado a *Unified Modeling Language* (UML), traduzido para o português como Linguagem de Modelagem Unificada, que foi desenvolvida por Grady Booch, James Rumbaugh e Ivar Jacobson e se tornou a linguagem padrão para a elaboração da arquitetura de projetos de *software*.

## **3.2 Estudo de componentes**

Nesta etapa é essencial um estudo completo dos componentes que podem fazer parte do sistema e como consequência um estudo de possíveis comportamentos e formas de usos para estes componentes. Este estudo pode ser realizado através de pesquisas de bases de dados de especificações dos componentes.

## **3.3 Desenvolvimento de um protótipo**

Após o estudo dos componentes que podem fazer parte do projeto é iniciado o desenvolvimento de um protótipo, que pode ser dividida em duas etapas.

### **3.3.1 Montagem do hardware**

Nesta etapa é realizada seleção e montagem do *hardware* que compõe o produto proposto neste documento, com o modelo e estrutura definidas de modo a está de acordo com os requisitos e a modelagem feitas anteriormente.

### **3.3.2 Desenvolvimento do firmware**

Após a montagem do *hardware*, a próxima etapa é implementação do *firmware* que deve está em concordância com o *hardware* montado e os requisitos do produto. Com isso o

*firmware* será implementado através de uma *Integrated Development Environment* (IDE) no português Ambiente Integral de Desenvolvimento, na linguagem de programação que melhor se adequar para o desenvolvimento.

### **3.4 Realização de testes**

Os testes são realizados após a montagem do *hardware* e implementação do *firmware*, de modo a verificar se o produto apresenta pontos que ainda precisam de melhorias ou se está funcionando em totalidade de acordo com o proposto na modelagem.

Alguns testes a serem realizados são testes de desempenho das funções as quais foi projetado, por exemplo, se está ajudando com a prevenção do desperdício de água. Teste de funcionalidade dos componentes que o integram de forma conjunta para saber se o produto está funcionando adequadamente. E testes de qualificação de meio ambiente medindo os efeitos causados por agentes como variação de temperatura, ventos e insalubridades aos quais poderá ser submetido com o uso.

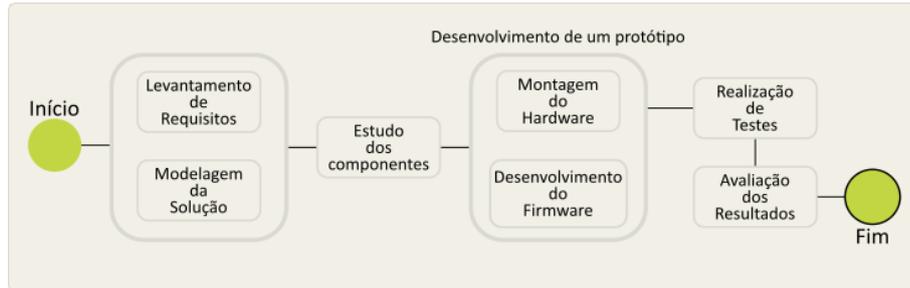
### **3.5 Avaliação dos resultados**

Esta etapa tem como pré-condição a etapa anterior de testes, a avaliação é feita de modo a verificar e comparar dados de consumo de água da solução proposta com as soluções já existentes no mercado. Constatando se existe uma melhoria na diminuição do desperdício dos recursos hídricos como é proposto no objetivo geral deste trabalho.

## 4 A PROPOSTA

A fim de implementar o produto proposto, neste capítulo é apresentado os passos realizados para execução do trabalho. Na Figura 16 é apresentado a sequência de passos na execução do trabalho de acordo com a metodologia.

Figura 16 – Fluxograma dos procedimentos.



Fonte: Autor.

Os passos de montagem do *hardware* e desenvolvimento do *firmware* aconteceram em paralelo, onde os *hardwares* são utilizados e testados tendo o *firmware* como base. Os passos serão discutidos detalhadamente a seguir.

### 4.1 Levantamento dos requisitos

Após a identificação do ambiente onde o produto poderá ser utilizado e identificação dos usuários chaves (pessoas que utilizam torneiras diariamente para seus afazeres domésticos) e a aprovação (informal) do usuário para aplicação do método de observação, foi feita uma observação meticulosa com o intuito de acumular informações a respeito das tarefas de uso para o produto. Depois de um tempo de observação de um dos ambientes reais onde o sistema poderá ser utilizado foram levantados os requisitos para o sistema, na Tabela 2 é apresentado os requisitos levantados, com as colunas de identificação, uma breve descrição, e a prioridade do requisito.

### 4.2 Modelagem da Solução

A modelagem do sistema foi feita pelo programa *Visual Paradigm* edição da comunidade, ferramenta esta que proporciona várias opções de modelagem com os diagramas da UML, com um bom ambiente de trabalho, facilitando assim a criação e visualização das modelagens do projeto.

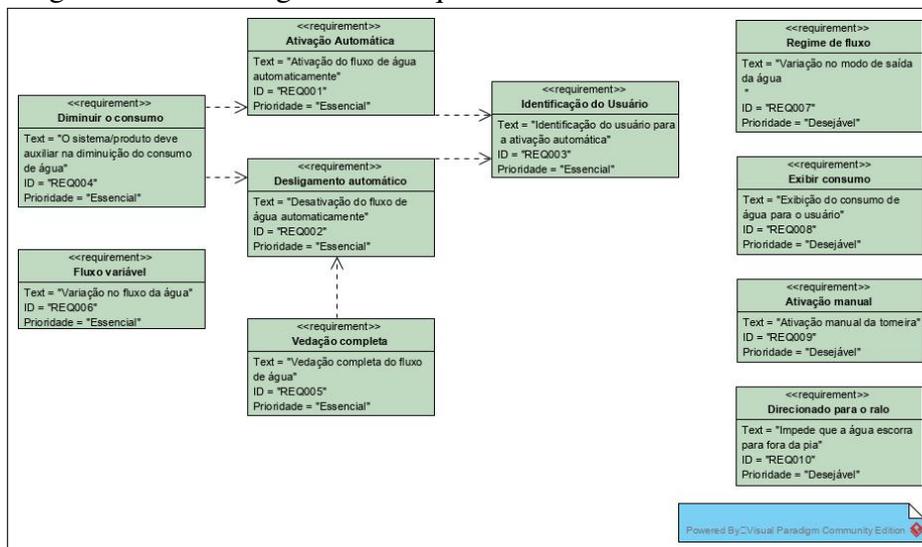
Tabela 2 – Requisitos levantados.

Identificação	Descrição	Prioridade
Ativação automática	Ativação do fluxo de água automaticamente	Essencial
Desligamento automático	Desativação do fluxo de água automaticamente	Essencial
Identificação do Usuário	Identificação do usuário para a ativação automática	Essencial
Fluxo variável	Variação no fluxo da água	Essencial
Vedação completa	Vedação completa do fluxo de água	Essencial
Regime de fluxo	Variação no modo de saída da água	Desejável
Exibir consumo	Exibição do consumo de água para o usuário	Desejável
Ativação manual	Ativação manual da torneira	Desejável
Direcionado para o ralo	Impede que a água escorra para fora da pia	Desejável

Fonte: Autor.

A Figura 17 representa a modelagem dos requisitos do sistema, na modelagem de requisitos é possível identificar os requisitos do sistema de uma forma mais dinâmica. Os requisitos são compostos pelos seus nomes, um texto informando o seu papel um ID de identificação e a sua respectiva prioridade. Na modelagem também é possível identificar, pela ligação, alguns requisitos que são dependente de outros, a seta aponta para qual requisito o apontador é dependente. Por dependente entende-se que para um requisito ser cumprido o qual ele é dependente também precisa ser realizado.

Figura 17 – Modelagem dos Requisitos.



Fonte: Autor.

Após o levantamento dos requisitos foi possível identificar alguns componentes que seriam necessários para a composição do produto. Na Figura 18 temos a especificação dos requisitos essenciais e dos componentes através do *Diagrama de Casos de Uso* (DCU).

De acordo com Vieira (2015), o DCU auxilia no levantamento e na descrição dos requisitos e funcionalidades do sistema e suas interações com os elementos externos e entre si.

No DCU temos algumas principais notações para os elementos de um diagrama.

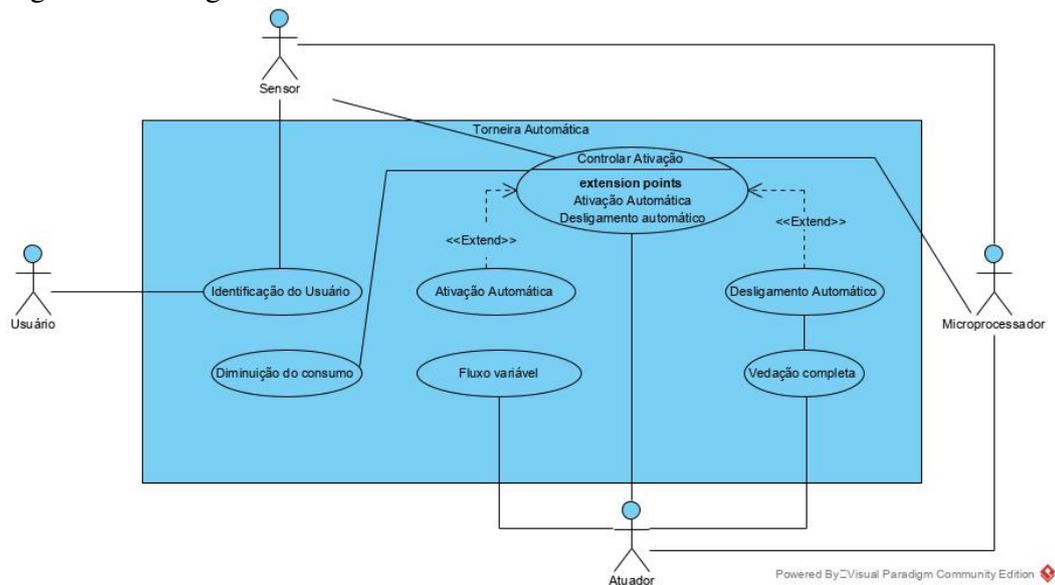
- Atores: bonecos que representam um humano ou um sistema computacional;
- Caso de Uso: elipse que representam uma funcionalidade do sistema;
- Relacionamentos: setas que auxiliam na identificação da relação, podendo ser: entre um ator e um caso de uso, entre atores e entre casos de uso.

No diagrama da Figura 18 possuímos 4 atores e seus relacionamentos com os casos de uso e atores vizinhos:

- Usuário: representação do usuário responsável pela utilização do sistema;
- Sensor: representação do componente responsável pela identificação do usuário;
- Atuador: representação do componente responsável pelo controle do fluxo de água
- Microcontrolador: representação do componente responsável pelo funcionamento do sistema.

Além disso, existem cinco casos de uso que representam os requisitos essenciais do sistema e seus relacionamentos, sendo um deles (Controlar ativação) a extensão de outros dois casos de uso.

Figura 18 – Diagrama de Casos de Uso.



Fonte: Autor.

### 4.3 Estudo dos componentes

Após o levantamento de requisitos e modelagem do sistema foi iniciado um estudo dos equipamentos viáveis para a composição do produto.

O estudo iniciou-se com a pesquisa de modelos de válvulas que poderiam ser utilizadas no produto e como elas poderiam ser utilizadas.

As válvulas são divididas basicamente em dois modelos que depende da sua forma de acionamento, esses modelos são as válvulas de acionamento mecânico e acionamento automatizado. As válvulas de acionamento mecânico são aquelas ativadas pela interação humana direta, já as válvulas automatizadas são aquelas que utilizam um atuador para fazer a abertura o fechamento e o controle de fluxo dos materiais que passam por ela. Pode-se encontrar uma melhor explicação sobre as válvulas voltando a subseção 2.3.1.

Considerando uma circunstância geral de uma torneira automática e de baixo custo, abaixo serão apresentado dois métodos de utilização das válvulas estudadas para o projeto.

O primeiro método é a utilização das válvulas com acionamento mecânico, que podem ser utilizadas com uma pequena adaptação, acoplando um atuador capaz de fazer o controle automático do nível de abertura da válvula. Segundo Bongas (2018a) através de um sistema controlador embutido na válvula pode-se determinar o quanto e quando a válvula será aberta ou fechada, assim dosando o fluxo de água que escoar. Os atuadores para as válvulas estudados aqui são classificados em: Atuadores Elétricos, Hidráulicos e Pneumáticos.

De acordo com Bongas (2018a) os atuadores elétricos são dispositivos que convertem a energia elétrica em movimento mecânico. Um exemplo normalmente utilizado são os motores, mais informações na subseção 2.3.3. Os atuadores pneumáticos são dispositivos que utilizam ar comprimido para gerar movimento mecânico, constituem-se de um cilindro ou câmara em que o ar é contido e deixado expandir assim gerando energia. O gás é então liberado do interior da câmara de maneira controlada, de modo que seja direcionado para um pistão, engrenagem ou algum outro dispositivo mecânico que é usado então para realizar o trabalho de movimento. Ainda de acordo com Bongas (2018a) os atuadores hidráulicos são dispositivos que convertem energia hidráulica em energia mecânica, nesse tipo de atuador, a principal fonte de energia é o fluido hidráulico e o movimento pode ser controlado alterando a quantidade de fluido hidráulico em seu interior.

A utilização deste primeiro método apresenta uma pequena complicação, o desgaste da parte mecânica do dispositivo, que pode diminuir consideravelmente a vida útil do aparelho.

O segundo método é a utilização válvulas automatizadas que são compostas por um atuador interno com o mesmo propósito do acoplado nas válvulas mecânicas, mas por ser interno à própria válvula tem uma vida útil maior. Um exemplo desse tipo de válvula é a válvula solenoide, descrita mais profundamente na subseção 2.3.1.

Tendo as informações dos métodos citados acima podemos estudar alguns cenários de uso das válvulas, o uso de uma, duas ou mais válvulas, de mesmo tamanho ou de tamanhos diferentes. O uso de uma única válvula possibilita fazer o controle do fluxo da água em dois estágios, aberto e fechado, já a combinação de duas ou mais válvulas juntas nos possibilita uma maior variação do fluxo e da quantidade de água que escoar, por exemplo o uso de duas válvulas idênticas nos possibilita três estágios, ambas fechadas, uma aberta e ambas abertas ao mesmo tempo. Pegando agora uma situação onde temos a combinação de duas válvulas com diâmetros diferentes, podemos obter quatro estágios, ambas fechadas, somente a menor aberta, somente a maior aberta e ambas abertas. O número de estágios de controle iram variar de acordo com a quantidade de válvulas utilizadas e a diferença do tamanho entre elas.

Vamos agora considerar os cenários apresentados acima e mostrar matematicamente o que foi descrito neles. Para melhor adaptação vamos considerar uma pressão constante em todos os casos.

Um volume  $X$  de água com velocidade  $Y$ , passa por um encanamento, em certa parte do encanamento existem duas válvulas para o escoamento. No momento inicial ambas as válvulas estão no estado fechado, assim o vazão de saída é nula.

Considerando no primeiro cenário, o uso de duas válvulas idênticas de diâmetro  $\frac{1}{2}$  de polegada, em certo momento uma das válvulas é aberta dando início ao fluxo de água de saída, pela Equação 2.1 do fluxo, apresentada no Capítulo 2, Seção 2.1, iremos obter o valor para fluxo de água:

$$\Phi = Y \cdot A. \quad (4.1)$$

A área de uma válvula é descrita pela equação  $\pi r^2$ , logo:

$$\Phi = Y \cdot \pi r^2. \quad (4.2)$$

Uma polegada equivale a  $25,4mm$ , o diâmetro da válvula em questão é  $12,7mm$  logo

o seu raio é 6,35mm, aplicando na equação 4.2 temos:

$$\begin{aligned}\Phi &= Y \cdot \pi \cdot 6,35^2; \\ \Phi &= Y \cdot 126,6; \\ \Phi &= 126,6Y.\end{aligned}\tag{4.3}$$

Considerando a velocidade  $Y = 1\text{mm}/s$  teremos então:

$$\Phi = 126,6 \cdot 1 = 126,6\text{mm}^3/s.\tag{4.4}$$

A vazão de apenas uma válvula aberta é de  $126,6\text{mm}^3/s$ , nesse segundo momento temos a representação de 50% do fluxo total de água disponível sendo 100% o dobro desse valor, com as duas válvulas abertas  $\Phi = 253,2\text{mm}^3/s$ .

Considerando agora um cenário com o uso de duas válvulas diferentes uma de 1/2 e outra de 3/4 de polegada, obteremos os valores para  $\Phi_1 = 126,6\text{mm}^3/s$  e  $\Phi_2$ : o diâmetro da válvula em questão é 19,05mm logo o seu raio é 9,525mm, aplicando os valores na equação temos:

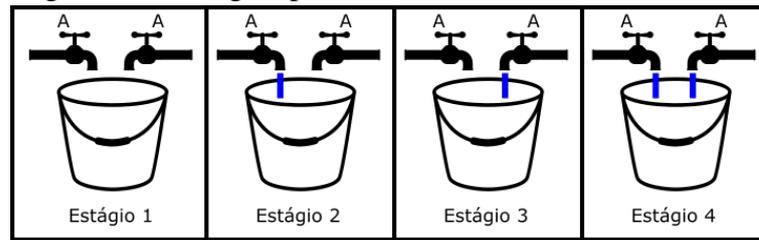
$$\Phi_2 = 1 \cdot \pi \cdot 9,525^2 = 285\text{mm}^3/s.\tag{4.5}$$

Considerando a combinação desses dois fluxos teríamos  $\Phi_1 = 126,6\text{mm}^3/s$  representando 30,75% do fluxo total,  $\Phi_2 = 285\text{mm}^3/s$  será 69,25% do fluxo total e  $\Phi_1 + \Phi_2 = 411,6\text{mm}^3/s$  100% do fluxo de água, lembrando que com ambas as válvulas fechadas temos o fluxo interrompido, logo, 0% de fluxo.

Para compreendermos a quantidade de estágios de fluxos fornecidos por uma quantidade X de válvulas temos que compreender um pouco de Análise Combinatória, mas especificamente no estudo de combinação e arranjo.

Os arranjos são caracterizados pela natureza e pela ordem dos elementos escolhidos, já as combinações são caracterizadas pela natureza dos elementos. Quando estamos trabalhando com válvulas idênticas não dependeremos da ordem de qual estará aberta para identificarmos o número de estágios de vazão possíveis, estamos aqui falando de uma combinação, na Figura 19, podemos verificar esta a combinação com duas válvulas idênticas de tamanho A, e os estágios possíveis para essa quantidade. Na figura podemos identificar 4 estágios possíveis, mas como estamos trabalhando com válvulas de mesmo tamanho, os estágios 2 e 3 são idênticos, considerando as repetições de estágios como apenas um estágio, teremos 3 estágios distintos.

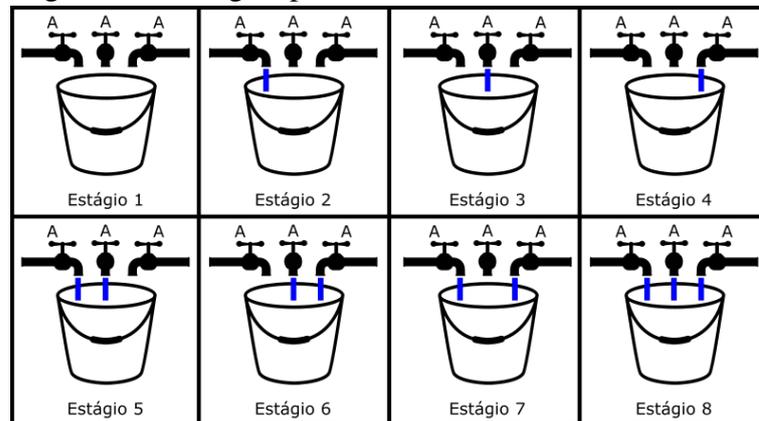
Figura 19 – Estágios para 2 válvulas idênticas



Fonte: Autor.

Na Figura 20, podemos verificar os estágios para uma combinação de 3 válvulas idênticas, na figura podemos identificar 8 estágios, porém ao desprezarmos os estágios idênticos, 2, 3 e 4 e os estágios 5, 6 e 7, levando que a repetição representa apenas 1 estágio nos restará apenas 4 estágios distintos no final.

Figura 20 – Estágios para 3 válvulas idênticas



Fonte: Autor.

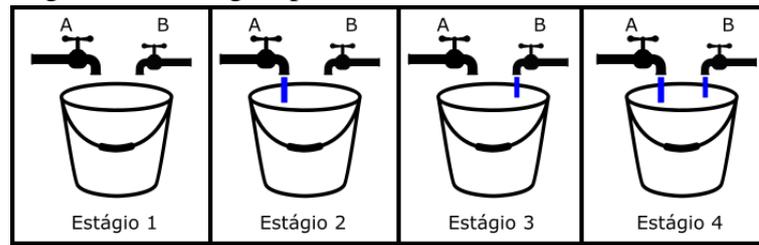
Com isto podemos identificar um padrão para o número de estágios dependendo da quantidade de válvulas disponíveis de tamanhos iguais:

$$N = n + 1, \quad (4.6)$$

onde  $N$  é a quantidade de estágios possíveis e  $n$  a quantidade de válvulas a disposição.

Para o uso de válvulas com tamanhos diferentes teremos aplicação de arranjos, pois neste caso a ordem que cada válvula é acionada é importante. Na Figura 21, podemos verificar os possíveis estágios para um arranjo de duas válvulas de tamanhos diferentes A e B, pela figura identificamos 4 estágios distintos para esse grupo.

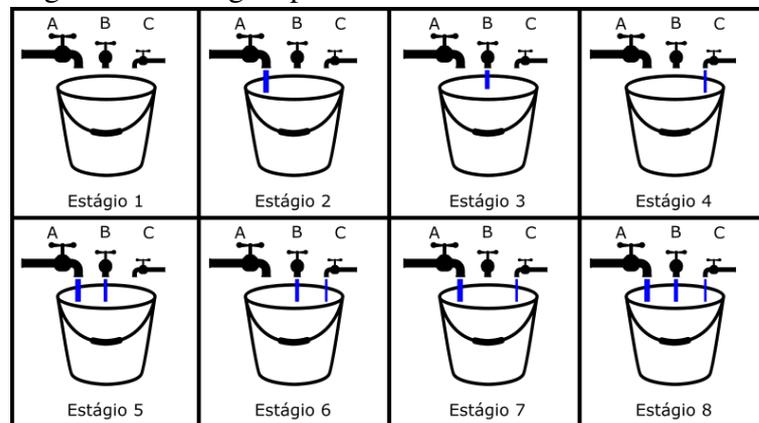
Figura 21 – Estágios para 2 válvulas diferentes



Fonte: Autor.

Na Figura 22, o arranjo é feito com três válvulas de tamanhos distintos, nos proporcionando 8 estágios distintos de vazão.

Figura 22 – Estágios para 3 válvulas diferentes



Fonte: Autor.

Com isto podemos identificar um padrão para o número de estágios dependendo da quantidade de válvulas disponíveis de tamanhos diferentes:

$$N = 2^n, \quad (4.7)$$

onde  $N$  é a quantidade de estágios possíveis e  $n$  a quantidade de válvulas diferentes a disposição.

Também foi estudado para desenvolvimento deste produto os tipos de sensores que poderiam ser utilizado em sua composição. Os sensores estudados são resumidos a sensores de distância, também conhecidos como sensores de proximidade. Foram avaliados os sensores indutivos, capacitivos, sensores ópticos e sensores ultrassônicos, que são algumas tecnologias de sensores de distância comumente utilizados em projetos de mecânica.

Os sensores indutivos e capacitivos são recomendados para pequenas distâncias, de acordo com Schmersal (2019) os sensores indutivos são utilizados em processos de automação industrial para detectar materiais ferromagnéticos, ou seja, materiais metálicos por meio da influência em seu campo eletromagnético e os sensores capacitivos podem detectar qualquer

tipo de material, inclusive através de alguns objetos desde que estes não sejam metálicos. Esses produtos estão disponíveis em diversos formatos sendo alguns deles resistentes a altas temperaturas, campos magnéticos e até áreas de solda ou explosivas. Por funcionar sem contato, é livre de desgaste e tem longa vida útil. Pode-se encontrar maiores informações sobre este sensor na subseção 2.2.3.

Segundo Silveira (2017b), os sensores ópticos ou fotoelétricos tem como princípio de funcionamento o uso da propagação de luz. Esses sensores emitem alguns tipos de luz, sendo estas led vermelha, laser vermelho e infravermelho.

Ainda de acordo com Silveira (2017b), essa diferença de luz são apropriados para determinados usos, por exemplo, o led vermelho é indicado para detecção de objetos opacos de médio e grande porte, já o laser vermelho é indicado para detecção mais precisa e para objetos de pequeno porte, por último, a luz infravermelha é utilizada quando se tem a necessidade de detectar objetos transparentes. Um ponto a ser destacado é que os sensores ópticos têm dificuldade na detecção de objetos de cor escura, devido à grande absorção de luminosidade, propriedade desses tipos de cores.

Outras características dos sensores ópticos podem ser descritas pela forma que eles são ativados ao detectar um objeto, que pode ser classificadas como IVA e IVP, classificações abordadas no Capítulo 2, subseção 2.2.1.

O sensor ultrassônico é mais um tipo de sensor que pode ser utilizado para identificar a distância com precisão entre o sensor e os objetos. Seu princípio de funcionamento é a emissão de ondas sonoras, que é refletida pelo objeto a ser detectado. Este tipo de sensor é melhor explicado na subseção 2.2.2. Uma das principais características positivas desses sensores é que podem trabalhar com objetos sólidos ou líquidos.

Estudando as capacidades dos tipos de sensores e modelos utilizados em projetos de robótica, pode-se identificar o modelo de sensor ultrassônico, *HC-SR04*, que opera entre 2cm a 400cm, para o tipo sensor óptico o modelo *VL53L0X Adafruit* que opera com distâncias entre 30 e 1000mm com alto grau de precisão.

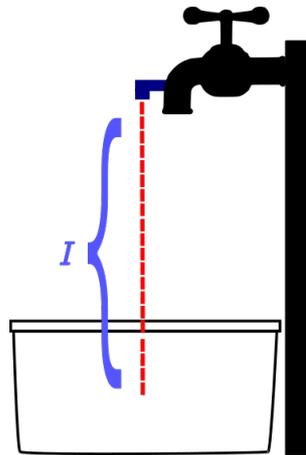
De acordo com Silveira (2017a), sensores capacitivos permitem a detecção linear de pequenos deslocamentos, da ordem de aproximadamente zero até três centímetros com uma resolução que pode chegar à nanométrica, uma faixa de operação muito pequena o que o torna inviável para este projeto.

Os sensores utilizados devem ser capazes de fornecer intervalos de detecção para

fazer o controle da ativação das válvulas do sistema. O sensor é responsável por identificar a posição do usuário em cada intervalo e assim mandar a informação para o microcontrolador que irá ativar a quantidade de válvulas programadas para aquele intervalo específico.

Como exemplo, se utilizarmos apenas uma válvula no sistema, como foi demonstrado acima pela Equação 4.6, teremos dois estados, ligado e desligado, neste caso o sensor só precisará identificar em um intervalo a presença do usuário e assim ativar o fluxo de água caso identifique, caso não identifique o usuário o fluxo é desligado, na Figura 23 temos a representação da área de percepção do sensor (linhas tracejadas) e o intervalo  $I$ , onde o sensor irá identificar o usuário para assim ativar o sistema.

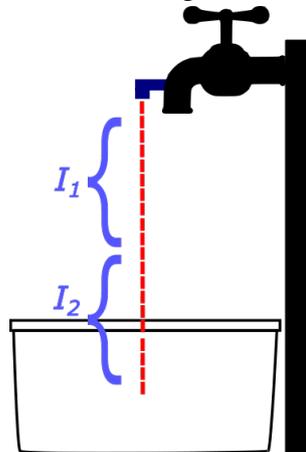
Figura 23 – Intervalos para uma válvula



Fonte: Autor.

No caso do uso de mais válvulas, a região de detecção do sensor deverá ser dividida em mais intervalos. No caso do uso de duas válvulas (idênticas), teremos que controlar três estágios de ativação, sabendo que um dos estágios é representado pelo sistema desligado e que este estágio é ativado quando não há a presença do usuário, restam assim dois outros estágios para serem controlados, na Figura 24, temos o exemplo de possível divisão para essa ocasião,  $I_1$  e  $I_2$  representam os possíveis intervalos, a linha tracejada é a área de detecção do sensor.

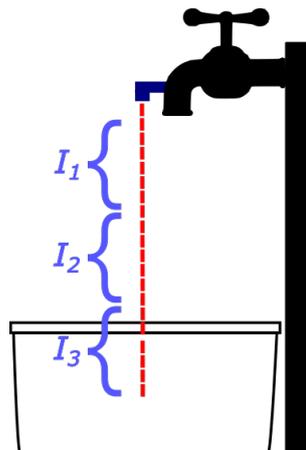
Figura 24 – Intervalos para duas válvula iguais



Fonte: Autor.

Para maior exemplificação, a Figura 25 mostra um exemplo de como seria a divisão dos intervalos ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) no caso do uso de duas válvulas diferentes onde teremos quatro possíveis estágios de ativação das válvulas, como foi demonstrado mais acima neste capítulo, sendo um destes estágios o não acionamento das válvulas, quando não identifica a presença do usuário.

Figura 25 – Intervalos para duas válvula diferentes



Fonte: Autor.

Com esses exemplos podemos identificar um padrão a quantidade de intervalos que serão necessários dependendo do quantidade de estágios obtidos pela quantidade de válvulas.

Podemos representar matematicamente por:

$$I = N - 1, \quad (4.8)$$

com  $I$  sendo o total de intervalos e  $N$  o número de estágios possíveis para as válvulas. Pegando Equação 4.6 de estágios para válvulas idênticas e substituindo em  $N$  poderemos identificar o número de intervalos necessários a partir da equação:

$$I = (n + 1) - 1. \quad (4.9)$$

Substituindo  $N$  pela Equação 4.7 para válvulas diferentes, teremos a equação:

$$I = (2^n) - 1, \quad (4.10)$$

sendo  $n$  o número de válvulas no sistema.

Para o desenvolvimento deste projeto também foi estudado o uso de microcontrolador, responsável por gerir o funcionamento de todas as partes em conjunto.

De acordo com Penido e Trindade (2013), um microcontrolador é, em última análise, um computador em um único chip. Esse chip contém vários componentes como uma *Unidade Lógica e Aritmética* (ULA), memória, periféricos de entrada e de saída, temporizadores, dispositivos de comunicação serial, dentre outros.

Os microcontroladores são compostos de diversos componentes aos quais são necessários para a montagem de um sistema completo, para o desenvolvimento deste produto o microprocessador utilizado precisa conter algumas especificações, como a ULA, memória para armazenamento do software e *Digital General Purpose Input and Output* (GPIOs) para o controle dos atuadores e sensores que compõem o produto.

#### 4.3.1 Componentes Utilizados

Após o estudo realizado na Seção 4.3 e a disponibilidades de equipamentos, os principais componentes selecionados para a montagem de um protótipo para este projeto foram:

Tabela 3 – Componentes utilizados.

Componente	Descrição	Uso
HC-SR04	Sensor Ultrassônico	Identificação do Usuário
Válvula mecânica	Torneira de 1/4 de volta	Controle de fluxo da água
28BYJ-48	Motor de passo	Controle de abertura da válvula
ATmega328P	Microprocessador	Componente de controle do Sistemas

Fonte: Autor.

Vale ressaltar que o microprocessador *ATmega328P* proporciona todos os componentes necessários para a montagem do protótipo, este microprocessador está acoplado à uma versão da placa Arduino, uma plataforma de prototipagem ao qual disponibiliza uma IDE própria (Aduino IDE), possibilitando assim, uma maior facilidade na programação do *firmware* do produto. A Arduino IDE também apresenta uma linguagem de programação própria baseada em C/C++.

#### **4.4 Montagem do *hardware***

O circuito base utilizado no protótipo pode ser observado no esquemático da Figura 32 presente no Apêndice A, onde mostra as conexões feitas entre a placa Arduino Pro-Mini e os demais componentes. Vale ressaltar que no esquemático é apresentado também o esquema de uma fonte de alimentação, um botão e um sensor de posição. O botão é utilizado para regulagem da distância do sensor ultrassônico e como adicional para o protótipo, foi elaborado e criado um sensor de posição, Figura 29, Seção 4.6, que verifica a posição da torneira ao iniciar o sistema.

Na Figura 30 na Seção 4.6 podemos verificar como o protótipo foi montado, vale ressaltar que foi preciso construir uma caixa de redução para dar mais torque ao motor para que fosse possível movimentar a válvula da torneira.

#### **4.5 Desenvolvimento do *firmware***

Após a escolha dos componentes deu-se início a etapa do desenvolvimento do *firmware*. Na Figura 33 presente no Apêndice B, podemos identificar a estrutura básica do comportamento do *firmware* desenvolvido para este projeto. O sistema tem início verificando se a posição do motor em relação a válvula está correta, caso não esteja posicionado corretamente, é verificado se a posição atual é válida ou não, se a posição identificada não for válida o sistema é interrompido pois houve alguma mudança ocasionada por motivos externos ao protótipo, caso a posição não seja a correta mas seja válida o sistema se ajusta para a posição correta, e assim dá início a verificação do sensor. Estando na posição correta, o sistema começa a verificar de 100 em 100ms se existe algum usuário na faixa de operação do sensor, caso um usuário seja identificado, de acordo com a posição identificada é feito acionamento do motor e conseqüentemente da válvula, assim liberando o fluxo de água, com a presença do usuário o tempo de verificação se torna 50ms, para não haver uma espera muito grande da identificação de uma nova posição. Essa

diferença de tempo foi aplicada para dosar uma menor taxa de verificações caso o sistema não esteja sendo utilizado.

#### 4.6 Protótipo

Nesta Seção será mostrado os componentes que compõem o protótipo criado, que foi utilizado para realização dos testes e verificação dos resultados. Na Figura 26 podemos ver a torneira, que representa uma válvula mecânica, na Figura 27 à esquerda temos o motor de passo e na direita, o motor de passo acoplado à uma caixa de redução, Figura 28 o sensor ultrassônico, Figura 29 o sensor de posição e Figura 30 o protótipo montado.

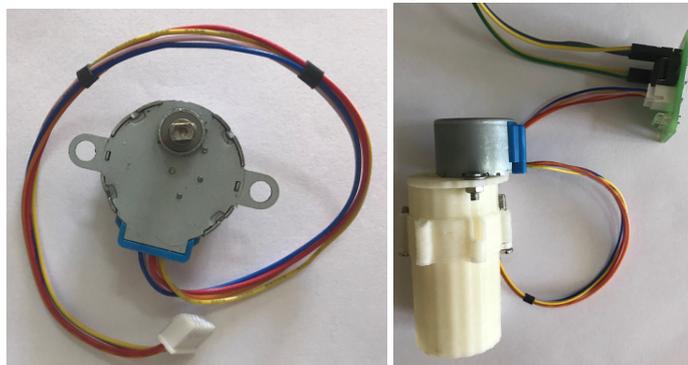
No capítulo seguinte, 5, será apresentado os dados de testes e a análise dos resultados, os dois últimos pontos que completam a metodologia abordada neste projeto.

Figura 26 – Torneira mecânica 1/4 de volta.



Fonte: Autor.

Figura 27 – Motor de passo simples e acoplado em uma caixa de redução.



Fonte: Autor.

Figura 28 – Sensor Ultrassônico em uma *case* para acoplar ao protótipo.



Fonte: Autor.

Figura 29 – Sensor de posição.



Fonte: Autor.

Figura 30 – Protótipo montado.



Fonte: Autor.

## 5 RESULTADOS E AVALIAÇÕES

Neste capítulo será apresentado dados de testes realizados no protótipo criado para este projeto, bem como uma contextualização, como meio de comparação e os resultados obtidos.

### 5.1 Contextualização

Esta contextualização nos informa como é o gasto de água com uma torneira com diferentes valores de vazão no decorrer do tempo e mostrar como pode ajudar na redução do gasto de água, a contextualização foi criada como um meio de comparação para avaliação e validação dos testes realizados.

Uma torneira aberta no instante  $1s$  com vazão constante de  $Q = 0,025L/s$  escoou um total de  $1,5L$  em  $1min(60s)$ , podemos chegar a esta conclusão pela manipulação e aplicação da equação da vazão 2.4,  $Q = \frac{V}{t}$ , na subseção 2.1, manipulando podemos chegar na equação:

$$V = Q \cdot t. \quad (5.1)$$

Sabemos que  $1min$  equivalem a  $60$  segundos, substituindo os valores temos:

$$V = 0,025 \cdot (60) = 1,5L. \quad (5.2)$$

Se diminuirmos a vazão pela metade durante metade do tempo poderemos verificar uma diminuição do escoamento:

No instante  $1 - 30s$ :

$$V_1 = 0,025 \cdot 30 = 0,75L. \quad (5.3)$$

No instante  $31 - 60s$ :

$$V_2 = \frac{0,025}{2} \cdot 30 = 0,375L. \quad (5.4)$$

Somando os dois volumes de água que obtemos, teremos:

$$V' = V_1 + V_2 = 0,75 + 0,375 = 1,125L. \quad (5.5)$$

O escoamento  $V' = 1,125L$  equivale a  $75\%$  do primeiro escoamento  $V = 1,5L$ , nos proporcionando uma redução de  $25\%$  do gasto inicial.

Se dividir esse intervalo de  $1min$  em  $3$  intervalos de  $20s$ , e aplicarmos valores de vazão equivalentes a  $100\%$ ,  $70\%$  e  $30\%$  do valor normal inicial obteremos:

Instantes 1s – 20s (100% de vazão):

$$V_1 = 0,025 \cdot 20 = 0,5L. \quad (5.6)$$

Instantes 21s – 40s (70% de vazão):

$$V_2 = 0,0175 \cdot 20 = 0,314L. \quad (5.7)$$

Instantes 41s – 60s (30% da vazão):

$$V_3 = 0,0075 \cdot 20 = 0,15L. \quad (5.8)$$

Somando os valores de volumes de água escoados que obtemos, teremos:  $V'' = V_1 + V_2 + V_3$ :

$$V'' = 0,5 + 0,314 + 0,15 = 0,964L. \quad (5.9)$$

O escoamento  $V''$  equivale à 64,27% do escoamento inicial  $V$ , assim obtendo uma redução de 35,73% do gasto de água.

## 5.2 Dados obtidos nos experimentos e resultados

Para compreender os experimentos precisamos entender como está sendo trabalhado a parte física do protótipo. O produto é composto por um acoplamento na qual vai um motor de passo, uma caixa de redução e a torneira. A torneira utilizada é uma torneira de  $\frac{1}{4}$  de volta, isso significa que a abertura máxima dela é de  $90^\circ$ . A caixa de redução que ajuda a aumentar o torque do movimento do motor é de 4x1 (quatro para um) de movimento, o que significa que a cada movimento no pino do motor conectado à caixa de redução é  $\frac{1}{4}$  de movimento no outro lado, que está em contato com a haste de abertura da torneira, com isso podemos identificar que é preciso um movimento de  $360^\circ$  (uma volta completa) do motor para obter um movimento de  $90^\circ$  ( $\frac{1}{4}$  de volta) na torneira.

Também devemos levar em consideração que o motor trabalha com passos, que gera seus movimentos, e que são necessários 32 passos para completar uma volta completa no eixo do motor, considerando isso, podemos identificar que cada passo do motor equivale a:

$$A_{MM} = \frac{360^\circ}{32} = 11,25^\circ, \quad (5.10)$$

$A_{MM}$  é o ângulo de movimento do motor, por passo.

Como cada passo do motor equivale a  $\frac{1}{4}$  de volta na torneira então:

$$A_{MT} = \frac{11,25^\circ}{4} = 2,8125^\circ, \quad (5.11)$$

$A_{MT}$  é o angulo de movimento da torneira, por passo no motor.

Temos então que  $32 \cdot 11,25^\circ = 360^\circ$  no motor (uma volta) e  $32 \cdot 2,8125^\circ = 90^\circ$  na torneira  $\frac{1}{4}$  de volta, representando desta forma a abertura da torneira em 100%. Para outros valores é possível calcular o angulo e a porcentagem de abertura da torneira em relação aos passos dados no motor pelas equações abaixo:

$$A_{Tor} = Passos \cdot 2,8125^\circ, \quad (5.12)$$

$$P_{Tor} = A_{Tor} \cdot (10/9). \quad (5.13)$$

$A_{Tor}$  é a abertura em graus da torneira e  $P_{Tor}$  é a porcentagem da abertura da torneira. Por exemplo, se dermos 4 passos teremos:  $A_{Tor} = 4 \cdot 2,8125^\circ = 11,25^\circ$ , que equivale a 12,5% da abertura da torneira. Novamente, se dermos 16 passos, teremos  $A_{Tor} = 16 \cdot 2,8125^\circ = 45^\circ$  que equivale a 50% da abertura da torneira.

Por causa de uma limitação física do protótipo, a torneira utilizada tem um pequeno atraso na ativação, são necessários 10 passos do motor para que a torneira comece a liberar o fluxo de água, o que equivale ao ângulo de  $28,125^\circ$  ou 31,25% da abertura total.

Os testes foram feitos de modo a avaliar a vazão e o comportamento da torneira usado como protótipo, os testes foram realizados em um ambiente controlado, de modo que a torneira estivesse sob iguais condições de avaliação durante todo o processo dos testes.

A avaliação foi realizada da seguinte maneira, dividiu-se o angulo de abertura da torneira ( $90^\circ$ ) em algumas posições de modo a obtermos valores de vazão diferentes para cada posição, por causa da limitação física do protótipo a divisão foi feita a partir do angulo de  $28,125^\circ$  até chegar nos  $90^\circ$ . O angulo total dividido em 7 posições, para cada posição foram realizado o teste 4 vezes, o teste consiste em abrir a torneira durante 30s e fecha-la quando o temo esgotar, armazenar e anotar a quantidade de água que foi escoado durante este tempo.

Na Tabela 4, podemos encontrar os valores dos ângulos (Ângulo) de cada divisão e a quantia de escoamento para cada teste ( $T1, T2, T3, T4$ ), a variação de escoamento observada foi mínima ou imperceptível em cada teste. Na tabela também encontramos informações como o

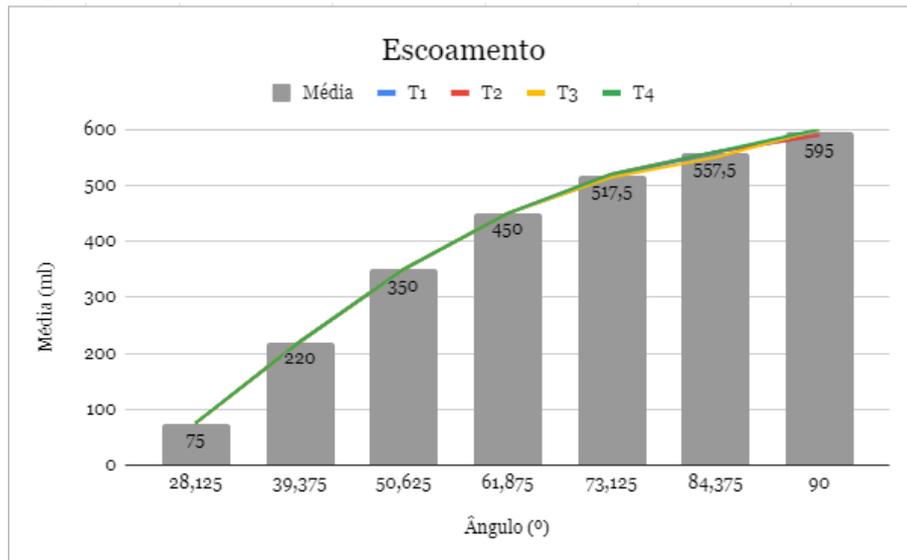
número de passos necessários para atingir o ângulo, a porcentagem equivalente e a média de escoamento. Na Figura 31, podemos ver graficamente os dados da tabela 4

Tabela 4 – Testes realizados.

Passos	Ângulo (°)	Porcentagem (%)	T1 (ml)	T2 (ml)	T3 (ml)	T4 (ml)	Média (ml)
10	28,125	31,25	75	75	75	75	75
14	39,375	43,75	220	220	220	220	220
18	50,625	56,25	350	350	350	350	350
22	61,875	68,75	450	450	450	450	450
26	73,125	81,25	515	520	515	520	517,5
30	84,375	93,75	560	560	550	560	557,5
32	90	100	590	600	600	590	595

Fonte: Autor.

Figura 31 – Gráfico dos testes.



Fonte: Autor.

Levando em consideração a contextualização descrita na Seção 5.1 e aplicando o mesmo método com os valores obtidos nos experimentos com o protótipo, podemos avaliar o seu comportamento.

Iremos avaliar o comportamento do protótipo levando em consideração o mesmo tempo de escoamento utilizado na contextualização (60 segundos) e a média de escoamento obtidas nos testes. Se em 30s a torneira escoar 595ml de água no seu ângulo de abertura máxima, em 60s ela escoaria um total  $V_1$  de 1.190ml ou 1.19L de água. Dividindo o tempo de escoamento e aplicando os valores de ângulos de 50.625° e 90° no tempo de 30s para cada, obteremos os valores de escoamento de 350ml e 595ml respectivamente, um total  $V_2$  de 945ml ou 0.945L de água. Podemos observar que  $V_2$  é aproximadamente 79,4% de  $V_1$ , o que nos proporcionou uma

redução de aproximadamente 20,6% do gasto inicial, podendo ser ainda maior quando aplicado uma maior variedade de ângulos de abertura durante o tempo de uso. 0

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho tinha como objetivo estudar bases para o desenvolvimento de uma torneira automática, aplicando tecnologias inteligentes, com intuito de auxiliar na redução do desperdício dos recursos hídricos, gerando um desfecho benéfico para o meio ambiente.

Para tal, foi necessário fazer um estudo dos componentes que poderiam ser utilizados na concepção do produto e fazer testes de um protótipo. Este trabalho apresentou estrutura, propriedades e características para a criação de um equipamento que atende os objetivos propostos. Os resultados alcançados no Capítulo 5, indicam que o estudo realizado e o protótipo construído atingiram os objetivos com êxito.

Como trabalhos futuros, podemos citar a criação uma versão do produto que contemple o segundo método descrito na Seção 4.3, que seria a utilização de válvulas automatizadas, não sendo necessário o acoplamento de um segundo componente para o controle da vazão da água, uma ou mais válvulas podem ser acopladas no produto, possibilitando assim uma maior controle do fluxo. Também como trabalho futuro podemos apontar a implementação dos requisitos de ativação manual, diferentes regimes de fluxo e os demais requisitos levantados neste documento. Outro possível trabalho é a elaboração de novos requisitos para um novo produto, tomando as ideias apresentadas neste documento como base, a fim de obter soluções ainda melhores.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, T. A. dos. **Hidrodinâmica**. [S.l.]: Mundo Educação, 2019. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/hidrodinamica.htm>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- ATHOS ELETRONICS. **Relé – o que é e como funciona?** [S.l.]: Athos Eletronics, 2019. Disponível em: <https://athoselectronics.com/rele/>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- BONFIM, M. **Medidas elétricas**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2002. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/marlio/medidas/apostila/apostila3a.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- BONGAS. **Como automatizar uma válvula: motores e controles**. [S.l.]: Bongas, 2018. Disponível em: <https://bongas.com.br/como-automatizar-uma-valvula-motores-e-controles/>. Acesso em: 04 set. 2019.
- BONGAS. **O que é válvula solenóide?**. [S.l.]: Bongas, 2018. Disponível em: <https://bongas.com.br/valvula-solenioide-tipos-funcionamento-e-aplicacoes/>. Acesso em: 26 maio. 2019.
- BONGAS. **Válvula automatizada: o que é, funcionamento e vantagens**. [S.l.]: Bongas, 2018. Disponível em: <https://bongas.com.br/valvula-automatizada-o-que-funcionamento-vantagens/>. Acesso em: 26 maio. 2019.
- BORBA, F. da S. **Dicionário Unesp do português contemporâneo**. [S.l.]: Editora Unesp, 2005. v. 1.
- BORGES, L. P.; DORES, R. de C. **Automação predial sem fio utilizando Bacnet/Zigbee com foco em economia de energia**. 2010. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 06, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88p.
- BRAGA, N. C. **Tecnologias de sensores infravermelhos (ART652)**. [S.l.]: Instituto NCB, 2012. Disponível em: <http://www.newtoncbraza.com.br/index.php/como-funciona/52-artigos-tecnicos/artigos-diversos/4916-art652>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- CARNEIRO, F. **Fundamentos do relé: tipos, constituição, contatos, física e mais!** [S.l.]: Eletrônica Aqui, 2018. Disponível em: <http://eletronicaqui.com/2016/11/rele/>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- CASSIOLATO, C.; ALVES, E. O. **Medição de vazão**. [S.l.]: Proibus, 2008. Disponível em: [http://www.profibus.org.br/files/artigos/Artigo\\_Vazao\\_CI\\_2008.pdf](http://www.profibus.org.br/files/artigos/Artigo_Vazao_CI_2008.pdf). Acesso em: 30 abr. 2019.
- COELHO, P. **Número de Reynolds (RE)**. [S.l.]: ENGQUIMICASANTOSSP, 2013. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2013/10/numero-de-reynolds.html>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- CONTRINEX. **Sensores de proximidade indutivos, fotoelétricos e ultra-sônicos**. [S.l.]: SGS Partners, 2006. Disponível em: [www.sgspartners.com.br/pdf/catalogo\\_geral\\_contrinex.pdf](http://www.sgspartners.com.br/pdf/catalogo_geral_contrinex.pdf). Acesso em: 04 set. 2019.
- DEMAE. **Consumo de água**. [S.l.]: Demae, 2017. Disponível em: <https://www.demae.go.gov.br/projetos/consumo-de-agua/>. Acesso em: 13 abr. 2019.

DEMOTOR. **Tipos de motores.** [S.l.]: DeMotor, 2018. Disponível em: <https://pt.demotor.net/tipos-motor>. Acesso em: 30 abr. 2019.

DIGEL. **O que é um sensor capacitivo?** [S.l.]: Digel, 2018. Disponível em: <http://www.digel.com.br/artigos/10/o-que-e-um-sensor-capacitivo>. Acesso em: 29 abr. 2019.

DINO. **Tecnologia ajuda indústrias a reduzir consumo de água.** [S.l.]: Exame, 2017. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/tecnologia-ajuda-industrias-a-reduzir-consumo-de-agua/>. Acesso em: 05 abr. 2019.

DR. LAVA TUDO. **Limpeza x higienização:** saiba a diferença e a importância. [S.l.]: Dr. Lava Tudo, 2017. Disponível em: <https://drlavatudo.com/blog/limpeza-x-higienizacao/>. Acesso em: 13 abr. 2019.

FABRI, J. A. **A etnografia como processo de levantamento de requisitos.** [S.l.]: Engenharia de *Software*, 2012. Disponível em: <https://engenhariasoftware.wordpress.com/2012/12/11/a-etnografia-como-processo-de-levantamento-de-requisitos/>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FOGAÇA, J. R. V. **Densidade.** [S.l.]: Brasil Escola, 2019. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/densidade.htm>. Acesso em: 13 abr. 2019.

HELERBROCK, R. **O que é ultrassom?** [S.l.]: Brasil Escola, 2019. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-ultrassom.htm>. Acesso em: 25 abr. 2019.

IDEALVR. **Válvula solenoide.** [S.l.]: IdealVr, 2019. Disponível em: <http://www.idealrv.com.br/valvula-solenoide>. Acesso em: 14 abr. 2019.

INDIANA, M. C. O.; BURKE, D. M.; MARTY, G. R.; JONTE, P. B.; RODENBECK, R. W.; HUFFINGTON, T. **Torneira automática multimodos com ativação sem as mãos.** 2013. Depositante: Masco Corporation Of Indiana. PI 0720350-0 A2. Deposito: 05 dez. 2007. Concessão: 24 dez. 2013.

JEFFERSON. **Válvula solenoide.** [S.l.]: Jefferson, 2019. Disponível em: <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvula-solenoide.html>. Acesso em: 14 abr. 2019.

JFL ALARMES. **O que são e para que servem os sensores infravermelhos passivos num sistema de alarme?** [S.l.]: JFL Alarmes, 2019. Disponível em: <https://jflalarmes.com.br/sensores/o-que-sao-e-para-que-servem-os-sensores-infravermelhos-passivos-num-sistema-de-alarme/>. Acesso em: 29 abr. 2019.

KARASINSKI, L. **O que é tecnologia?** [S.l.]: TecMundo, 2013. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/tecnologia/42523-o-que-e-tecnologia-.htm>. Acesso em: 25 mar. 2019.

LAVERTY, J. M. J. *Sensor operated water flow control.* 1991. Depositante: Jr. Martin J. Laverty. US5033508A. Deposito: 11 jan. 1990. Concessão: 23 jul. 1991.

LEITE, I. **Como economizar água instalando 'torneiras inteligentes'.** [S.l.]: G1, 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/blog/como-economizar-agua/post/como-economizar-agua-instalando-torneiras-inteligentes.html>. Acesso em: 06 abr. 2019.

LIPPERT, J. M. **Torneira eletrônica automática**. 1982. Depositante: João Manoel Lippert. PI 8101871. Depósito: 03 mar. 1981. Concessão: 03 nov. 1982.

LOSA, J. C. F. **Interpretar un P&ID**. [S.l.]: Instrumentación Hoy, 2015. Disponível em: <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/04/interpretar-un-p.html>. Acesso em: 02 dez. 2019.

MECÂNICA INDUSTRIAL. **O que é uma válvula**. [S.l.]: Mecânica Industrial, 2019. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/158-o-que-e-uma-valvula/>. Acesso em: 30 abr. 2019.

MECAWEB. **PWM - modulação por largura de pulso**. [S.l.]: Mecaweb, 2016. Disponível em: [http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e\\_pwm](http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_pwm). Acesso em: 30 maio. 2019.

MOTA, A. **HC-SR04 - sensor ultrassônico de distância com Arduino**. [S.l.]: Vida de Silício, 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/hc-sr04-sensor-ultrassonico/>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MOTA, F. **Sensores ultrassônicos**. [S.l.]: Doc Player, 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/59207676-Sensores-ultrassonicos.html>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MOUNTAINBAJA. **Sensor capacitivo com Arduino**. [S.l.]: Vida de Silício, 2018. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-capacitivo/>. Acesso em: 28 abr. 2019.

PARIKH, T. **Águas inteligentes: tecnologias que podem evitar desperdício**. [S.l.]: Computerworld, 2016. Disponível em: <https://computerworld.com.br/2016/11/03/aguas-inteligentes-tecnologias-que-podem-evitar-desperdicio/>. Acesso em: 05 abr. 2019.

PAULA, R. N. F. de. **Equação da continuidade**. [S.l.]: Info Escola, 2019. Disponível em: <https://www.infoescola.com/mecanica-de-fluidos/equacao-da-continuidade/>. Acesso em: 14 abr. 2019.

PENIDO Édilus de C. C.; TRINDADE, R. S. **Microcontroladores**. Ouro Preto: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013.

PHILIPP, H. *Adaptive faucet controller measuring proximity and motion*. 1996. Depositante: Harald Philipp. US5566702A. Depósito: 30 dez. 1994. Concessão: 22 out. 1996.

PUHLMANN, H. F. W. **Trazendo o mundo real para dentro do processador - conversor A/D**. [S.l.]: Embarcados, 2015. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/conversor-a-d/>. Acesso em: 27 maio. 2019.

RODRIGO, L. **Conceito de sensores e atuadores**. [S.l.]: Robótica Educacional, 2011. Disponível em: <http://leandro-robotica.blogspot.com/2011/05/conceito-e-sensores-e-atuadores.html>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SANTA, C. P. C. L. B.; PINTO, R. F. **Torneira de fechamento automático**. 1981. Depositante: Raul Fernandes Pinto. BR6100756U. Depósito: 05 jan. 1981. Concessão: 25 ago. 1981.

- SANTIAGO, D. R. **Tecnologia e meio ambiente: relação de fracasso ou de sucesso para a sustentabilidade?** [S.l.]: Pensamento Verde, 2015. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/tecnologia-e-meio-ambiente-relacao-de-fracasso-ou-de-sucesso-para-a-sustentabilidade/>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- SAVEH. **A disponibilidade de água no mundo e no Brasil.** [S.l.]: Saveh, 2016. Disponível em: <https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- SCHMERSAL. **Sensores indutivos e capacitivos.** [S.l.]: Schmersal, 2019. Disponível em: <https://www.schmersal.com.br/automacao/produto/sensores-indutivos-e-capacitivos/>. Acesso em: 02 out. 2019.
- SILAS, J. **O que é infravermelho?** [S.l.]: Brasil Escola, 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-infravermelho.htm>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- SILVEIRA, C. B. **Sensor capacitivo: o que é e como funciona?** [S.l.]: Citisystems, 2017. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-capacitivo/>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- SILVEIRA, C. B. **Sensores ópticos: como funcionam?** [S.l.]: Citisystems, 2017. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensores-opticos/>. Acesso em: 02 out. 2019.
- SILVEIRA, C. B. **Como funciona a válvula solenoide e quais são os tipos existentes?** [S.l.]: Citisystems, 2018. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/valvula-solenoide/>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. v. 9.
- SOUZA, C. A. R. de; SOUZA, V. E. S. **Modelagem de software com UML.** [S.l.]: DevMedia, 2011. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/modelagem-de-software-com-uml/20140>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- TECHNOBRAS. **Válvulas manuais: tipos e características.** [S.l.]: Tecnobras, 2013. Disponível em: <http://technobras.com/blog/valvulas-manuais-tipos-e-caracteristicas>. Acesso em: 26 maio. 2019.
- TOLEDO, B. **Mais natureza, mais água de qualidade.** [S.l.]: P22On, 2017. Disponível em: <http://www.p22on.com.br/2017/12/12/mais-natureza-mais-agua-de-qualidade/>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- TRATA BRASIL. **Perdas de água na distribuição: causas e consequências. saiba mais!** [S.l.]: Trata Brasil, 2017. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2017/11/16/perdas-de-agua-causa-e-consequencias/>. Acesso em: 02 abr. 2019.
- VELASCO, C. **Desperdício de água potável aumenta no Brasil, e perdas chegam a mais de R\$ 10 bilhões ao ano, aponta estudo.** [S.l.]: G1, 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/desperdicio-de-agua-potavel-aumenta-no-brasil-e-perdas-chegam-a-mais-de-r-10-bilhoes-ao-ano-aponta-estudo.ghtml>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- VIANA, J. **Qual é o limite da audição humana?** [S.l.]: Edifier, 2016. Disponível em: <http://blog.lojaedifier.com.br/qual-e-o-limite-da-audicao-humana/>. Acesso em: 25 abr. 2019.

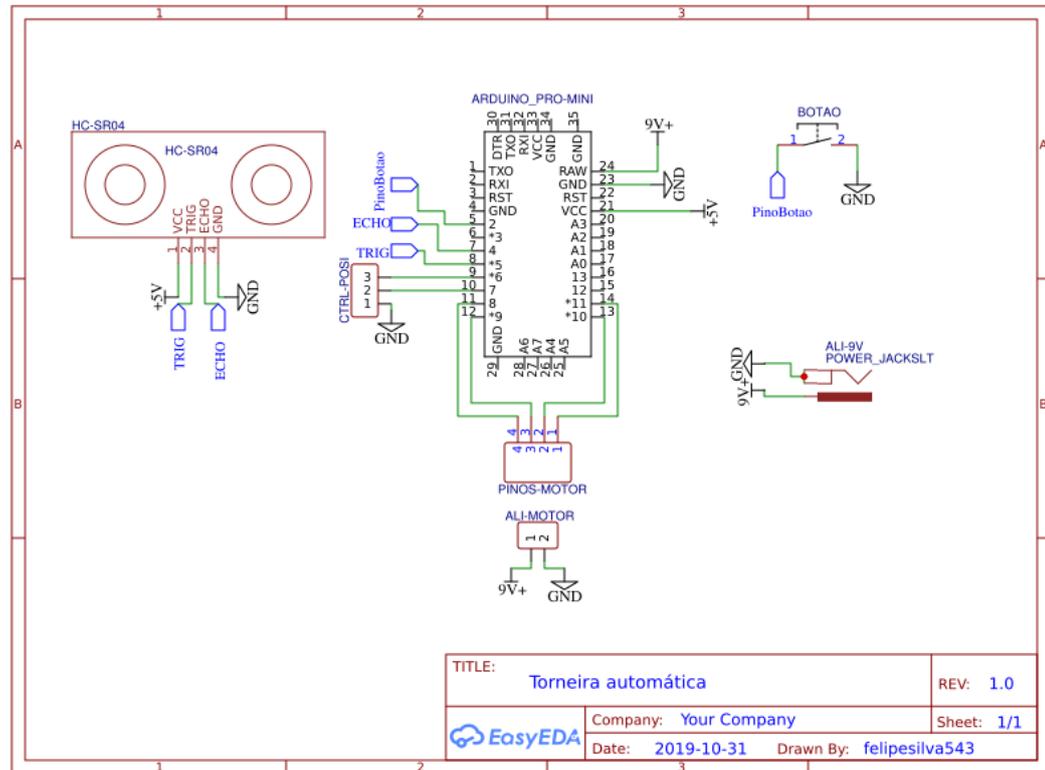
VIEIRA, R. **UML — diagrama de casos de uso**. [S.l.]: Medium, 2015. Disponível em: <https://medium.com/operacionalti/uml-diagrama-de-casos-de-uso-29f4358ce4d5>. Acesso em: 26 nov. 2019.

WENDLING, M. **Sensores**. Guaratinguetá: Unesp, Universidade Estadual Paulista, campus de Guaratinguetá, 2010.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2007.

## APÊNDICE A – ESQUEMÁTICOS DO CIRCUITO UTILIZADO PARA O PROTÓTIPO.

Figura 32 – Esquemático do Circuito do protótipo



Fonte: Autor.

## APÊNDICE B – ESTRUTURA DO SOFTWARE DO PROJETO.

Figura 33 – Estrutura do *Firmware*

