

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Michele Rodrigues da Silva**

**TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE FUGAS DE ÁGUA EM  
TUBULAÇÕES PARA O USO EM INTERNET DAS COISAS (IoT)**

**Santa Maria, RS  
2018**

**Michele Rodrigues da Silva**

**TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE FUGAS DE ÁGUA EM TUBULAÇÕES PARA  
O USO EM INTERNET DAS COISAS (IoT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,  
RS), como requisito parcial para a obtenção do  
grau de **Engenheira Eletricista**.

Orientador: Prof. Dr. João Baptista dos Santos Martins

Santa Maria, RS  
2018

**Michele Rodrigues da Silva**

**TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE FUGAS DE ÁGUA EM TUBULAÇÕES PARA  
O USO EM INTERNET DAS COISAS (IoT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,  
RS), como requisito parcial para a obtenção do  
grau de **Engenheira Eletricista**.

**Aprovado em 21 de Dezembro de 2018:**

---

**João Baptista dos Santos Martins, Prof. Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Cesar Augusto Prior, Prof. Dr. (UFSM)**

---

**Jonas Tadeu Reichert, Me. Eng. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2018

## AGRADECIMENTOS

*Gostaria de agradecer a todos que contribuíram de alguma forma com este estudo, e especialmente, agradeço:*

*- Aos meus pais Rosa e Leandro, e avós Edenir, Odil, Adão e Lori por terem me apoiado e não medirem esforços para que eu pudesse estar realizando esse sonho; ao meu irmão João Vitor que mesmo tão pequeno, compreendeu a distância; ao meu namorado Felipe Albeche pelo apoio e suporte incondicionais.*

*- Ao Prof. Dr. João Baptista Martins, pelo apoio e oportunidade dada durante o meu quinto semestre de graduação, me trazendo a este projeto tão importante.*

*- Aos meus colegas de graduação, que nesses cinco anos tornaram os meus dias mais felizes.*

*- Aos professores do curso de Engenharia Elétrica, pela oportunidade de ter um pouco do conhecimento e experiência de vocês compartilhadas comigo.*

*- Ao Grupo de Microeletrônica (GMICRO), que tem grandes profissionais e um imenso potencial.*

*- E por fim, à agência financiadora FAPERGS e ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), pelo incentivo à pesquisa.*

*As pessoas felizes lembram o passado com gratidão, alegram-se com o presente e encaram o futuro sem medo.*

*Epicuro de Samos*

## RESUMO

### TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE FUGAS DE ÁGUA EM TUBULAÇÕES PARA O USO EM INTERNET DAS COISAS (IoT)

AUTOR : Michele Rodrigues da Silva

ORIENTADOR : João Baptista dos Santos Martins Prof. Dr.

Este trabalho contempla um estudo a cerca da detecção de fugas de água em tubulações, de forma inteligente, utilizando internet das coisas (IoT), com o propósito de evitar o desperdício de água potável na sua distribuição. Foi realizado um estudo para encontrar o sensor para efetuar essa detecção, sendo ele invasivo ou não. Foram realizadas simulações no software Proteus para que, ao testar o sensor, o sinal fosse adequado para ser lido pelo microcontrolador. O desempenho de cada sensor estudado foi verificado através de testes experimentais em laboratório. Os resultados demonstram que para essa aplicação o acelerômetro se mostrou mais promissor na medição de fluxo de água de forma não invasiva.

**Palavras-chave:** Internet das coisas, água, rede de sensores, Siga-IoT.

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF A FLOW SENSING SYSTEM CONNECTED TO IOT TECHNOLOGY**

**AUTHOR :** Michele Rodrigues da Silva  
**ADVISOR:** Prof. Dr. João Baptista dos Santos Martins

This work includes a study about water leakage detection in pipelines, intelligently, using internet of things (IoT), in order to avoid the waste of drinking water in your distribution. We conducted a study to find the sensor to perform this detection, invasive or not. Simulations were performed in software Proteus, when testing the sensor, the signal was suitable to be read by the microcontroller. The performance of each sensor studied was verified through experimental tests in laboratory. The results show that for this application the accelerometer proved more promising in the measurement of water flow to noninvasively.

**Keywords:** Internet of Things, IoT, water, sensor network, Siga-IoT.

## LISTA DE FIGURAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| FIGURA 1  | VISÃO GERAL DE IOT. . . . .  | 12 |
| FIGURA 2  | REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE IOT PROPOSTO. . . . .  | 13 |
| FIGURA 3  | MEDIDOR DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICO . . . . .   | 17 |
| FIGURA 4  | MEDIDOR DE VAZÃO ULTRASSÔNICO . . . . .  | 19 |
| FIGURA 5  | FLUXOGRAMA DO SISTEMA PROPOSTO . . . . .   | 22 |
| FIGURA 6  | SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA GENÉRICO. . . . .  | 23 |
| FIGURA 7  | SENSOR DE VIBRAÇÃO PIEZOELÉTRICO. . . . .  | 24 |
| FIGURA 8  | SENSOR PIEZOELÉTRICO EM FILME . . . . .  | 25 |
| FIGURA 9  | CIRCUITO PARA CONEXÃO ENTRE SENSOR PIEZOELÉTRICO E ARDUINO   | 26 |
| FIGURA 10 | REPRESENTAÇÃO VETORIAL DO MODO DE LEITURA REALIZADO POR<br>ACELERÔMETROS EM <i>smartphones</i> . . . . . | 28 |
| FIGURA 11 | INFORMAÇÕES OBTIDAS NO APLICATIVO <i>Accelerometer</i> . . . . .   | 29 |
| FIGURA 12 | SENSOR DE VAZÃO YF-S201. . . . .   | 30 |
| FIGURA 13 | LEITURA DO PRIMEIRO SENSOR DE VAZÃO. . . . .   | 32 |
| FIGURA 14 | LEITURA DO SEGUNDO SENSOR DE VAZÃO. . . . .  | 33 |
| FIGURA 15 | LEITURA DO PRIMEIRO SENSOR DE VAZÃO, LOCALIZADO ANTES DO<br>FURO . . . . .                               | 33 |
| FIGURA 16 | LEITURA DO SEGUNDO SENSOR DE VAZÃO, LOCALIZADO APÓS O FURO   | 34 |
| FIGURA 17 | LEITURA DOS SENSORES PIEZOELÉTRICOS SEM FURO . . . . .   | 35 |
| FIGURA 18 | LEITURA DOS SENSORES PIEZOELÉTRICOS COM FURO . . . . .   | 36 |
| FIGURA 19 | TESTE COM SENSOR PIEZOELÉTRICO FILME . . . . .   | 37 |
| FIGURA 20 | RESULTADOS DO EXPERIMENTO UTILIZANDO SENSOR PIEZOELÉTRICO<br>FILME . . . . .                             | 38 |
| FIGURA 21 | MONTAGEM DO EXPERIMENTO UTILIZANDO ACELERÔMETRO E SEN-<br>SOR DE FLUXO. . . . .                          | 39 |
| FIGURA 22 | RESULTADOS EXPERIMENTAIS UTILIZANDO ACELERÔMETRO E SEN-<br>SOR DE FLUXO . . . . .                        | 40 |
| FIGURA 23 | RESULTADOS EXPERIMENTAIS UTILIZANDO ACELERÔMETRO E SEN-<br>SOR DE FLUXO . . . . .                        | 42 |
| FIGURA 24 | RESULTADOS EXPERIMENTAIS E POLINÔMIO INTERPOLADOR CALCULADO<br>. . . . .                                 | 44 |



## LISTA DE QUADROS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| QUADRO 1 | ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR PIEZOELÉTRICO . . . . .               | 24 |
| QUADRO 2 | ESPECIFICAÇÕES SENSOR PIEZOELÉTRICO EM FILME . . . . .         | 26 |
| QUADRO 3 | ESPECIFICAÇÕES SENSOR ACELERÔMETRO LIS3DH . . . . .            | 29 |
| QUADRO 4 | ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR DE VAZÃO . . . . .                    | 31 |
| QUADRO 5 | RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE FLUXO DE ÁGUA E VIBRAÇÃO . . . . . | 39 |
| QUADRO 6 | CÁLCULO DE ERRO DE INTERPOLAÇÃO. . . . .                       | 43 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |  |
|------|--|
| IDE  | <i>Integrated Development Environment</i>        |
| IoT  | <i>Internet of Things</i>                        |
| ITU  | <i>International Telecommunication Union</i>     |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO   | 11 |
| 1.1   | CONTEXTUALIZAÇÃO   | 11 |
| 1.2   | OBJETIVO DO TRABALHO   | 14 |
| 1.2.1 | OBJETIVOS GERAIS   | 14 |
| 1.2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS  | 14 |
| 1.3   | JUSTIFICATIVA  | 14 |
| 1.4   | DIVISÃO DO TRABALHO  | 15 |
| 2     | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA  | 16 |
| 2.1   | REFERENCIAL TEÓRICO  | 16 |
| 2.2   | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA  | 19 |
| 3     | ESTUDO DE SENSORES   | 21 |
| 3.1   | SENSOR PIEZOELÉTRICO PASTILHA  | 24 |
| 3.2   | SENSOR PIEZOELÉTRICO EM FILME  | 25 |
| 3.3   | ACELERÔMETRO   | 27 |
| 3.3.1 | ACELERÔMETRO LIS3DH  | 28 |
| 4     | PROVA DE CONCEITO  | 30 |
| 5     | RESULTADOS EXPERIMENTAIS   | 35 |
| 5.1   | SENSOR PIEZOELÉTRICO PASTILHA  | 35 |
| 5.2   | SENSOR PIEZOELÉTRICO FILME   | 36 |
| 5.3   | ACELERÔMETRO   | 38 |
| 5.4   | ANÁLISE MATEMÁTICA   | 40 |
| 6     | CONCLUSÃO  | 45 |
|       | REFERÊNCIAS  | 46 |
|       | APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE SENSOR PIEZOELÉTRICO   | 50 |
|       | ANEXO A - CÓDIGO FONTE EXPERIMENTO COM SENSOR PIEZOELÉTRICO<br>FILME E SENSOR DE FLUXO | 51 |
|       | ANEXO B - CÓDIGO FONTE SENSOR DE FLUXO   | 53 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Internet das Coisas, em inglês *Internet of Things* (IoT), vem de uma ideia de conexão entre objetos trocando informações entre si, trazendo incontáveis possibilidades de soluções tecnológicas para problemas cotidianos. Com o crescimento populacional, muitas deficiências nos âmbitos sociais e ambientais tem ficado evidentes. Fazendo uso da tecnologia, *IoT* tem como propósito gerar respostas práticas para muitas dessas necessidades. De acordo com Wortmann e Flüchter (2015), a União Internacional de Telecomunicação, em inglês *International Telecommunication Union* (ITU), por instância definiu Internet das Coisas como "uma infraestrutura global para a Sociedade da Informação, permitindo serviços avançados a partir da interconexão (física e virtual) das coisas, baseada em informação interoperável e comunicação de tecnologias, existentes e evoluindo"(ITU 2012).

Já existem várias aplicações do conceito de conexão de objetos com a Internet, as quais, segundo Al-Fuqaha et al. (2015), incluem transporte, saúde, automação industrial e resposta emergencial para desastres naturais ou causados pelo homem, onde a tomada de decisão humana é difícil. A Figura 1 apresenta um esquemático no qual cada aplicação de domínio específico está interagindo com domínios de serviços independentes (mercados verticais), enquanto em cada domínio de sensor e atuadores se comunicam diretamente entre si (mercados horizontais).

Um sistema de *IoT* é comumente dividido em três partes: dispositivo, transmissão e armazenamento na nuvem. No primeiro item podem ser encontrados sensores para a aquisição de dados, circuito de condicionamento do sinal medido, atuadores e processador para que seja possível fazer o controle na aplicação. Na transmissão, ocorre a conexão entre o objeto e a nuvem, a partir de protocolos de comunicação. Finalmente, ao ser enviado para a "nuvem"esses dados se tornam acessáveis remotamente, e podem ser gerenciados. Neste projeto, a topologia adotada é baseada em "nodos", ou seja, o sensoriamento é feito em vários pontos, e junto com esses sensores há transmissores de dados, os quais enviam as medidas para uma central, a qual é responsável por enviar estes para a nuvem. A Figura 2 mostra uma representação do sistema proposto, o qual será apresentado de forma detalhada nos próximos capítulos.

A aplicabilidade dessa topologia é imensa, e a partir disso chegou-se a um tópico que se torna cada dia mais problemático: água potável. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS), 2016), 37% da água tratada no Brasil é perdida todo ano. Essa porcentagem é composta por perdas reais e perdas aparentes. Perda real é aquela que ocorre desde a captação até a distribuição, na forma de vazamentos ou extravasamentos. A perda aparente é a que decorre devido a furtos na rede, na forma de ligações clandestinas. Porém, estima-se que a maior causa dessa água não chegar ao consumidor é devido a perda real, ou seja, as fugas presentes nos encanamentos. Estas são

Figura 1 – Visão geral de IoT.



Fonte: (AL-FUQAHA ET AL., 2015)

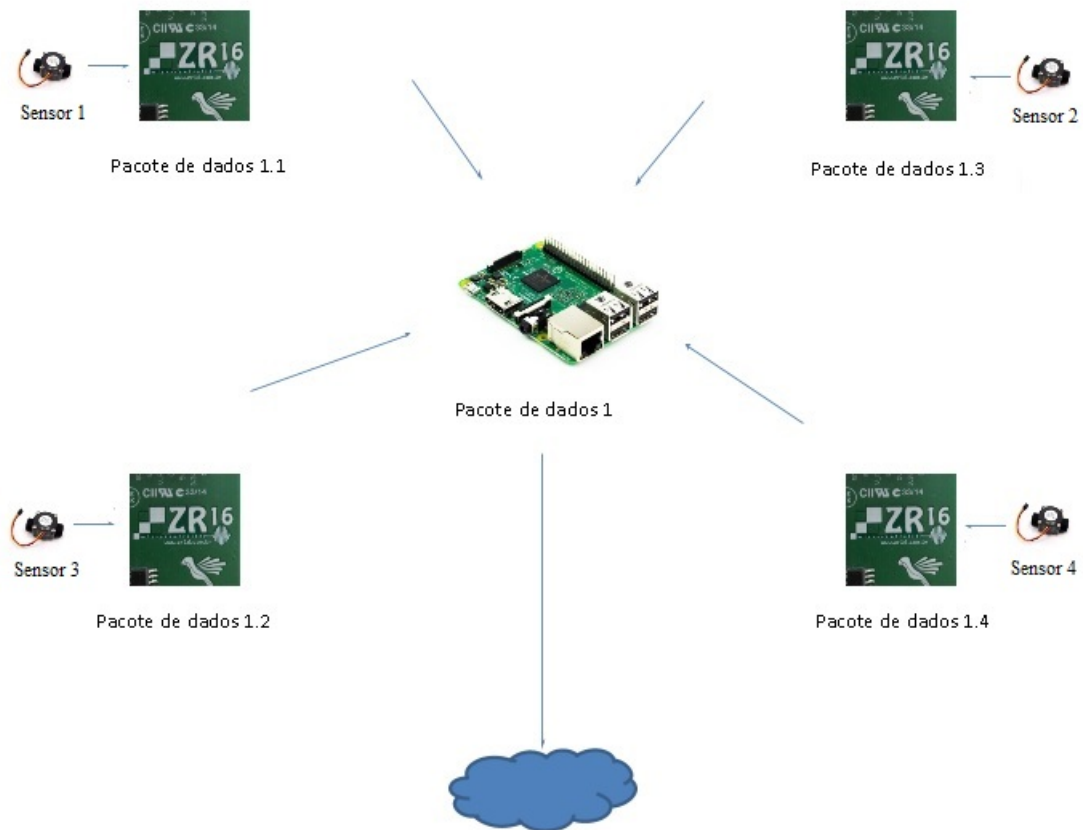
muitas vezes ocasionadas pela deterioração do sistema de distribuição do país, pelo fato de que o mesmo foi sendo construído por etapas ao longo das últimas décadas, fazendo com que hajam partes de diferentes idades.

Por décadas a única alternativa para encontrar vazamentos foi a utilização de bastões de escuta, ou *listening sticks* em inglês, que são bastões com um dos lados adaptados para que se coloque o ouvido, para escutar o som da água no encanamento, visando detectar alguma mudança sonora causada por um vazamento. Porém, este tipo de técnica é muito susceptível a falhas.

Atualmente há métodos mais eficientes, muitos baseados na análise acústica. O mais utilizado, de acordo com Moreira et al. (2011), é o correlator acústico que após a captura do sinal sonoro provocado pela fuga, em dois ou mais pontos diferentes do cano, calcula a posição relativa da fuga a partir do cálculo da diferença do tempo de chegada das duas frequências iguais. Entretanto, os equipamentos atuais ainda tem um alto custo de aquisição, o que torna inviável para uma aplicação em grande escala.

Por consequência de não haver uma forma mais barata de se detectar fugas ao longo dos milhares de encanamentos presentes no mundo todo, tem-se um desperdício muito grande.

Figura 2 – Representação do sistema de IoT proposto.



Fonte: Autor

A partir disso, surge a necessidade da elaboração de uma forma prática, inteligente e de baixo custo para detectar estas fugas, fazendo uso da Internet das Coisas (IoT).

O projeto Siga IoT surgiu com o propósito de fazer um amplo e aprofundado estudo, na busca de técnicas não invasivas de detecção de fugas de água em tubulações, proporcionando o uso destas informações em um sistema de monitoramento em tempo real, utilizando Internet das Coisas (IoT) como meio de comando e controle. Para isso, neste trabalho, foram pesquisadas formas de identificar mudança no fluxo da água, sendo considerados fatores como mudança de pressão e vazão, os quais são os mais afetados ao haver um vazamento.

A proposta é um sistema escalável de detecção de fuga de água ao longo de encanamentos, de forma não invasiva e de baixo custo. Para isso foram estudados diferentes sensores capazes de medir as variações de fluxo de água causadas por uma fuga, sendo essa uma das etapas do projeto Siga IoT, que tem como disposição a viabilização dos dados medidos em tempo real para um servidor online, assim a população poderá ter acesso a quantidade de água potável desperdiçada, fazendo com que isso se torne uma preocupação ainda maior e mensurável no dia a dia das pessoas.

## 1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo estudar meios de detectar fugas em encanamentos, para que se possa diminuir o desperdício na distribuição de água potável, fazendo uso de Internet das Coisas. O principal propósito é encontrar e validar um método de medição da diferença de fluxo de água causada em dois pontos de medidas, um antes e outro depois da fuga, de forma não invasiva.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudo teórico a cerca de medições de fluxo de água e detecção de fugas;
- Escolha de sensores que podem ser capazes de detectar alguma diferença de vazão no cano devido a uma fuga;
- Teste no Laboratório de Mecânica dos Fluídos e Hidráulica, da Universidade Federal de Santa Maria utilizando canos retos;
- Análise de resultados.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

De toda a água existente no planeta, aproximadamente 97,5% é salgada e apenas 2,5% é doce. Além de somente uma pequena parcela da água do planeta ser doce, nem toda ela é potável, ou seja, não pode ser consumida. Estes 2,5% estão distribuídos da seguinte forma:

- 68,9% encontram-se congeladas nas calotas polares e nos cumes das altas montanhas;
- 29,9 % localizam-se no subsolo, como em aquíferos;
- 0,9 % em outros reservatórios, como nuvens, vapor d'água, etc;
- 0,3% em rios e lagos.

Toda a população mundial depende dos 0,3% dispostos em rios e lagos. Apesar de a água possuir um ciclo de renovação, não está havendo tempo hábil para tal, devido ao ritmo da exploração dos recursos hídricos. Além disso, cerca de 70% de toda a água doce é utilizada em irrigação de plantações, e devido às contaminações, a maior parte não pode ser reaproveitada.

A escassez de água potável é um problema que afeta cada vez mais países. Sendo assim, tem-se como objetivo neste trabalho estudar meios de minimizar perdas desnecessárias desse recurso essencial, fazendo uso de métodos invasivos ou não invasivos de detecção de fugas

de água no sistema de distribuição, visando o menor custo e maior praticidade em um sistema composto por nodos enviando informações em intervalos de tempo para uma central, que poderá resolver o problema de uma possível fuga no menor tempo possível.

#### 1.4 DIVISÃO DO TRABALHO

No capítulo 2 será abordada a revisão bibliográfica feita para este projeto, onde são citadas as fontes mais importantes para o desenvolvimento da base teórica, além dos trabalhos já desenvolvidos na área.

No capítulo 3 serão apresentados os sensores considerados para realizar a detecção de vazão ou pressão, baseado na revisão bibliográfica.

No capítulo 4 será desenvolvida a prova de conceito, feita para que se possa obter uma relação entre a medição invasiva e precisa e o método a ser desenvolvido.

No capítulo 5 serão desenvolvidos os testes e validações de cada sensor estudado no capítulo 3.

No capítulo 6 será feita a relação entre a prova de conceito (capítulo 4) e o sensor escolhido para o sistema não invasivo, utilizando métodos matemáticos para encontrar uma função que relacione os dois valores.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

A medição do fluxo de líquidos é um fator muito importante para diversas áreas, como em indústrias químicas e sistemas de irrigação, por exemplo, que muitas vezes precisam de valores precisos. Para obter esses valores já existem diversas soluções, as quais foram estudadas nesse capítulo.

De acordo com o livro Bolton (2015), é possível utilizar dispositivos para medir a deformação de canos, e a partir dessa deformação, pode-se obter a relação entre a deformação e a pressão do fluido passando por este cano.

A piezoelectricidade é um fenômeno que ocorre com alguns cristais, como por exemplo quartz e tourmaline. Quando comprimidos ou expandidos, estes apresentam uma diferença de potencial em seus terminais. Este transdutor pode ser utilizado em um cano, que ao ter um fluido passando por ele pressiona o piezoelétrico, fazendo com que surja uma tensão no mesmo. Entretanto, para uma pressão constante, a diferença de potencial não se mantém, por isso este sensor não pode ser utilizado para medições em que a pressão seja estática. O transdutor pode ser utilizado para pressões de até aproximadamente 1000MPa.

Já na medição de fluxo de água, o livro apresenta alguns sensores invasivos, como o Tubo de Venturi. Este faz uma redução gradual do diâmetro do cano, fazendo com que tenha uma perda de pressão de 10 a 15% no sistema. A diferença entre a pressão antes e depois do estreitamento pode ser medido com um manômetro de tubo em U, e a partir disso obtém-se a vazão no cano. Os manômetros de tubo em U são utilizados para medir pressões através do equilíbrio de pressão em uma coluna de líquido. O Tubo de Venturi é bastante confiável, porém é caro e tem uma relação não linear entre pressão e a taxa de volume do fluxo.

O Tubo de Pitot é um pequeno tubo inserido no fluido, com uma abertura para cima do cano. Onde o fluido entra no cano, fica em repouso. Assim, é medida a diferença de pressão entre o fluido em fluxo normal e este ponto. Devido a energia cinética do fluido sendo transformada em energia potencial, há um aumento na pressão. A equação da energia cinética é apresentada na equação 2.1.

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (2.1)$$

Devido a isso, a velocidade é proporcional a raiz quadrada da diferença de pressão.

De acordo com o livro Bolton (2015), um fluido passando em um cano de área  $A_1$ , com velocidade  $V_1$ , tem um volume de  $A_1 \cdot V_1$ , passando por um ponto em particular em um segundo. Além disso, se o fluido passa para um cano de área  $A_2$ , devido a pressão gerada na mudança de área, tem-se a igualdade apresentada na equação 2.2.

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2.2)$$

O método mais tradicional de medição do fluxo de água consiste de um dispositivo para medir essa diferença de pressão que ocorre na conexão desses dois canos de diferentes dimensões. Para que seja calculado o fluxo a partir dessa medida é feita a relação entre elas que é dada pela equação 2.3.

$$Q = v_1 \cdot A_1 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (2.3)$$

O livro Balbinot e Brusamarello (2000) apresenta alguns medidores de fluxo não invasivos. Os medidores de fluxo por eletromagnetismo funcionam a partir de um condutor, que se move perpendicularmente ao campo magnético, induzindo uma tensão sobre o condutor proporcional à velocidade do líquido. Uma força eletromotriz (f.e.m) é gerada e descrita pela Lei de Faraday, que é dada pela variação de fluxo magnético no tempo, como apresentado na equação 2.4.

$$V_e = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (2.4)$$

Onde  $\phi_B$  é o fluxo magnético. Para calibrar esses medidores para que apresentem o fluxo volumétrico do líquido Q (L/s), tem-se a relação apresentada na equação 2.5.

$$V_e = \frac{4 \cdot B \cdot Q}{\pi \cdot D} \quad (2.5)$$

A Figura 3 apresenta um medidor de vazão eletromagnético comercial.

Figura 3 – Medidor de vazão eletromagnético



Fonte: (EMBARCADOS, 2016)

Os medidores de fluxo ultrassônicos podem ser utilizados em fluídos com massa específica constante, gerando uma onda sonora ultrassônica para determinar a velocidade média

do fluxo. Normalmente são utilizados piezoelétricos nestes transdutores, pois este metal pode converter uma energia elétrica em som (energia mecânica). O medidor de fluxo ultrassônico por tempo se baseia na diferença no tempo para um pulso ultrassônico alcançar uma certa distância (normalmente o caminho entre o primeiro e o segundo sensor), assim dois transdutores medem o tempo percorrido pelo sinal, e a diferença dessas medidas determina a velocidade do fluxo. Fontes de erro nesse tipo de medição podem ser o efeito de cavitação (bolhas de ar no líquido) e sólidos suspensos no fluido. Aplicações: meios hospitalares (equipamentos biomédicos para medição de fluxo sanguíneo) e industriais. Os tempos de transmissão dos dois sensores normalmente utilizados nessa topologia são apresentados nas equações 2.6 e 2.7.

$$t_{12} = \frac{d}{v_s + \vec{v} \cdot \cos\theta} \quad (2.6)$$

$$t_{21} = \frac{d}{v_s - \vec{v} \cdot \cos\theta} \quad (2.7)$$

Sendo  $v_s$  a velocidade do som,  $v$  a velocidade do fluido,  $\theta$  o ângulo entre os eixos do condutor e o caminho acústico,  $d$  a distância entre os dois transdutores.

A velocidade média  $\vec{v}$  do fluido ao longo do caminho é apresentada na equação 2.8.

$$\vec{v} = \frac{D}{2 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta} \left( \frac{1}{t_{21}} - \frac{1}{t_{12}} \right) \quad (2.8)$$

Sendo  $D$  o diâmetro do cano.

Além do medidor ultrassônico baseado no tempo, há o baseado no efeito Doppler, que tem menor precisão comparado ao anterior. Esse método consiste no deslocamento de um sinal com frequência ultrassônica no líquido, e a partir de alguma descontinuidade, como sólidos e bolhas, o sinal é refletido até o receptor. Devido a velocidade do líquido, há uma frequência deslocada que é proporcional à velocidade. A velocidade do fluxo  $\vec{v}$  é determinada a partir da equação 2.9.

$$\vec{v} = \frac{(f_0 - f_1) \cdot C_t}{2 \cdot f_0 \cdot \cos\theta} \quad (2.9)$$

Sendo  $C_t$  a velocidade do som na superfície do transdutor,  $f_0$  a frequência de transmissão,  $f_1$  a frequência refletida e  $\theta$  o ângulo dos cristais transmissores e receptores com relação ao eixo da tubulação. A Figura 4 apresenta um medidor de vazão ultrassônico comercial.

Figura 4 – Medidor de vazão ultrassônico



Fonte: (SANESOLUTI, 2018)

## 2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como forma não invasiva, Nery e Pastore (2017) desenvolveu o método de medição de vazão de baixo custo utilizando piezoelétricos de forma satisfatória, analisando a deformação e vibração causadas pela turbulência do escoamento da água no cano, com foco em aplicações residenciais. Porém, ele concluiu que os resultados para pequenas vazões em trecho reto não foram satisfatórios.

No artigo Sadeghioon et al. (2014) foi desenvolvido um método de detecção de fuga de água de forma não invasiva, utilizando sensores FSR (Force Sensing Resistor). O resistor de detecção de força pode ser definido como um tipo especial de resistência, feita de um polímero condutor, que pode variar de acordo com a variação de força aplicada na sua superfície. Foi apresentado um método de medição de pressão não invasivo ao encanamento, capaz de detectar uma queda de pressão causada pela fuga diferente nos pontos de medição antes e depois do local do vazamento, sendo possível detectar aproximadamente o local da fuga.

Em sua dissertação de mestrado, Gumier et al. (2005) propôs um modelo matemático capaz de localizar fugas criadas artificialmente no sistema de distribuição, utilizando um acoplamento de um simulador hidráulico baseado no Time Marching Approach - TMA.

Em sua tese de doutorado, Manzi et al. (2017) propõe a detecção dessas fugas de água a partir da avaliação de três métodos de localização de novos vazamentos e suas vazões a partir do treinamento de Redes Neurais Artificiais com características dos sinais transitórios observados em novos eventos. A partir disso, ele concluiu que os sinais de pressão provocados pelos rompimentos em redes de distribuição estão diretamente relacionados com a detecção dessas fugas, além de sua intensidade e localização.

Em sua dissertação de mestrado, Sousa et al. (2007) propôs a detecção e análise de pres-

são e ruído sonoro causado por vazamentos em uma tubulação, utilizando transdutor de pressão e microfone. Foi concluído que o ruído e a queda de pressão causados pela fuga variam de acordo com o tamanho do orifício desta, sendo que os de maior diâmetro apresentaram um som mais grave e uma queda de pressão mais brusca, e os menores, mais agudo e com queda de pressão mais suave. Além disso, foi observado que o método acústico apresentou maior eficiência na detecção de vazamento com relação ao método da análise do transiente de pressão.

No artigo MEDEIROS, BARBOSA e OLIVEIRA (2017), foi desenvolvido um sistema de medição não intrusivo utilizando acelerômetros para medir a vibração induzida no cano devido ao seu fluxo, estimando assim a vazão a partir do desvio padrão dessa medição. Os resultados obtidos foram considerados viáveis para a aplicação proposta, pois os erros estavam dentro dos requisitos de calibração ditados pela Portaria INMETRO n° 246 (2000).

### 3 ESTUDO DE SENSORES

Segundo a reportagem Ferraz (2014), devido a furtos, ligações irregulares ou perdas por rompimento da tubulação, cerca de 37% da água que é tratada e distribuída pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) não chega à casa do consumidor gaúcho. Ainda segundo a reportagem, a maior quantidade de perda se dá devido ao rompimento das tubulações, as quais tem uma dimensão de aproximadamente 24 mil quilômetros distribuídos em 320 municípios gaúchos.

A busca de uma solução para esse problema começa com a definição do sistema responsável por detectar essas fugas. Este sistema deve medir as informações em tempo real nos encanamentos, transmitir esses dados para uma central, que será responsável por armazenar essas informações na nuvem, onde qualquer pessoa pode acessar de forma online de sua casa. Segundo o site Services (2018), o armazenamento na nuvem é um modelo de computação em nuvem que armazena dados na Internet por meio de um provedor de computação na nuvem, que gerencia e opera o armazenamento físico de dados como serviço. O fluxograma apresentado na 5 ilustra as etapas propostas para o projeto.

Na Figura 5, está ilustrado a medição de dados pelo sensor alocado em um cano pelo qual está passando água. O sinal do sensor passa por um condicionamento, para que possa ser lido pelo microcontrolador ZR16. Conectado a este, há um módulo transmissor, que, ao ser habilitado, irá transmitir essas informações para a *Single Board Computer* (SBC) Raspberry Pi, a partir de um módulo receptor acoplado ao mesmo, e então esses dados serão armazenados na nuvem.

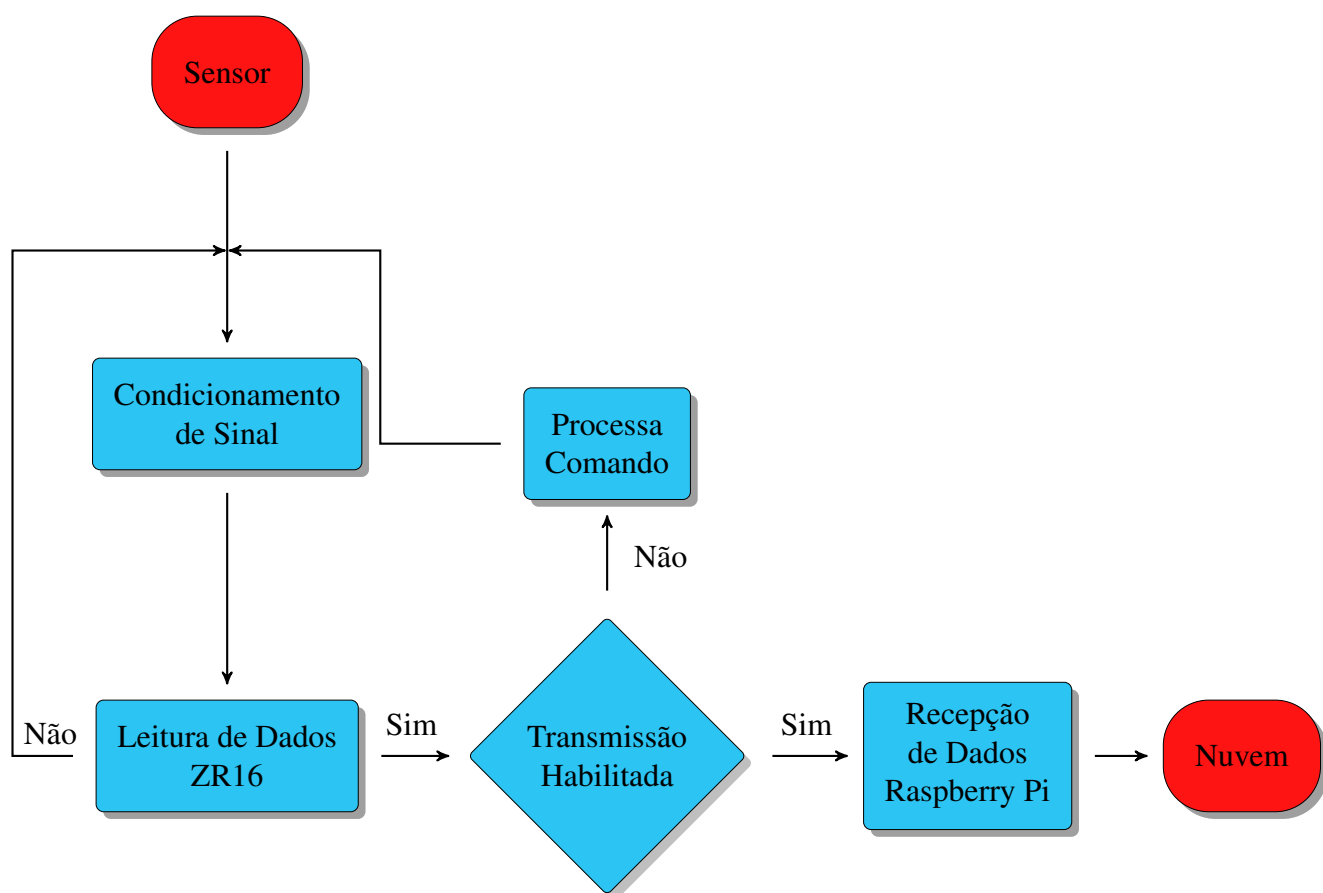
O bloco sensor representa uma rede de sensores, sendo que cada sensor, junto ao circuito de condicionamento, ZR16 e módulo transmissor são um "nodo" do sistema, que estarão enviando em tempo real esses dados para a central, composta pelo módulo receptor e Raspberry Pi, e ao colocar essas informações online, se obtém um sistema de Internet das Coisas (IoT).

Neste projeto serão estudados e definidos os primeiros dois blocos do fluxograma, que abrangem a aquisição e condicionamento de dados. Será realizado um estudo acerca de sensores, invasivos e não invasivos, além de topologias para que esses sensores possam ser conectados ao microcontrolador.

Um sistema de distribuição de água se apresenta, de forma genérica, como apresentado na Figura 6.

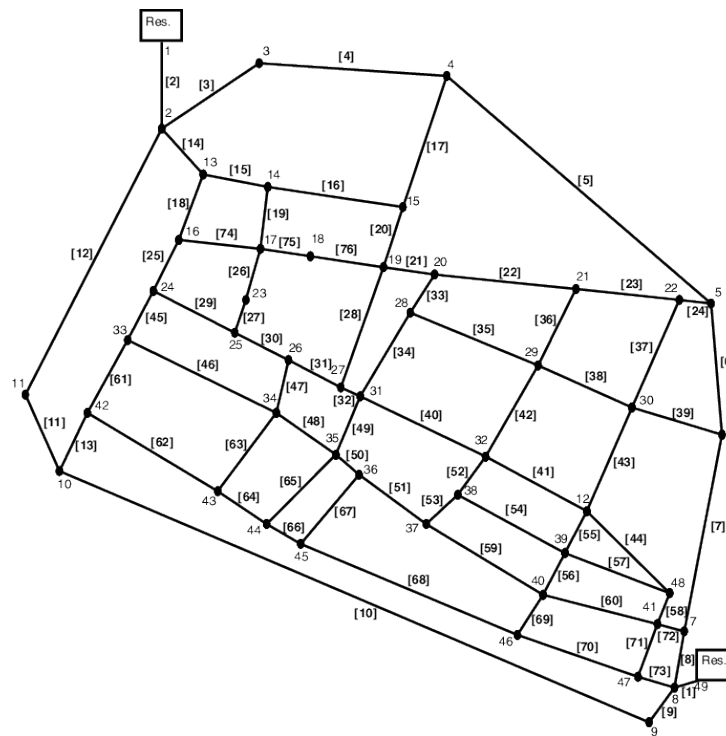
Em um certo nó do sistema, em condições normais, o fluxo que entra deve ser igual ao fluxo que sai. Porém, se esse valor difere é possível constatar que há uma fuga de água entre os dois pontos de medição. A partir disso, constata-se que ao distribuir sensores ao longo do encanamento, e mapeá-los, é possível descobrir não só que há uma fuga, mas também encontrar a localização aproximada da mesma.

Figura 5 – Fluxograma do sistema proposto



Fonte: Autor

Figura 6 – Sistema de distribuição de água genérico.



Fonte: (CREACO, 2010)



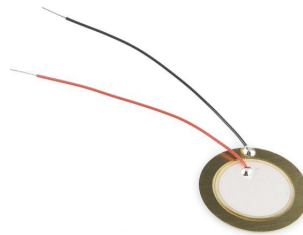
### 3.1 SENSOR PIEZOELÉTRICO PASTILHA

Quando há o vazamento em um cano, a água flui para fora, fazendo com que ocorram vibrações no cano e no seu entorno. Este ruído é transmitido ao longo do encanamento, viajando por até centenas de metros em todas as direções. Esta vibração causada pelo som nos encanamentos pode ser detectada pelo sensor que utiliza cristal piezoelétrico.

O efeito piezoelétrico foi descoberto em 1880, por dois físicos franceses, os irmãos Pierre e Paul-Jacques Curie. Os cristais piezoelétricos são capazes de emitir uma onda mecânica quando é aplicada uma diferença de potencial no mesmo. De forma análoga, ao ser aplicada uma compressão ou expansão neste tipo de cristal ele gera uma diferença de potencial no seu entorno, ou seja, este sensor consegue mensurar uma pressão aplicada em sua superfície.

A pastilha piezoelétrica estudada inicialmente é apresentada na Figura 7.

Figura 7 – Sensor de vibração piezoelétrico.



Fonte: (ELECTROFUN, 2017)

As especificações do sensor são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações do sensor piezoelétrico

| <b>Especificações</b>              |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| Frequência Ressonante (kHz)        | 4,6 +/- 0,5kHz               |
| Impedância Ressonante ( $\Omega$ ) | 300 max                      |
| Capacitância (nF)                  | 20,0 +/- 30 por cento [1kHz] |
| Dimensões                          | 27,0 mm x 0,33mm             |

Fonte: (ELECTROFUN, 2017)

Entre as aplicações da pastilha piezoelétrica está a ultrassonografia, onde um transdutor que contém um cristal piezoelétrico é responsável por emitir ondas ultrassônicas e depois receber os ecos gerados, os transformando em sinais que serão lidos por um computador. Além disso, são cada vez mais utilizadas na área de robótica e mecatrônica.

### 3.2 SENSOR PIEZOELÉTRICO EM FILME

O Sensor Piezoelétrico Filme é um sensor maleável, capaz de abranger uma superfície do cano maior do que a pastilha piezoelétrica, por ser flexível e se adaptar à curvatura do mesmo. Este sensor é constituído de polímero flexível PVDF e é laminado, para gerar uma tensão maior de saída. O sensor é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Sensor piezoelétrico em filme



Fonte: (CONNECTIVITY, 2017)

Este sensor produz mais do que 10mV por *microstrain*. *Microstrain* é uma medida utilizada para valores muito pequenos de deformação e equivale a  $\varepsilon \cdot 10^{-6}$ , sendo  $\varepsilon$  a relação entre a variação do comprimento do objeto e seu comprimento inicial, como apresenta a Equação 3.1.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.1)$$

Sendo L o comprimento do material/objeto. De acordo com o datasheet disponibilizado em Connectivity (2017), o sensor pode ser aderido à superfície desejada com uma fita dupla-face ou epoxy. Algumas especificações são apresentadas no quadro 2.

A partir dessas especificações é possível perceber que será necessário condicionar o sinal de saída do sensor antes de ele entrar no microcontrolador Arduino, devido a tensão de saída poder variar de milivolts à centenas de volts, e a entrada do Arduino suportar até 5V nas suas entradas.

Para utilizar o sensor com o Arduino, o método mais utilizado é a alocação de um resistor de  $1M\Omega$  em paralelo com o mesmo, como é apresentado na Figura 9.

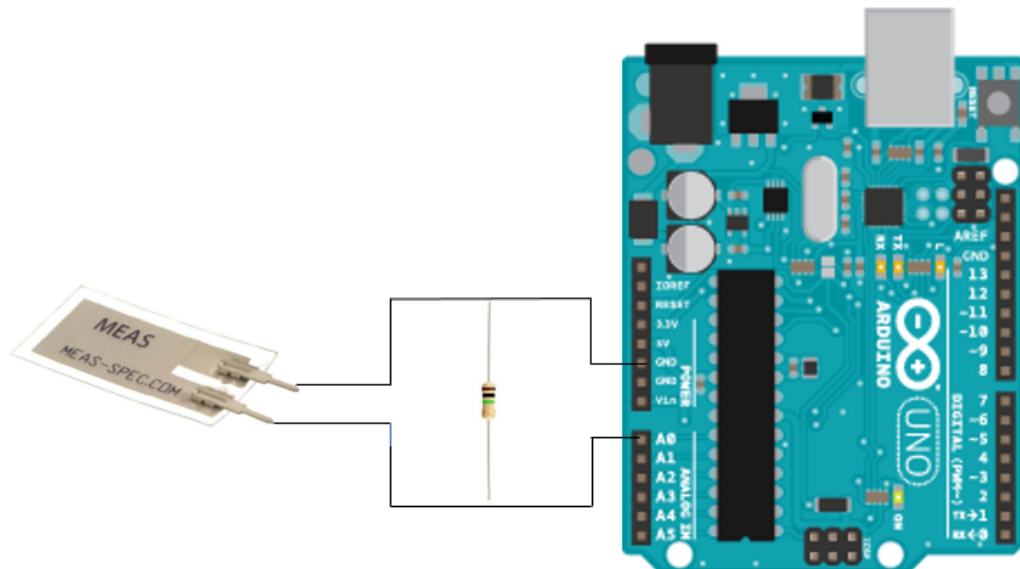
Este sensor tem sido bastante utilizado em estudos com aplicações médicas, como monitoramento de respiração e batimento cardíaco durante o sono.

Quadro 2 – Especificações sensor piezoelétrico em filme

| <b>Especificações</b>        |             |
|------------------------------|-------------|
| Modelo                       | LDTM-028K   |
| Impedância Mínima de Entrada | 1M $\Omega$ |
| Tensão de Saída              | mV até >70V |
| Temperatura de Operação      | 0°C a 85°C  |

Fonte: (CONNECTIVITY, 2017)

Figura 9 – Circuito para conexão entre sensor piezoelétrico e Arduino



Fonte: Autor

### 3.3 ACELERÔMETRO

De forma análoga à estudada nas seções anteriores, um cano vibra ao ter fluxo de água no seu interior. Assim sendo, detectar essa vibração tende a parecer uma boa solução para métodos não invasivos. Entretanto, o maior empecilho nessa metodologia é a precisão que um sensor precisa ter para detectar vibrações tão pequenas

De acordo com o site Sparkfun (2018), os acelerômetros são dispositivos eletromecânicos capazes de sentir forças estáticas, como a gravidade, ou dinâmicas, como vibrações e movimento.

O acelerômetro pode ser constituído de placas capacitivas no seu interior, algumas fixas e outras móveis, de forma que e ao estar exposta a aceleração, as mesmas se movimentam mudando a capacitância entre elas, sendo assim possível determinar a aceleração. Os acelerômetros também podem ser constituídos de material piezoelétrico, o qual, como apresentado na seção anterior, gera uma tensão a partir de uma deformação.

Atualmente este sensor é utilizado em inúmeras aplicações na indústria e na ciência. Ele está presente, por exemplo, nos notebooks, onde é responsável por proteger o disco rígido, pois ao detectar um movimento de queda, o disco é imediatamente desligado para evitar maiores danos. Outra aplicação muito difundida destes sensores são em carros, para que detectem uma batida e seja possível acionar o *airbag* praticamente de forma instantânea. Além disso, os acelerômetros estão presentes em praticamente todos os *smartphones*, o que faz com que andemos com eles todos os dias e o utilizemos sem perceber. Sendo assim, foi possível testar se o sensor acelerômetro seria capaz de detectar uma variação de fluxo de água utilizando um celular.

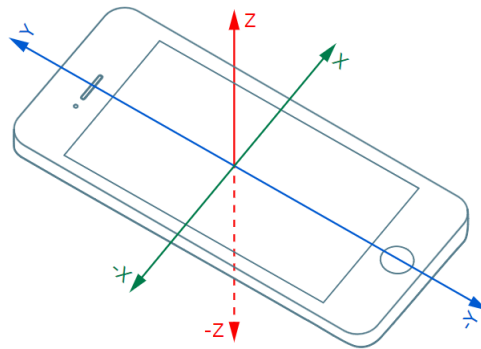
A utilização de *smartphones* para experimentos que fazem uso do acelerômetro foi estudado na tese de mestrado de VIEIRA e AGUIAR (2013), onde eles sugerem também o uso de dois aplicativos para que seja possível visualizar os dados medidos, são eles: *Acceleration* (Indiana University) e o *Sparkvue* (Pasco). O primeiro está disponível apenas na *Apple Store*, por isso o aplicativo que será utilizado neste projeto é o *Sparkvue*, disponível na *Google Play Store*, sem custos.

Um sensor acelerômetro mede aceleração, que é a taxa de variação da velocidade com relação ao tempo, sendo dada em metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ). Nestes sensores há três entradas: x, y e z, onde está contida a aceleração do dispositivo em torno desses eixos. Os valores lidos são convencionados com os sentidos apresentados na Figura 10.

Para que seja possível a aplicação em larga escala do sistema de medição de fluxo não intrusivo, é necessário que este seja de baixo custo. Por isso, utilizando o aplicativo de celular *Accelerometer*, também disponível na *Google Play Store*, foi possível descobrir que o acelerômetro presente no celular é o LIS3DH, utilizado para o experimento. A figura 11 apresenta o resultado exibido pelo aplicativo.

Na imagem são apresentados os sensores presentes no *smartphone* identificados pelo

Figura 10 – Representação vetorial do modo de leitura realizado por acelerômetros em *smartphones*



Fonte: (W3C, 2018)

aplicativo. O primeiro deles é o sensor Acelerômetro, acerca do qual são apresentadas as seguintes informações.

- Nome: LIS3DHTR
- Fornecedor: ST Microelectronics
- Versão: 1
- Resolução: 0,0012
- Alcance máximo: 78,4532
- Potência: 0,001mW

O sensor acelerômetro LIS3DHTR será apresentado na subseção 3.3.1.

### 3.3.1 Acelerômetro LIS3DH

O acelerômetro LIS3DH é um sensor de alta performance, com baixo consumo e três eixos de leitura, x, y e z. Dentre suas aplicações estão detecção de queda livre, monitoramento de vibração e contador de passos. Suas principais especificações são apresentadas no Quadro 3.

Figura 11 – Informações obtidas no aplicativo *Accelerometer*.



Quadro 3 – Especificações sensor acelerômetro LIS3DH

| <b>Especificações</b>      |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| Modelo                     | LIS3DHTR              |
| Tensão de alimentação      | 1,71V até 3,6V        |
| Consumo                    | 2 $\mu$ A - 185 $\mu$ |
| Dados de saída             | 16 bit                |
| Taxa de aquisição de dados | 1Hz à 5kHz            |

Fonte: (2010)

#### 4 PROVA DE CONCEITO

Quando há uma fuga ao longo do encanamento, há uma mudança no fluxo de água, que antes era constante e após a fuga se torna menos intensa.

A medição do fluxo de água pode ser feita de forma invasiva utilizando os sensores de fluxo de água YF-S201. Este sensor é constituído por um corpo de plástico, um rotor com uma turbina com pás magnéticas e um sensor de efeito Hall. Ao se ter um fluxo de água no rotor, as pás da turbina irão rotacionar e cada vez que uma turbina passa pelo sensor de efeito Hall, alocado num ponto fixo acima do rotor, há uma interação entre os campos magnéticos. A cada interação, o sensor de efeito Hall gera um pulso, portanto quanto mais água fluir através do rotor, maior a frequência de pulsos. Sendo assim, é feita a relação entre os pulsos e a vazão de água no cano. O sensor de fluxo de água e suas especificações são apresentados na Figura 12 e Quadro 4, respectivamente.

Figura 12 – Sensor de vazão YF-S201.



Fonte: (ELETRÔNICOS, 2017)

Para realizar a leitura dos pulsos gerados pelo sensor, fez-se necessário o uso de um microcontrolador. Foi escolhido o Arduino UNO para a realização dos testes, por ter um baixo custo e programação simples. O código fonte do programa está presente no Anexo B.

Para testar a capacidade do sistema de identificar uma fuga de água em um encanamento, foi realizado um teste utilizando dois sensores de fluxo de água, dispostos antes e depois do local onde seria feito o furo no cano, para simular uma fuga. Além disso, foram utilizados dois microcontroladores Arduino, um conectado em cada sensor, para que se pudessem visualizar os dados dos dois sensores ao mesmo tempo. Os dados foram plotados em um gráfico, em tempo real, utilizando a ferramenta "Serial Plotter", disponível na versão 1.8.5 da IDE Arduino®.

Foram utilizados para este experimento os seguintes itens:

Quadro 4 – Especificações do sensor de vazão

| <b>Especificações</b> |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| Modelo                | YF-S201               |
| Faixa de Trabalho     | 1-30L/min             |
| Pressão de Água       | $\leq 1.75\text{Mpa}$ |
| Marca                 | Sea                   |

Fonte: (ELETRÔNICOS, 2017)

- Cano PVC 1/2";
- Dois sensores de vazão YF-S201;
- Dois microcontroladores Arduino UNO;
- Dois notebooks.

Inicialmente, foi analisado se os dois sensores identificavam a mesma vazão ao longo do cano, pois devido a ruídos poderiam ocorrer erros de medição. Um dos possíveis ruídos está ligado à inserção do próprio sensor ao cano, que causa uma pequena mudança física nos pontos de conexão, podendo assim inserir uma perturbação no fluxo da água. Além disso, fatores como cavitação, que é a formação de bolhas de vapor devido a redução da pressão, causado por um aumento na velocidade do fluido, também podem inserir erros à medição.

As Figuras 13 e 14 apresentam os gráficos plotados em tempo real durante o experimento, onde o eixo x é o tempo, em segundos, e eixo y representa o fluxo de água, em litros/hora, do sensor 1 e 2, respectivamente, alocados ao longo do cano.

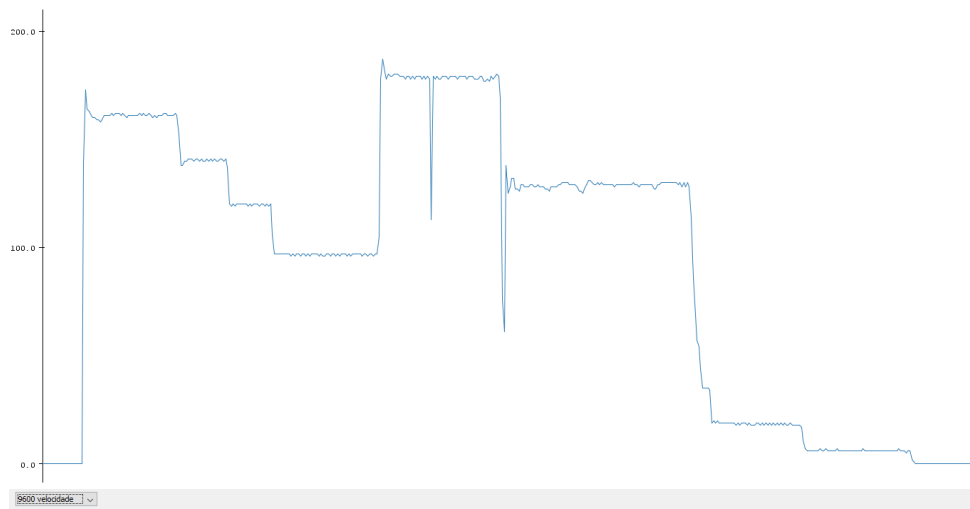
É possível observar que os dois resultados estão praticamente iguais, exceto por um pequeno ponto, onde, por erro humano, houve uma pequena interferência na medição do primeiro sensor. Além disso, as escalas dos gráficos estão diferentes pois o experimento foi realizado utilizando dois computadores e diferentes.

Para testar se o sistema seria capaz de detectar uma fuga de água, foi feito um pequeno furo no cano, entre os dois sensores. Os gráficos das medições em tempo real dos sensores 1, localizado antes do furo, e 2, após o furo, respectivamente, gerados pelo software Arduino, são apresentados nas Figuras 15 e 16, sendo que no eixo y está representada a tensão em volts de saída do sensor e no eixo x o tempo, em segundos.

Com estes resultados é possível notar que houve uma pequena queda na linha do gráfico do sensor 2, que ocorreu no momento em que foi feito o furo no cano. Sendo assim, fica comprovado que é possível detectar fugas de água nos encanamentos fazendo uso de sensor invasivo, de forma eficiente. Ao aplicar essa topologia em um sistema maior, é estimado que



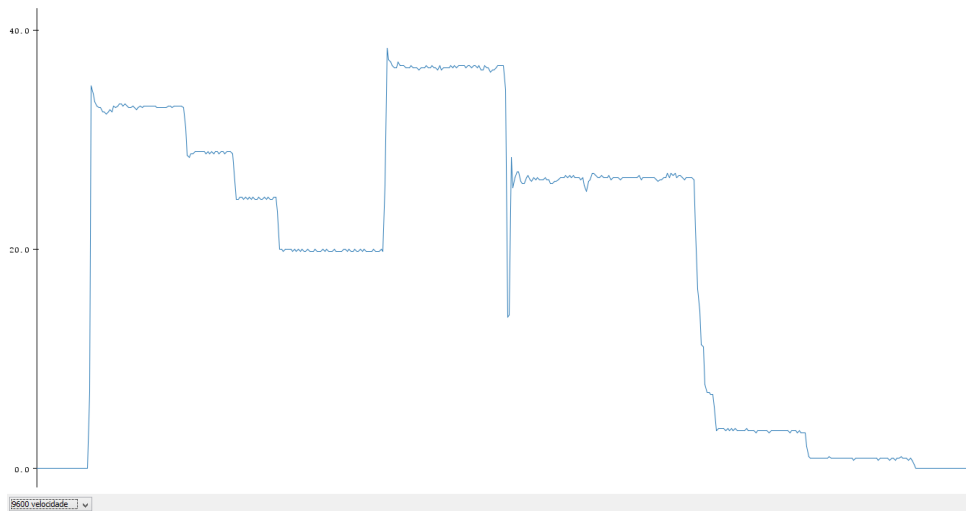
Figura 13 – Leitura do primeiro sensor de vazão.



Fonte: Autor

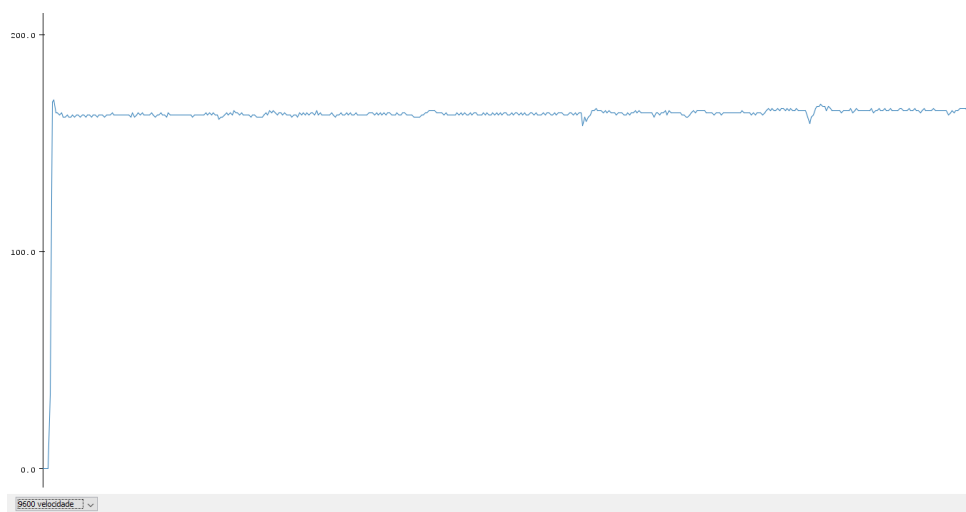
seja possível, comparando os sensores próximos um do outro, localizar com certa precisão o local da ocorrência de um vazamento, facilitando assim seu conserto. Esta precisão dependerá da quantidade de sensores alocados no sistema, e suas distâncias entre si.

Figura 14 – Leitura do segundo sensor de vazão.



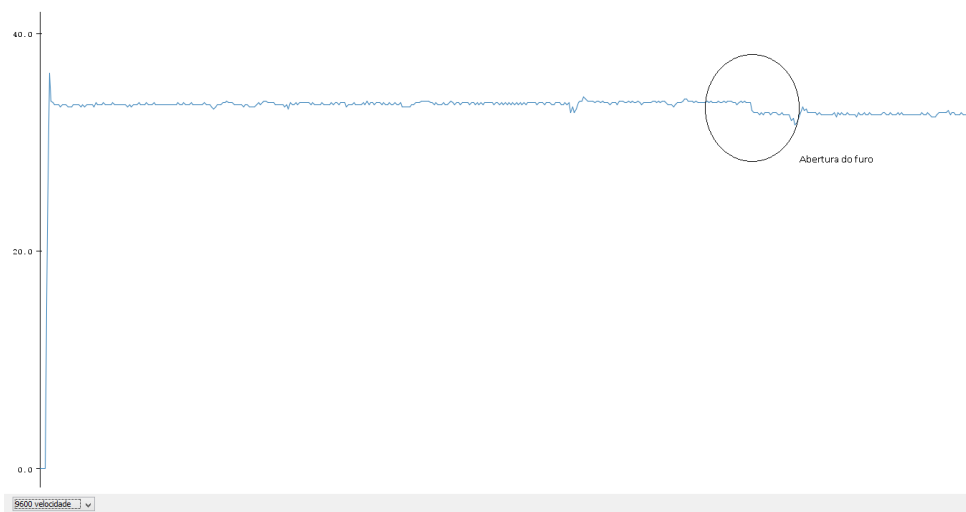
Fonte: Autor

Figura 15 – Leitura do primeiro sensor de vazão, localizado antes do furo



Fonte: Autor

Figura 16 – Leitura do segundo sensor de vazão, localizado após o furo



Fonte: Autor

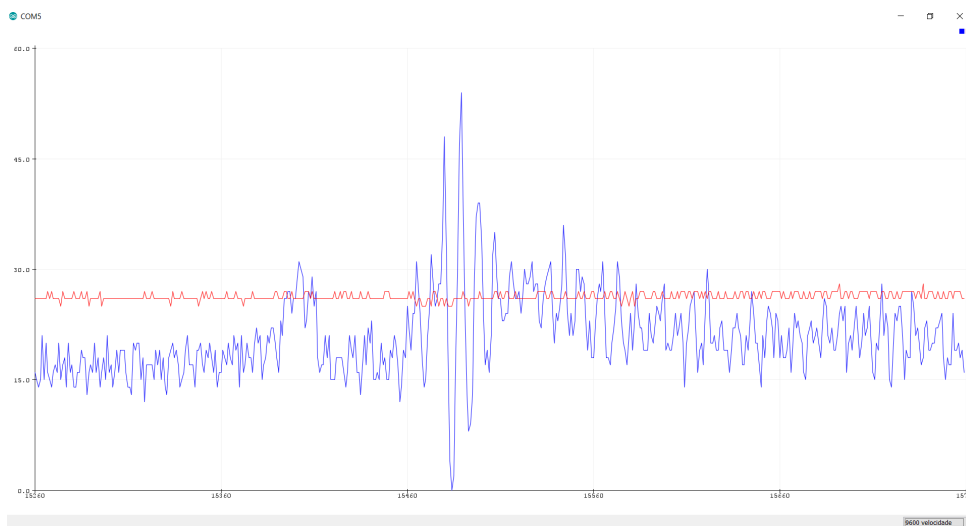
## 5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para a realização de testes experimentais, foi inicialmente utilizado o Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos da Universidade Federal de Santa Maria, onde há possibilidade de realizar experimentos com os sensores utilizando água. Porém, devido aos muitos ruídos encontrados no Laboratório as leituras foram afetadas.

### 5.1 SENSOR PIEZOELÉTRICO PASTILHA

O teste com o sensor piezoelétrico foi realizado colocando dois sensores alocados nas duas extremidades do cano, como no experimento com o sensor de fluxo invasivo. Para colar os sensores foi utilizado a cola Durepoxi. Para a leitura dos sensores foi utilizado o microcontrolador Arduino, e o gráfico foi gerado a partir da ferramenta Serial Plotter disponível no software do microcontrolador. O código utilizado para o experimento é apresentado no Apêndice A. A Figura 17 apresenta a leitura dos dois sensores, sendo o eixo x o tempo em segundos e o y a tensão de saída do sensor na escala de resolução de leitura do Arduino, que é de 10 bits. Um sensor foi colado no início do cano, na cor vermelha e outro na cor azul, colado no final do cano, com passagem de fluxo constante e antes de ser feito o furo entre os dois.

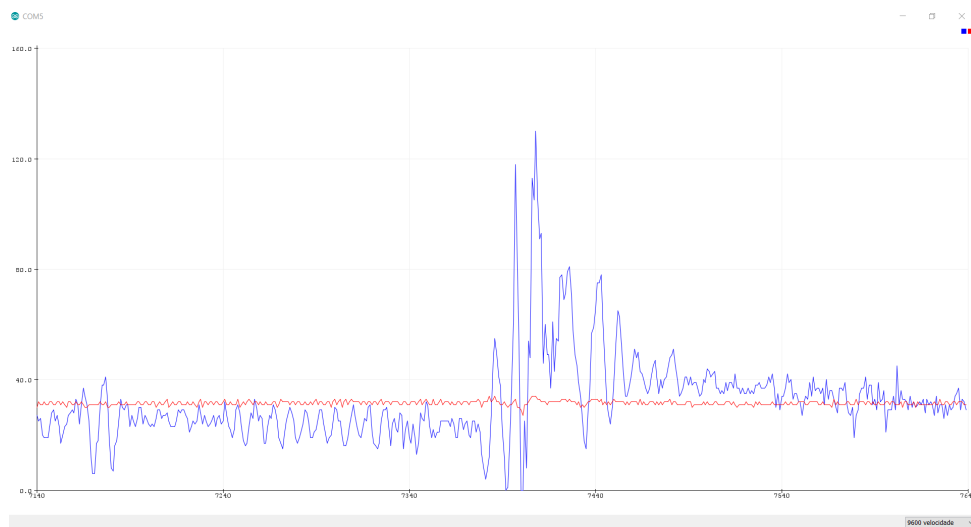
Figura 17 – Leitura dos sensores piezoelétricos sem furo



Fonte: Autor

Na Figura 18 é apresentada a leitura dos dois sensores, com passagem de fluxo constante, após a realização do furo. Na imagem, a cor azul representa o sensor após o furo e a cor vermelha o sensor antes do furo.

Figura 18 – Leitura dos sensores piezoelétricos com furo



Fonte: Autor

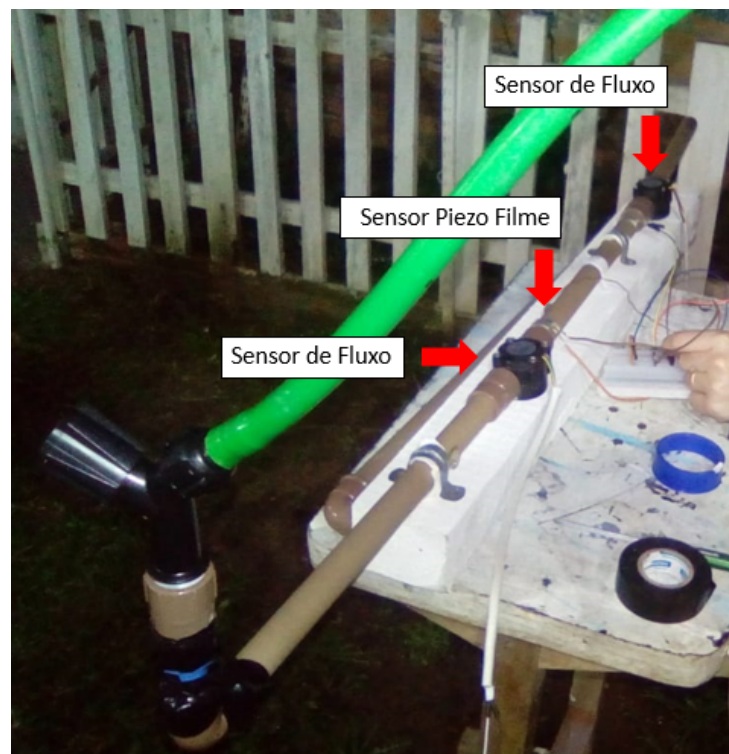
A partir desses resultados, é possível notar que o sensor representado pela cor vermelha não teve muita variação, e o sensor de cor azul apresenta certa variação no momento do furo, e depois volta a estabilizar. Com isso, a pastilha piezoelétrica pode não ser uma boa escolha para essa aplicação, pois normalmente é utilizada para detecção de impactos e não de medições com pequenas variações de amplitude.

## 5.2 SENSOR PIEZOELÉTRICO FILME

Este sensor, por ter uma estrutura maleável e poder se adaptar à estrutura arredondada do cano apresenta, a princípio, maiores chances de precisão na leitura de vibrações causadas pela passagem de água no cano com relação à pastilha piezoelétrica. O cano foi preso à uma estrutura de madeira para que não se movesse, simulando assim uma situação onde o cano está sob a terra, como ocorre no sistema de distribuição de água urbano. A Figura 19 apresenta a forma como foi realizado o teste.

Inicialmente, foi feito um experimento medindo a quantidade de vazão de forma precisa, em litros por hora, utilizando o sensor invasivo YF-S201 e a saída do sensor piezoelétrico filme, para que pudesse ser feita uma relação entre os dois, e também para que fosse provado que o sensor não invasivo é capaz de detectar mudança de fluxo. O código utilizado para o experimento é apresentado no Anexo A. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 20, o qual foi gerado no programa Excel a partir dos valores lidos pelo microcontrolador Arduino UNO, ignorando os valores zero do sensor piezoelétrico para melhor visualização, sendo a cor azul a representação do sensor de fluxo YF-S201, enquanto a cor laranja representa as leituras

Figura 19 – Teste com sensor piezoelétrico filme

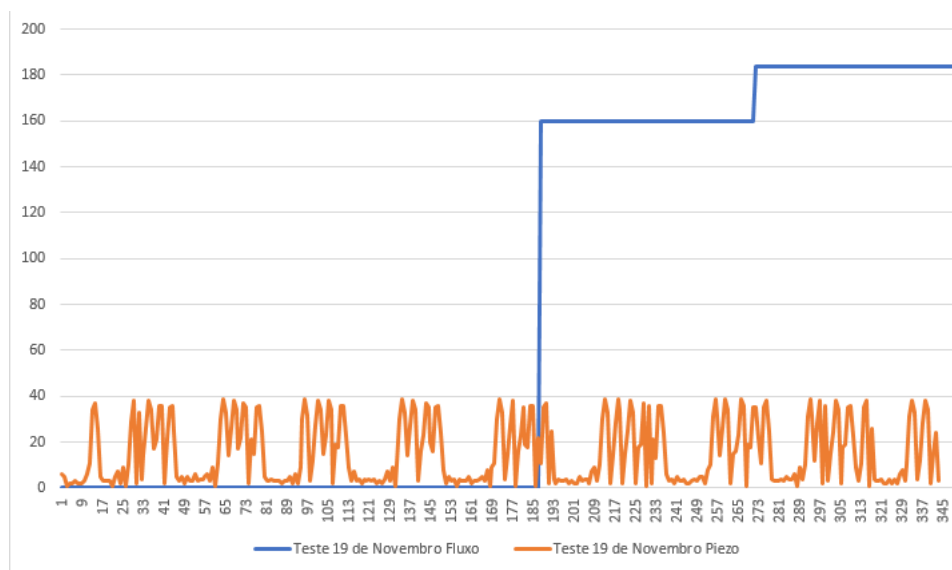


Fonte: Autor

do piezoelétrico. No eixo x está representado o tempo, em segundos, enquanto no eixo y são os valores de saída dos sensores, o qual para o sensor de fluxo é litros/hora e o sensor piezoelétrico tensão em volts.

Como é possível observar na Figura 20, mesmo o sensor piezoelétrico filme não é sensível o suficiente para detectar mudança na vibração causada pela passagem de água neste tipo de cano e nas condições do experimento. É possível que em um sistema real onde há interferência de várias torneiras sendo abertas e fechadas, causando variações de fluxo e pressão mais frequentes, e para um cano de maior diâmetro, seja possível detectar essa variação de vibração que tende a ser mais evidente.

Figura 20 – Resultados do experimento utilizando sensor piezoelétrico filme



Fonte: Autor

### 5.3 ACELERÔMETRO

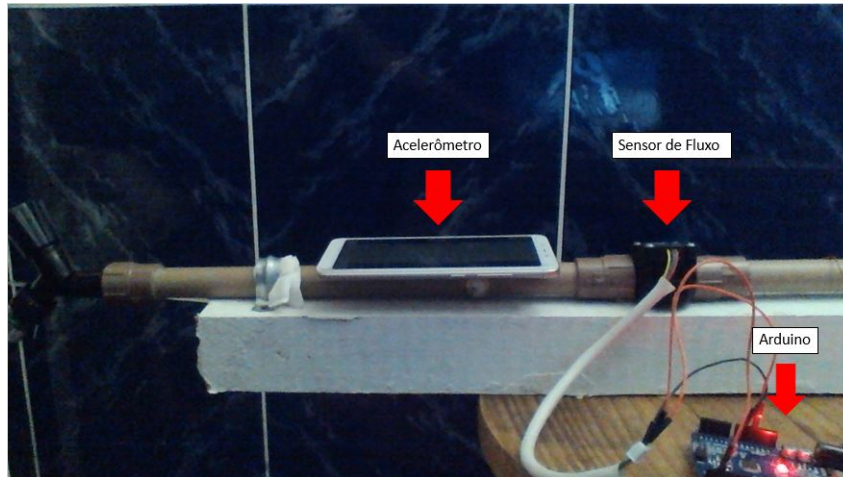
Para realizar testes com o acelerômetro foi utilizado um celular, no qual foi instalado um aplicativo chamado *Sparkvue*, que é gratuito e está disponível na *Google Play Store*. A vibração é um movimento oscilatório em torno de uma posição de referência, sendo assim, este aplicativo mede a taxa de aceleração das vibrações mecânicas em função do tempo ( $m/s^2$ ), neste caso, causadas pelo fluxo de água. O aplicativo utiliza o sensor acelerômetro presente no *smartphone* para medir a aceleração em três direções, x, y e z. Como resultado ele apresenta esses três valores e também a aceleração resultante, que é o módulo do vetor resultante das acelerações dadas em cada coordenada, conforme apresenta a equação 5.1.

$$a_{res} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (5.1)$$

O experimento foi realizado utilizando o microcontrolador Arduino UNO e o sensor de fluxo invasivo YF-S201, para realizar a leitura de vazão em litros por hora de forma precisa. Para medir a vibração em  $m/s^2$ , o aplicativo *Sparkvue* foi aberto no celular e então foram escolhidas as melhores configurações para o experimento, como forma de visualização de dados e precisão de 8 números depois da vírgula. Feito isso, o celular foi equilibrado em cima do cano, e então foi dado início ao experimento. Inicialmente foi medido o valor da aceleração sem fluxo no cano, sendo esse valor o da aceleração da gravidade, e então foi-se aumentando o fluxo de água até o limite, nas condições do experimento, de  $240L/hora$ . Os dados medidos pelo aplicativo

foram exportados no formato de arquivo de texto por email. A montagem para realização do experimento é apresentada na figura 21.

Figura 21 – Montagem do experimento utilizando acelerômetro e sensor de fluxo.



Fonte: Autor

Foi realizada uma média dos valores medidos de aceleração resultante para cada intervalo de vazão constante lida pelo sensor de fluxo, os resultados são apresentados na Tabela 5.

Quadro 5 – Resultados experimentais de fluxo de água e vibração

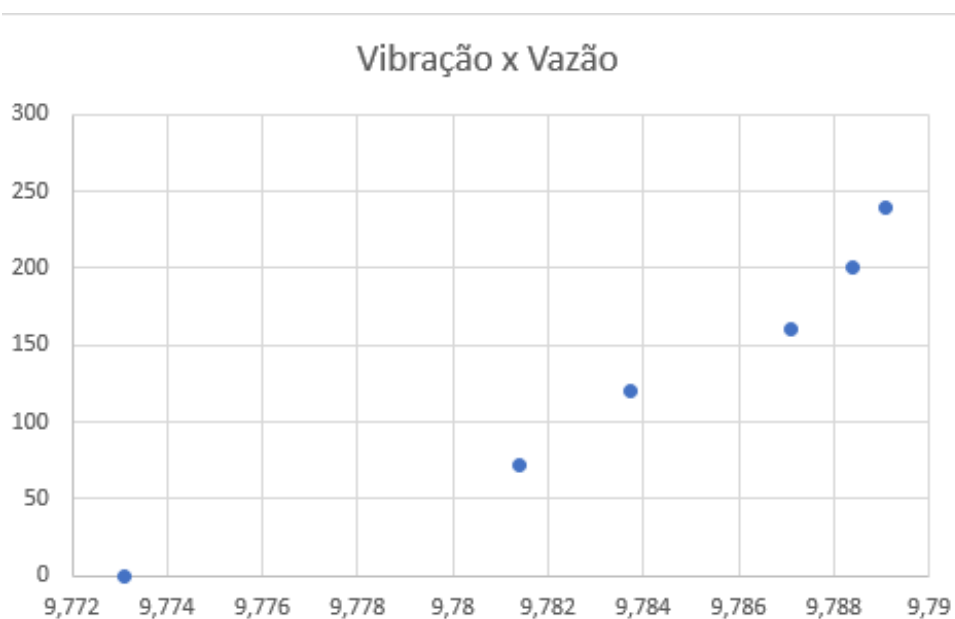
| Vazão (L/h) | Vibração ( $m/s^2$ ) |
|-------------|----------------------|
| 0           | 9,77308272           |
| 72          | 9,781409013          |
| 120         | 9,783747955          |
| 160         | 9,787079435          |
| 200         | 9,788392556          |
| 240         | 9,789103456          |

Fonte: Autor

Os valores de vibração lidos no experimento para cada valor de vazão foram plotados, utilizando o software Excel, sendo eles representados eixo x do plano cartesiano, e vazão no eixo y. O resultado visual é apresentado no gráfico 22.



Figura 22 – Resultados experimentais utilizando acelerômetro e sensor de fluxo



Fonte: Autor

#### 5.4 ANÁLISE MATEMÁTICA

Os dados empíricos adquiridos no experimento serão utilizados para encontrar uma equação que represente o comportamento dos dados para valores não medidos, de forma que seja possível calcular a vazão de água em um cano medindo a vibração apenas. Para encontrar uma função que relacione esses dois dados foi utilizado o método de Interpolação Polinomial.

Interpolação é um método utilizado para determinar uma função que tenha valores conhecidos em alguns pontos. O que determina o conjunto de funções interpoladoras, no caso dos polinômios, é o número de coeficientes, que deve ser igual ao número de valores conhecidos, para que haja somente uma solução. O polinômio interpolador é apresentado na Equação 5.5.

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (5.2)$$

Para que seja possível encontrar os coeficientes  $a_0, a_1, \dots, a_n$ , é necessário abrir o polinômio  $P(X)$  em um sistema linear equivalente, com  $n+1$  equações e  $n+1$  incógnitas, o qual é apresentado já na forma matricial, também conhecido como *Matriz de Vandermonde*, na Equação

5.3.

$$\begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \dots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Substituindo os valores medidos no experimento apresentado na seção anterior, obtém-se a equação matricial apresentada na Equação 5.4.

$$\begin{bmatrix} 1 & 9,773083 & 95,51315 & 933,4579 & 9122,761 & 89157,498 \\ 1 & 9,781409 & 95,67596 & 935,8457 & 9153,89 & 89537,94 \\ 1 & 9,783748 & 95,72172 & 936,5172 & 9162,648 & 89645,043 \\ 1 & 9,7870794 & 95,78692 & 937,4742 & 9175,135 & 89797,773 \\ 1 & 9,7883926 & 95,81263 & 937,8516 & 9180,06 & 89858,029 \\ 1 & 9,7891035 & 95,82655 & 938,056 & 9182,727 & 89890,665 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 72 \\ 120 \\ 160 \\ 200 \\ 240 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Resolvendo o sistema linear, o polinômio interpolador da função encontrado é apresentado na Equação 5.5.

$$P(x) = 269343155,698 - 28040536,317x - 5812561,405x^2 + 757882,581x^3 + 9,318x^4 - 1656,183x^5 \quad (5.5)$$

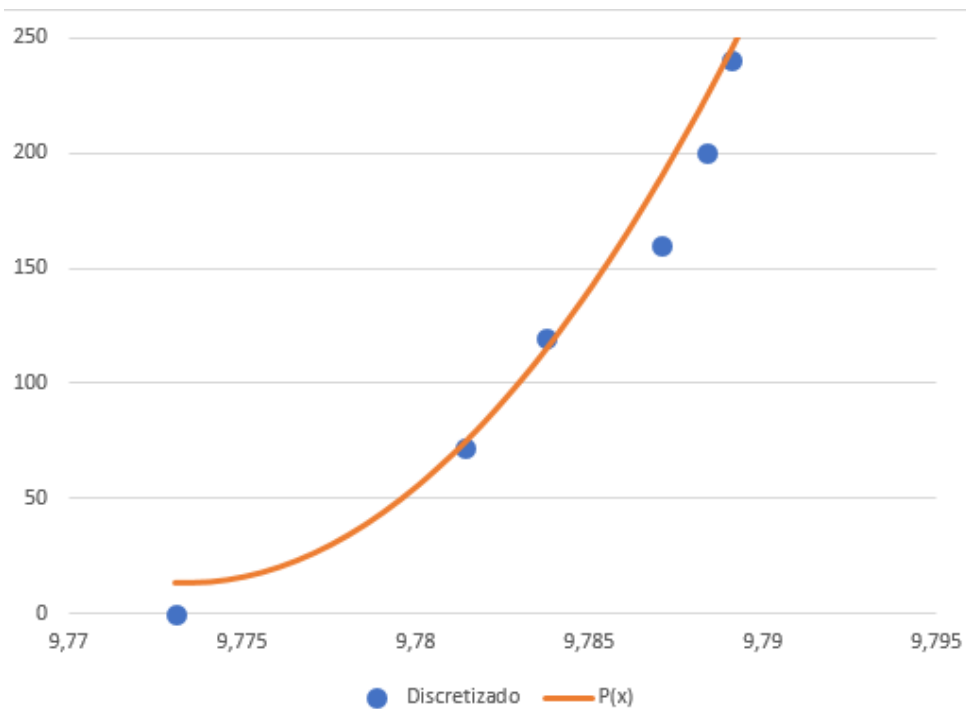
A função que relaciona vazão, em litros por hora, e vibração, em metros por segundos, encontrada a partir de interpolação polinomial e os pontos levantados são apresentados no gráfico 23, sendo o eixo x a representação dos valores de vibração e y de vazão.

Para calcular o erro relacionado ao polinômio interpolador é utilizada a Fórmula Geral do Erro, apresentada na Equação 5.6.

$$E_n(x) = (x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_n) \frac{f^{n+1}(\epsilon_x)}{(n+1)!} \quad (5.6)$$

Sendo  $\epsilon_x \in (x_0, x_n)$ , onde para cada x existe um  $\epsilon$  diferente. Entretanto o ponto  $\epsilon$  nunca é conhecido, logo não se pode ter a medida exata do erro. Ao invés disso, foi realizado mais um experimento para medir três valores de vibração e fluxo, distintos dos levantados anteriormente, para que seja avaliado se a curva realmente está próxima da realidade para valores diferentes dos utilizados para gerá-la. Será então feita uma aproximação do erro, calculando o mesmo para cada ponto medido e resultante no polinômio interpolador, utilizando a Equação 5.7, e fazendo

Figura 23 – Resultados experimentais utilizando acelerômetro e sensor de fluxo



Fonte: Autor

uma média desses valores.

$$E(x) = f(x) - P(x) \quad (5.7)$$

Os resultados pontuais dos erros calculados são apresentados na Tabela 6. A partir desses valores, o erro médio calculado é apresentado na Equação ??.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N f(x) - P(x)}{N}$$

$$E = 23,9480864$$

O gráfico que ilustra os pontos medidos no primeiro experimento, a função de interpolação e os pontos medidos para cálculo de erro é apresentado na Figura 24, onde o eixo x representa os valores de vibração, em  $m/s^2$ , e o eixo y a vazão, em  $L/hora$ .

É possível notar que os pontos com maior erro entre valor real e função polinomial são os que foram medidos no segundo experimento e não foram utilizados na interpolação. Esse resultado de certo modo é esperado, tendo em vista que a precisão da interpolação polinomial não é tão grande para apenas seis pontos medidos. Porém, para a aplicação em questão, que é

Quadro 6 – Cálculo de erro de interpolação.

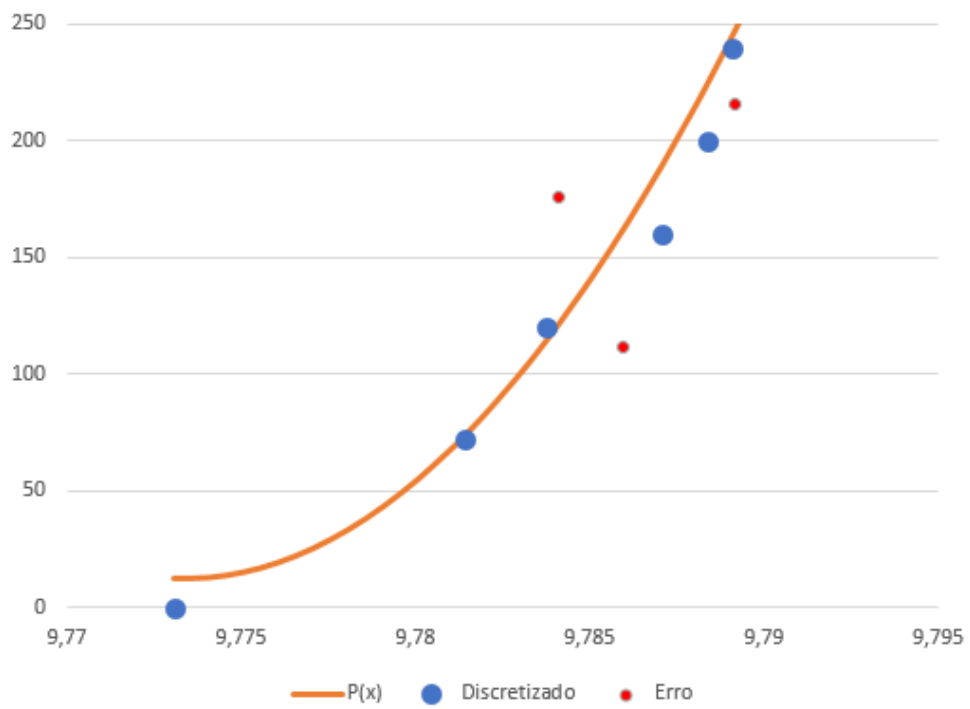
| X   | P(x)      | Errol    |
|-----|-----------|----------|
| 0   | 12,910754 | 12,91075 |
| 72  | 73,730951 | 1,730951 |
| 112 | 162,15048 | 50,15048 |
| 120 | 114,21209 | 5,787913 |
| 160 | 189,37071 | 29,37071 |
| 176 | 120,78903 | 55,21097 |
| 200 | 224,60926 | 24,60926 |
| 216 | 246,7568  | 30,7568  |
| 240 | 245,00495 | 5,004953 |

Fonte: Autor

a comparação entre dois pontos de medição para saber se no segundo ponto há uma vazão de água menor causada por um furo entre ambos, essa precisão é suficiente, pois ela é válida para realizar comparação entre dois sensores expostos às mesmas condições de erro.

O modelo proposto foi validado para um sistema que não sofre interferência de um meio externo. Além disso, o cano utilizado é do tipo PVC 1/2", logo, para um ambiente e tipo de cano diferentes, os resultados não são válidos.

Figura 24 – Resultados experimentais e polinômio interpolador calculado



Fonte: Autor

## 6 CONCLUSÃO

O Brasil tem um sistema de distribuição muito diverso, a principal causa disso é que este sistema vem sendo construído há muitos anos, e não há uma homogeneidade de tamanhos e materiais dos canos, além dos diferentes solos presentes ao longo do território brasileiro, dificultando a construção de um sistema genérico de detecção de vazamentos de água em tubulações. Além disso, para que seja uma solução escalável é necessário um método barato. Para isso, é importante o desenvolvimento de uma técnica não invasiva, pois soluções invasivas podem gerar custos elevados, principalmente ao serem aplicadas em sistemas já consolidados.

A proposta deste projeto foi encontrar um sensor capaz de medir a mudança na vibração do cano de acordo com a quantidade de água passando pelo mesmo, fazendo uso da hipótese, comprovada por uma prova de conceito utilizando o sensor de fluxo invasivo YF-S201, de que quando há um furo entre dois pontos de medição há mudança de fluxo detectável após o mesmo. Sendo assim foram estudados três sensores já utilizados em outros estudos, sendo eles o sensor piezoelétrico pastilha, piezoelétrico filme e acelerômetro. O sensor piezoelétrico pastilha tem a capacidade de variar sua tensão de acordo com uma variação mecânica na sua superfície, porém, de acordo com os testes realizados o mesmo não é capaz de detectar a variação muito pequena causada pela passagem de água no cano PVC de 1/2" utilizado no experimento, bem como o sensor piezoelétrico filme, que não apresentou variação na sua tensão de saída com passagem de fluxo sob o mesmo. O sensor que demonstrou ser o mais promissor para essa aplicação foi o acelerômetro encontrado no *smartphone* utilizado no teste, sendo esse o LIS3DH, que apresentou uma precisão suficiente para detectar a variação de fluxo de forma externa ao cano.

O polinômio interpolador que relaciona vazão e vibração, calculado a partir dos valores experimentais utilizando o acelerômetro, apresentou comportamento esperado, sendo um erro consideravelmente pequeno para o número de pontos levantados. Para encontrar uma função mais precisa, deverão ser realizados mais experimentos, sendo que quanto maior o número de medidas, mais próxima da realidade ficará a função. A partir do modelo encontrado, foi provado que é possível estimar a vazão de água a partir da vibração do cano de forma não invasiva. Esse sistema pode comparar vazão em dois pontos e determinar se há fuga de água, podendo ser aplicado em grande escala de forma prática e de baixo custo, ao utilizar o acelerômetro.

O modelo apresentado foi feito para um sistema que não sofre interferência do meio, e também para o cano específico de PVC 1/2". Ao mudar o diâmetro e material do cano, bem como expor o sistema à vibrações e ruídos, a função que correlaciona fluxo e vibração pode não ser válida.

## REFERÊNCIAS

- Agarwal, T. **Know all about Force Sensing Resistor Technology**. URL: <https://www.elprocus.com/force-sensing-resistor-technology/> (acesso em 15/05/2018).
- Alves, C. J. S. **Interpolação Polinomial**. URL: <https://www.math.tecnico.ulisboa.pt/~calves/cursos/Interpola.HTM> (acesso em 14/11/2018).
- Anonymous. **Water Flow Sensor YF-S201 Arduino Interface**. URL: <http://www.theorycircuit.com/water-flow-sensor-yf-s201-arduino-interface/> (acesso em 14/05/2018). 2017.
- Anonymous. **Manômetro de Tubo em U**. URL: <http://www.fem.unicamp.br/~instrumentacao/pressao/manometro01.html> (acesso em 22/05/2018).
- Azevedo, P. F. **Interpolação e ajuste não-segmentados**. URL: <http://www.mat.ufrgs.br/~fabio/interp.pdf> (acesso em 14/11/2018).
- Balbinot, A. e V. J. Brusamarello. **Instrumentação E Fundamentos de Medidas. Volume 2**. Grupo Gen-LTC. 2000.
- Bolton, W. **Instrumentation and control systems**. Newnes. 2015.
- Connectivity, T. **Datasheet Piezo Film Sensor**. URL: [http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FDT\\_Series\\_without\\_Leads%7FA1%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_DS\\_DT\\_Series\\_without\\_Leads\\_A1.pdf%7FCAT-PFS0004](http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FDT_Series_without_Leads%7FA1%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_DT_Series_without_Leads_A1.pdf%7FCAT-PFS0004) (acesso em 22/06/2018). 2017.
- Cortês, A. S. B. **Fugas e perdas em sistemas de abastecimento de água**. Diss. de mestrado. 2015.
- Creaco, E. **Optimal Placement of Isolation Valves in Water Distribution Systems Based on Valve Cost and Weighted Average Demand Shortfall**. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Layout-of-main-water-distribution-system-serving-the-city-of-Ferrara-I-pipe-numbers-in\\_fig2\\_225746758](https://www.researchgate.net/figure/Layout-of-main-water-distribution-system-serving-the-city-of-Ferrara-I-pipe-numbers-in_fig2_225746758) (acesso em 26/11/2018). 2010.
- ElectroFun. **Sensor Piezo Elétrico**. URL: <https://www.electrofun.pt/sensor-piezo-eletrico-2-cm> (acesso em 21/12/2017).
- Eletrônicos, H. I. C. **Sensor de Fluxo de Água 3/4**. URL: <http://www.huinfinito.com.br/sensores/924-sensor-de-fluxo-de-agua-3-4.html> (acesso em 20/12/2017).

- Embarcados. **Medição de vazão: Medidor de vazão eletromagnético - Parte 1**. URL: <https://www.embarcados.com.br/medidor-de-vazao-eletromagnetico-parte-1/> (acesso em 25/05/2018). 2016.
- Ferraz, M. **Corsan não tem controle sobre quase 40% da água que trata no estado**. URL: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2014/08/corsan-nao-tem-controle-sobre-quase-40-da-agua-que-trata-no-estado-cj5vofbsp0m6fxbj0uxfalr3p.html> (acesso em 18/03/2018). 2014.
- Al-Fuqaha, A., M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari e M. Ayyash. **Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications**. Em: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 17.4, pp. 2347–2376. 2015.
- Gobbi, L. D. **Água: uso e problemas**. URL: <http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/agua-uso-e-problemas.html> (acesso em 20/12/2017).
- Goodrich, R. **Accelerometers: What They Are How They Work**. URL: <https://www.livescience.com/40102-accelerometers.html> (acesso em 26/11/2018). 2013.
- Guizzardi, R. S. S. **Erro de Truncamento na Interpolação**. URL: <https://inf.ufes.br/~rguizzardi/an/aulas/Aula%2012%20-%20Erro%20de%20Truncamento%20na%20Interpola%e7%e3o.pdf> (acesso em 05/12/2018).
- Gumier, C. C. et al. **Aplicação de modelo matemático de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento**. Em: 2005.
- Informações sobre Saneamento (SNIS), S. N. de. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2016**. Diss. de mestrado. 2016.
- Instruments, N. **Medições de deformação com Strain Gages**. URL: <http://www.ni.com/white-paper/3642/pt/> (acesso em 22/06/2018). 2017.
- Jenkins, M. **Water Technologies: How to Apply the DNR-18**. URL: <http://www.h2oleaktech.co.za/cp/3032/how-to-apply-the-dnr-18> (acesso em 21/12/2017).
- Lemos, A. **Cidades inteligentes**. Em: *GV-executivo* 12.2, pp. 46–49. 2013.
- Ltda, S. **Sewerin: Technologies for leak detection**. URL: <http://www.sewerin.co.uk/products/water-leak-location/aquaphon-a100/> (acesso em 22/12/2017).
- Manzi, D. et al. **Detecção e localização de rompimentos em redes de distribuição de água a partir de análise dos sinais de pressão em regime transitório**. Em: 2017.



MEDEIROS, K., C. BARBOSA e E. d. OLIVEIRA. **MÉTODO NÃO INTRUSIVO PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ÁGUA EM TUBULAÇÕES NON-INTRUSIVE METHOD FOR MEASURING WATER FLOW RATE IN PIPE.** Em: 2017.

MEMS digital output motion sensor ultra low-power high performance 3-axes “nano” accelerometer (). 17530. Rev. 1. ST Microelectronics. 2010.

Moreira, T. O. M. et al. **Gestão de perdas em redes de abastecimento de água-assistida pelo simulador EPANET.** Em: 2011.

Nery, J. F. d. C. G. e P. R. G. Pastore. **Método não invasivo para medição de vazão utilizando sensores piezoelétricos.** Em: 2017.

Pádua, V. L. de. **Construção, Operação e Manutenção de Redes de Distribuição de Água.** URL: <http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/04/AA-COMR.2.pdf> (acesso em 29/05/2018). 2013.

RoboCore. **Acelerômetro.** URL: [https://www.robocore.net/loja/produtos/acelerometro-e-giroscopio-mpu6050.html?gclid=Cj0KCQiA\\_s7fBRDrARIsAGEvF8Spkoc9GwkWUsarj1gQ7GpXXvp2YAaAqBOEALw\\_wcB](https://www.robocore.net/loja/produtos/acelerometro-e-giroscopio-mpu6050.html?gclid=Cj0KCQiA_s7fBRDrARIsAGEvF8Spkoc9GwkWUsarj1gQ7GpXXvp2YAaAqBOEALw_wcB) (acesso em 20/11/2018).

Sadeghioon, A. M., N. Metje, D. N. Chapman e C. J. Anthony. **SmartPipes: smart wireless sensor networks for leak detection in water pipelines.** Em: *Journal of sensor and Actuator Networks* 3.1, pp. 64–78. 2014.

SANESOLUTI. **Medidor de Vazão Ultrassônico Fixo Clamp-on.** URL: <https://sanesoluti.com.br/produto/medidor-de-vazao-ultrassonico-fixo/> (acesso em 25/05/2018).

SchemacticA. **A Comparison of Passive Filters and Active Filters.** URL: [http://www.schematica.com/active\\_filter\\_resources/comparison\\_of\\_active\\_and\\_passive\\_filters.html](http://www.schematica.com/active_filter_resources/comparison_of_active_and_passive_filters.html) (acesso em 22/06/2018). 2014.

Services, A. W. **Armazenamento na Nuvem.** URL: <https://aws.amazon.com/pt/what-is-cloud-storage/> (acesso em 24/06/2018).

Sousa, E. O. d. et al. **Detecção de vazamentos em tubulações através de método acústico e da análise de transientes de pressão.** Em: 2007.

Sparkfun, L. **Accelerometer Basic.** URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/accelerometer-basics/all#res> (acesso em 26/11/2018).

Tavares. **Projeto de filtros ativos – Conceitos básicos**. URL: <https://cadernodelaboratorio.com.br/2017/07/10/projeto-de-filtros-ativos-conceitos-basicos/> (acesso em 22/06/2018). 2017.

Tutorials, E. **Active Band Pass Filter**. URL: [https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter\\_7.html](https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_7.html) (acesso em 22/06/2018).

VIEIRA, L. P. e C. E. AGUIAR. **Experimentos com o acelerômetro de Tablets e Smartphones**. Tese de doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.

W3C. **Accelerometer**. URL: <https://www.w3.org/TR/accelerometer/> (acesso em 10/12/2018).

Wikipedia. **Cerâmica piezoelétrica**. URL: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Cer%C3%A2mica\\_piezoel%C3%A9trica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Cer%C3%A2mica_piezoel%C3%A9trica) (acesso em 10/12/2018).

Woodford, C. **Piezoelectricity**. URL: <https://www.explainthatstuff.com/piezoelectricity.html> (acesso em 10/12/2018). 2018.

Worldway. **LIS3DHTR(STM) ST Original Stock Competitive Price**. URL: [https://www.worldwayelec.com/pro/stmicroelectronics/lis3dhtr\(stm\)/4576648](https://www.worldwayelec.com/pro/stmicroelectronics/lis3dhtr(stm)/4576648). 2018.

Wortmann, F. e K. Flüchter. **Internet of things**. Em: *Business & Information Systems Engineering* 57.3, pp. 221–224. 2015.

Yadhav, T. **What is the difference between active filter and passive filter applications?** URL: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-active-filter-and-passive-filter-applications> (acesso em 22/06/2018). 2017.

**APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE SENSOR PIEZOELÉTRICO**

```
const int piezo = A1;
const int piezo_2 = A2;
int piezoval = 0;
int piezoval_2 = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600)
}

void loop()
{
  piezoval = analogRead(piezo);
  Serial.println(piezoval);
  piezoval_2 = analogRead(piezo_2);
  Serialprint("\t");
  Serial.println(piezoval_2);
}
```

**ANEXO A - CÓDIGO FONTE EXPERIMENTO COM SENSOR PIEZOELÉTRICO FILME E SENSOR DE FLUXO**

```
const int piezo = A1;
int piezoval = 0;

volatile int freq_fluxo;
unsigned int 1_hora;
unsigned char sensorfluxo = 2;
unsigned long currentTime;
unsigned long cloopTime;

void fluxo()
{
    freq_fluxo++;
}

void setup()
{
    pinMode(sensorfluxo, INPUT);
    digitalWrite(sensorfluxo, HIGH);
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt(0, fluxo, RISING);
    sei();
    currentTime = millis();
    cloopTime = currentTime;
}

void loop()
{
    currentTime = millis();
    if(currentTime >= (cloopTime+1000))
    {
        cloopTime = currentTime;
        1_hora = (freq_fluxo * 60/7.5);
        freq_fluxo = 0;
        Serial.print(1_hora, DEC);
    }
}
```

```
piezoval = analogRead(piezo);  
float piezoV = piezoval;  
Serial.print("\t");  
Serial.println(piezoval);  
}
```

**ANEXO B - CÓDIGO FONTE SENSOR DE FLUXO**

```
volatile int freq_fluxo;
unsigned int 1_hora;
unsigned char sensorfluxo = 2;
unsigned long currentTime;
unsigned long cloopTime;

void fluxo()
{
    freq\_fluxo++;
}

void setup()
{
    pinMode(sensorfluxo, INPUT);
    digitalWrite(sensorfluxo, HIGH);
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt(0, fluxo, RISING);
    sei();
    currentTime = millis();
    cloopTime = currentTime;
}

void loop()
{
    currentTime = millis();
    if(currentTime >= (cloopTime+1000))
    {
        cloopTime = currentTime;
        1_hora = (freq_fluxo * 60/7.5);
        freq\_fluxo = 0;
        Serial.print(1_hora, DEC);
    }
}
```