



Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

IGOR ANTÔNIO DE PAIVA BRANDÃO

**Dispositivo IoT de micromedição integrado com *Cloud Computing* para monitoramento
do consumo de água**

Orientadoras: Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues

Dra. Dayse Luna Barbosa

Campina Grande-PB

Agosto de 2022

IGOR ANTÔNIO DE PAIVA BRANDÃO

**Dispositivo IoT de micromedição integrado com *Cloud Computing* para monitoramento
do consumo de água**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - PB, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadoras: Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues

Dra. Dayse Luna Barbosa

Campina Grande-PB

Agosto de 2022

B817d Brandão, Igor Antônio de Paiva.
Dispositivo IoT de micromedição integrado com Cloud Computing para monitoramento do consumo de água / Igor Antônio de Paiva Brandão. – Campina Grande, 2022.
101 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.
"Orientação: Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues, Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa".
Referências.

1. Saneamento Ambiental. 2. Internet das Coisas. 3. Computação em Nuvem. 4. Medição Inteligente. 5. Hidrômetro. I. Rodrigues, Andréa Carla Lima. II. Barbosa, Dayse Luna. III. Título.

CDU 628.8:004.738.5(043)

IGOR ANTÔNIO DE PAIVA BRANDÃO

“Dispositivo IoT de micromedição integrado com *Cloud Computing* para monitoramento do consumo de água”

Dissertação aprovada em: 30/08/2022

BANCA EXAMINADORA

Andréa Carla Lima Rodrigues

Profª. Dra. ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Dayse Luna Barbosa

Profª Dra. DAYSE LUNA BARBOSA

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

MARIA JOSICLEIDE
FELIPE GUEDES:
04277960405

Assinado digitalmente por MARIA JOSICLEIDE FELIPE GUEDES
04277960405
DN: CN=MARIA JOSICLEIDE FELIPE GUEDES 04277960405,
OU=UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
O=ICP/UFERSA, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização: via localização de assinatura aqui
Data: 2022.09.30 10:44:06
Foxit Reader/CF Versão: 9.7.1

Profª Dra. MARIA JOSICLEIDE FELIPE GUEDES

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Valterlin da Silva Santos

Prof Dr. VALTERLIN DA SILVA SANTOS

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESEÇA E ASSINATURAS

1. **ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**
2. **ALUNO(A): IGOR ANTÔNIO DE PAIVA BRANDÃO / COMISSÃO EXAMINADORA: DR.ª ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES - PPGECA/UFCG (PRESIDENTE) - ORIENTADORA, DR.ª DAYSE LUNA BARBOSA - UFCG - COORIENTADORA, DR. VALTERLIN DA SILVA SANTOS - PPGECA/UFCG – EXAMINADOR INTERNO, DR.ª MARIA JOSICLEIDE FELIPE GUEDES – UFERSA – EXAMINADORA EXTERNA (PORTARIA 41/2022). / TITULO DA DISSERTAÇÃO: “DISPOSITIVO IOT DE MICROMEDIÇÃO INTEGRADO COM CLOUD COMPUTING PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA” / ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL / HORA DE INICIO: 14:00 HORAS / NA SALA DA PÓS-GRADUAÇÃO NO BLOCO CR, CAMPUS SEDE DA UFCG, EM CAMPINA GRANDE, EM FORMATO HÍBRIDO.**
3. **EM SESSÃO REALIZADA EM FORMATO HÍBRIDO, APÓS EXPOSIÇÃO DE CERCA DE 40 MINUTOS, O(A) CANDIDATO(A) FOI ARGUIDO(A) ORALMENTE PELOS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA, TENDO DEMONSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO NO TEMA DE SUA DISSERTAÇÃO, SENDO-LHE ATRIBUÍDO O CONCEITO “EM EXIGÊNCIA”, SENDO QUE A POSSIBILIDADE DE APROVAÇÃO ESTÁ CONDICIONADA À AVALIAÇÃO DA NOVA VERSÃO DO TRABALHO FINAL, SEGUINDO PROCEDIMENTOS PREVISTOS NA RESOLUÇÃO DO PROGRAMA. O PRESIDENTE DA COMISSÃO EXAMINADORA, OUVIDOS OS DEMAIS MEMBROS, DEVERÁ FICAR RESPONSÁVEL POR ATESTAR QUE AS CORREÇÕES SOLICITADAS NA LISTA DE EXIGÊNCIAS FORAM ATENDIDAS NA VERSÃO FINAL DO TRABALHO. A COMISSÃO EXAMINADORA CUMPRINDO OS PRAZOS REGIMENTAIS, ESTABELECE UM PRAZO MÁXIMO DE 30 DIAS PARA QUE SEJAM FEITAS AS ALTERAÇÕES EXIGIDAS. APÓS O DEPÓSITO FINAL DO DOCUMENTO DE DISSERTAÇÃO, DEVIDAMENTE REVISADO E MEDIANTE ATESTADO DO ORIENTADOR, O CONCEITO “EM EXIGÊNCIA” PASSARÁ IMEDIATAMENTE PARA O DE “APROVADO”. NA FORMA REGULAMENTAR, FOI LAVRADA A PRESENTE ATA, QUE É ASSINADA POR MIM, WELLINGTON LAURENTINO DOS SANTOS, SECRETÁRIO, ALUNO E OS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA PRESENTES.**
4. **CAMPINA GRANDE, 30 DE AGOSTO DE 2022**
- 5.
- 6.
- 7.
8. **MARIA JOSICLEIDE FELIPE GUEDES – UFERSA – EXAMINADORA EXTERNA**



Documento assinado eletronicamente por **VALTERLIN DA SILVA SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/08/2022, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **WELLINGTON LAURENTINO DOS SANTOS, SECRETÁRIO (A)**, em 31/08/2022, às 11:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Antônio de Paiva Brandão, Usuário Externo**, em 31/08/2022, às 14:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR**, em 31/08/2022, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2022, às 09:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Josicleide Felipe Guedes, Usuário Externo**, em 02/09/2022, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2657179** e o código CRC **9B6F2479**.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ter cuidado de mim e das pessoas que amo, nos enchendo de amor e proteção, iluminando nossos passos por toda essa caminhada.

À minha mãe, Tânia Cláudia Bandeira de Paiva, a maior responsável por todas minhas conquistas, me criou e criou minhas irmãs sozinha, sempre nos dando muito amor, carinho e a possibilidade de estudar.

Às minhas irmãs, Jéssica Patrícia Paiva dos Santos e Naira Letícia Paiva dos Santos, por sempre me ajudarem e me fornecerem amor e carinho mesmo nos dias mais difíceis.

À minha noiva, Yasmim Torres Nobre Monteiro, por todo o amor e paciência no dia-a-dia. Sempre me incentiva e me mostra que posso sempre mais.

Às minhas orientadoras Andréa Carla Lima Rodrigues e Dayse Luna Barbosa, que me acolheram como um filho e me acompanham desde a graduação, com vocês venho aprendendo muito mais que apenas engenharia.

A todos os meus amigos que de diversas formas me auxiliam a chegar até aqui, em especial à Dra. Luísa Eduarda Lucena de Medeiros, companheira de projeto.

A todos os funcionários da Prefeitura Universitária, em especial ao engenheiro Ms. Antônio Leomar e Seu Naldo que sempre me ajudaram nas instalações necessárias.

A todos os funcionários do Laboratório de Hidráulica I que me ajudaram bastante em toda etapa da pesquisa de calibração e validação.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho, o meu muito obrigado!

RESUMO

Gerir recursos hídricos de forma eficiente e sustentável é um desafio. Nesse contexto, a Internet das Coisas e a computação em nuvem surgem como tecnologias de baixo custo e alta escalabilidade, desenvolvendo a medição inteligente do consumo de água e a possibilidade de monitoramento remoto e em tempo real. O objetivo desse trabalho foi desenvolver um Hidrômetro IoT de baixo custo para medição do consumo de água em redes de abastecimento micromedidas, com uso da computação em nuvem para armazenar e processar os dados, além de detectar e alertar possíveis vazamentos. Esse medidor desenvolvido foi calibrado e validado em cenários controlados e não controlados. Os dados obtidos com a associação do Hidrômetro IoT e computação em nuvem serviram de base para o estudo do padrão de consumo com a automação do micromedidor. Para recebimento, armazenamento e processamento dos dados utilizou-se a plataforma IoT *ThingSpeak*. Essa plataforma recebe os dados do Hidrômetro IoT a cada 2 minutos e possui algoritmos que alertam sobre o funcionamento do dispositivo e possíveis vazamentos. Em ambiente controlado, os resultados do Hidrômetro IoT mostraram um erro máximo de 0,89% para vazões entre 1 a 20 L/min e superiores a 50 L/min. Para validação em campo comparou-se os valores medidos no Hidrômetro IoT com as leituras de um hidrômetro convencional instalado em série, mas com uma diferença de nível de 1,80 m entre eles. Em dois meses de comparação, registrou-se uma diferença de 8,9% entre os hidrômetros ocasionada possivelmente pela variação de pressão entre eles. O custo final do Hidrômetro IoT desenvolvido nesta pesquisa foi de R\$ 92,70 e o equipamento foi calibrado para vazões entre 1,32 e 55 L/min. Por fim, com esse sistema pôde-se analisar o padrão de consumo da edificação estudada, identificando períodos normais de consumo, falta de água e um vazamento cujo desperdício calculado foi superior a 7 mil litros de água. Conclui-se que o sistema apresentou resposta positiva ao objetivo proposto e resultados promissores.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Computação em nuvem, Hidrômetro, Medição inteligente.

ABSTRACT

Managing water resources efficiently and sustainably is a challenge. In this context, the Internet of Things and cloud computing emerge as low-cost and highly scalable technologies, developing smart metering of water consumption and the possibility of remote and real-time monitoring. The objective of this work was to develop a low-cost IoT smart water meter for measuring water consumption in micrometer supply networks, using cloud computing to store and process data, in addition to detecting and alerting possible leaks. This developed meter was calibrated and validated in controlled and uncontrolled scenarios. The data obtained with the association of the IoT Hydrometer and cloud computing served as a basis for the study of the consumption pattern with the automation of the micrometer. To receive, store and process the data, the IoT platform ThingSpeak was used. This platform receives data from the smart water meter every 2 minutes and has algorithms that alert about device operation and possible leaks. In a controlled environment, the IoT smart water meter results showed a maximum error of 0.89% for flow rates between 1 to 20 L/min and above 50 L/min. For field validation, the values measured in the smart meter were compared with the readings of a conventional hydrometer installed in series, but with a level difference of 1.80 m between them. In two months of comparison, there was a difference of 8.9% between the water meters, possibly caused by the variation in pressure between them. The final cost of the IoT Hydrometer developed in this research was R\$ 92.70 and the equipment was calibrated for flow rates between 1.32 and 55 L/min. Finally, with this system, it was possible to analyze the building consumption pattern studied, identifying normal periods of consumption, lack of water and a leak whose calculated waste was more than 7 thousand liters of water. It is concluded that the system presented a positive response to the proposed objective and promising results.

Keywords: Internet of Things, Cloud Computing, IoT water meter, Smart Water Meter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de telemetria	23
Figura 2 - Partes de um sistema IoT	25
Figura 3 - Sistema de medição de consumo de água.....	33
Figura 4 - Sistema completo de medição do consumo de água utilizando tecnologia IoT e computação em nuvem	33
Figura 5 - Etapas metodológicas	37
Figura 6 – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), câmpus sede com indicação da localização do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)	40
Figura 7 - Instalação do Hidrômetro IoT na tubulação principal do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)	41
Figura 8 - Hidrômetro analógico do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)	41
Figura 9 - Instalação do Hidrômetro IoT em série com o hidrômetro convencional	42
Figura 10 - Partes componentes do sensor de fluxo	43
Figura 11 - Tabela e gráfico para conversão da frequência em vazão	44
Figura 12 – Sistema desenvolvido para a calibração do sensor em vazões de 1,32 a 20,37 L/min	46
Figura 13 - Bancada hidráulica usada para fazer a calibração com altas vazões	47
Figura 14 - Plataforma IoT <i>ThingSpeak</i> utilizada na pesquisa.....	50
Figura 15 - Fluxograma da programação que determina o consumo horário.....	52
Figura 16 - Fluxograma da programação que determina o consumo diário.....	52
Figura 17 - Fluxograma da programação que verifica existência de vazamentos.....	54
Figura 18 - Esquemático e ligações feitas entre o NodeMCU e o sensor de fluxo	56
Figura 19 - Hidrômetro IoT final utilizado para medição do consumo de água	57
Figura 20 - Sensor de fluxo instalado na tubulação.....	58
Figura 21 - Fluxograma da parte inicial e do <i>setup</i> da programação do Hidrômetro IoT.....	60
Figura 22 - Fluxograma do <i>loop</i> da programação do Hidrômetro IoT.....	61
Figura 23 - Gráfico da calibração em vazões de 1,32 a 20,37 L/min.....	62
Figura 24 - Análise linear da quantidade de pulsos para cada vazão de 1,32 a 20,37 L/min...	63
Figura 25 - Gráfico da calibração em vazões de 16,67 a 55 L/min.....	66
Figura 26 - Análise linear da quantidade de pulsos para cada vazão de 16,67 a 55 L/min.....	67
Figura 27 - Gráfico do fator de calibração encontrado para cada vazão de 1,32 a 55 L/min...	68
Figura 28 - Análise linear da quantidade de pulsos para cada vazão de 1,32 a 55 L/min.....	69
Figura 29 - Comparação do fator de calibração Final com os fatores calculados para vazões de 1,32 a 55 L/min.....	70
Figura 30 - Gráfico da validação com vazões de 1,97 a 20,79 L/min	72
Figura 31 - Comparação das vazões do Hidrômetro IoT com rotâmetro de 16,67 a 55 L/min	73
Figura 32 - Comparação do Hidrômetro IoT com o hidrômetro convencional do dia 18/05/2022 a 18/07/2022	75
Figura 33 - Diferença de nível e de direção entre o Hidrômetro IoT e o hidrômetro convencional.....	77
Figura 34 - Medidor de fluxo de paredes transparentes em série com o sensor de fluxo utilizado	78

Figura 35 - Instalação do Hidrômetro IoT na horizontal e em série com o hidrômetro analógico.....	79
Figura 36 - Canal "Sistema IoT para medição do consumo de água"	80
Figura 37 - Canal "Recebimento de dados"	82
Figura 38 - Aplicativo <i>React</i> para monitoramento do envio de dados	84
Figura 39 - E-mails de alerta sobre o funcionamento do sistema.....	84
Figura 40 - Início do vazamento no dia 08/07/2022.....	85
Figura 41 - Dia 11/07/2022 após conserto do vazamento	85
Figura 42 - E-mails recebidos sobre a existência ou não de vazamentos.....	86
Figura 43 - Gráfico do consumo horário de 08/07/2022 a 11/07/2022	86
Figura 44 - Gráfico do consumo diário do Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) de 17/05/2022 a 18/07/2022	88
Figura 45 - Gráfico do consumo horário registrado no dia 23/05/2022	89
Figura 46 - Gráfico do consumo horário de 23/05/2022 a 29/05/2022	90
Figura 47 - Gráfico do consumo de 17/05/2022 a 18/07/2022 com marcações de alguns períodos	92
Figura 48 - Detalhamento do consumo no período de 08/06/2022 a 11/06/2022	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de instrumentos de gestão de demanda de água (continua)	17
Quadro 2 - Descrição dos componentes utilizados (continua)	38
Quadro 3 - <i>Dashboards</i> do canal "Sistema IoT para medição do consumo de água"	81
Quadro 4 – Dashboards do Canal “Recebimento de dados” (continua).....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do hidrômetro analógico da marca ASIM instalado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)	42
Tabela 2 - Características do sensor de fluxo utilizado	44
Tabela 3 - Determinação da quantidade de pulsos/litro e do fator de calibração a partir do <i>Datasheet</i>	44
Tabela 4 - Preços dos componentes utilizados no Hidrômetro IoT	57
Tabela 5 - Valores da calibração em vazões de 1,32 a 20,37 L/min	62
Tabela 6 - Valores de pulsos captados para cada vazão de 1,32 a 20,37 L/min	63
Tabela 7 – Comparação da vazão medida no rotâmetro e na caixa volumétrica	64
Tabela 8 – Valores da calibração com vazões de 16,67 a 30 L/min	65
Tabela 9 - Valores da calibração com vazões de 31,67 a 55 L/min	65
Tabela 10 - Valores de pulsos captados para cada vazão de 16,67 a 55 L/min	66
Tabela 11 - Valores de pulsos/litro e do fator de calibração para as vazões de 1,32 a 55 L/min	67
Tabela 12 - Comparação da quantidade de pulsos/litro e do fator de calibração entre o determinado pelo <i>Datasheet</i> e os valores encontrados nos diferentes intervalos da calibração	68
Tabela 13 - Valores de pulsos captados para cada vazão de 1,32 a 55 L/min (continua)	68
Tabela 14 - Quantidade de pulsos/litro e fator de calibração para vazões de 1,32 a 13,17 L/min	70
Tabela 15 - Validação com vazões de 1,97 a 20,79 L/min	71
Tabela 16 – Validação com vazões de 16,67 a 55 L/min	73
Tabela 17 – Comparação entre as leituras do Hidrômetro IoT e do hidrômetro convencional de 18/05/2022 a 18/07/2022	74
Tabela 18 - Quantidade de dados enviados a cada dia	76
Tabela 19 - Consumo diário de 17/05/2022 a 18/07/2022	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- 3CS – Três Consumos Similares
- CCNN – Consumo Contínuo Não Nulo
- CSV – *Comma-Separated Values* (Valores Separados por Vírgula)
- DAT – Documentos Técnicos de Apoio
- DC – Corrente Contínua
- EMR – Elemento de Medição Remota
- FMN – Fluxo Mínimo Noturno
- GDA – Gestão da Demanda de Água
- GND – *Graduated Neutral Density Filter* (Filtro Graduado de Densidade Neutra)
- GSM – *Global System for Mobile Communications* (Sistema Global para Comunicações Móveis)
- IDE – *Integrated Development Environment* (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)
- LEP – Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia
- M2M – Máquina-Máquina
- mA – Miliampere
- Mpa – Mega Pascal
- ODS – Objetivos dos Desenvolvimento Sustentável
- OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- OTA – *Over The Air*
- PLS - Plano de Gestão de Logística Sustentável
- PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
- PNRH – Política Nacional dos Recursos Hídricos
- SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
- UFBA – Universidade Federal da Bahia
- UFCG – Universidade Federal de Campina Grande
- UNIFIP – Centro Universitário de Patos
- USB – *Universal Serial Bus* (Porta Serial Universal)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. Gestão da demanda de água – GDA	15
2.1.1. Ambientes públicos e a gestão da demanda de água.....	20
2.2. Equipamentos de medição remota	22
2.3. Sistemas inteligentes de medição (<i>smart meters</i>).....	23
2.3.1. Sistemas inteligentes de medição e Internet das Coisas (IoT).....	25
2.3.2. Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0.....	25
2.3.3. Sistemas inteligentes de medição do consumo de água – “smart water meters”.....	26
2.3.4. Sistemas inteligentes de medição de água e detecção de vazamentos	30
2.3.5. Computação em nuvem - Cloud Computing	34
3. METODOLOGIA	37
3.1. Desenvolvimento do Hidrômetro IoT	38
3.1.1. Hardware	38
3.1.2. Software.....	39
3.2. Definição da área de estudo	40
3.2.1. Instalação do Hidrômetro IoT.....	40
3.3. Calibração do equipamento	43
3.3.1. Sensor	43
3.3.2. Calibração com vazões de 1,32 a 20,37 L/min.....	45
3.3.3. Calibração com vazões de 16,67 a 55 L/min.....	46
3.3.4. Fator de calibração.....	48
3.4. Validação do equipamento.....	48
3.4.1. Validação com vazões de 1,32 a 20,37 L/min.....	48
3.4.2. Validação com vazões de 16,67 a 55 L/min.....	49
3.4.3. Com hidrômetro em campo	49
3.5. Computação em nuvem (<i>Cloud Computing</i>)	50
3.5.1. Aplicativos ThingSpeak	51
3.5.2. Detecção de vazamentos.....	55

3.6. Análise do consumo de água da edificação	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1. Hidrômetro IoT	56
4.1.1. Hardware	56
4.1.2. Software.....	58
4.2. Resultados da calibração.....	61
4.2.1. Calibração com vazões de 1,32 a 20,37 L/min.....	61
4.2.2. Calibração com vazões de 16,67 a 55 L/min.....	64
4.2.3. Fator de calibração.....	67
4.3. Resultados da validação.....	70
4.3.1. Validação com vazões de 1,32 a 20,37 L/min.....	71
4.3.2. Validação com vazões de 16,67 a 55 L/min.....	72
4.3.3. Validação com hidrômetro convencional em campo	74
4.4. Resultados da computação em nuvem	79
4.4.1. Aplicativos ThingSpeak	79
4.4.2. Detecção de vazamentos.....	84
4.5. Análise do consumo de água da edificação	87
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

1. INTRODUÇÃO

Gerir recursos hídricos já escassos de forma eficiente, efetiva e sustentável é um desafio para o serviço público de cidades. As cidades são vulneráveis à escassez de água devido à incompatibilidade espacial existente entre a disposição de recursos hídricos e a concentração da população em pontos localizados (STAVENHAGEN *et al.*, 2018).

Assim, é necessária uma melhor Gestão da Demanda de Água (GDA), que monitore o consumo de água e busque reduzi-lo, implante práticas de reutilização de água para fins que não exijam água potável e que possam minimizar o desperdício. De acordo com Xiao *et al.* (2018), a GDA pode ser considerada sob diferentes perspectivas, seja da engenharia ou do direito, e diferentes escalas, local ou nacional.

Sabendo de todos os desafios enfrentados no abastecimento de água potável, a prevenção de vazamentos não é apenas prudente, mas necessária. Neste contexto, surgem a Internet das Coisas (IoT) e a computação em nuvem (*Cloud Computing*) como tecnologias de baixo custo e alta escalabilidade solucionando e desenvolvendo a medição automatizada de consumo de água e detecção de vazamentos (JAN *et al.*, 2022).

Consumidores e companhias possuem interesses no mercado de hidrômetros inteligentes. Companhias estão interessadas em ter um sistema de coleta de dados totalmente automatizado para reduzir custos operacionais associados a intervenções humanas e produzir as tarifas de acordo com dados precisos. Enquanto os consumidores têm a oportunidade de receberem informações contínuas sobre seu consumo, e assim, adaptar e mudar o comportamento (KAUFMANN, KÜNZEL e LOOCK, 2013).

A Austrália e Nova Zelândia são países que já possuem mais de 250.000 medidores inteligentes instalados e 66% das concessionárias de água possuem projetos em andamento ou iniciando. Com a instalação desses novos medidores é possível obter uma economia de gastos e despesas existentes na forma tradicional de medição, além de gerar uma maior transparência para os usuários e para a comunidade como um todo (BEAL e FLYNN, 2015).

Percebe-se a necessidade nacional de avançar tanto no uso de sistemas inteligentes de medição quanto nos estudos científicos sobre o tema. Assim, esse trabalho visou desenvolver um Hidrômetro IoT de baixo custo para automatizar e monitorar o consumo de água em redes prediais de abastecimento, utilizando a computação em nuvem com algoritmos para armazenar e transformar os dados em informações úteis, além de detectar e alertar possíveis vazamentos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver um Hidrômetro IoT de baixo custo para medição do consumo de água em redes de abastecimento micromedidas, com uso da computação em nuvem para armazenamento e processamento dos dados.

1.1.2. Objetivos específicos

- Desenvolver *hardware* e *software* do Hidrômetro IoT utilizando componentes de baixo custo e linguagem de programação de código aberto.
- Avaliar a confiabilidade do Hidrômetro IoT desenvolvido com a calibração e validação em cenários controlados e não controlados;
- Analisar os dados obtidos com a associação do dispositivo IoT e computação em nuvem (*Cloud Computing*);
- Estudar o padrão de consumo de água com a automação dos micromedidores, identificando períodos normais, faltas de água e vazamentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Gestão da demanda de água – GDA

A escassez hídrica é uma realidade não apenas nas áreas áridas e semiáridas, mas em todas as regiões do mundo. O crescimento populacional aliado à intensificação das atividades industriais, ao uso irracional de recursos, às secas, às erosões do solo e à desertificação têm gerado problemas relacionados à falta de água, para o atendimento das necessidades mais elementares da população (SOUZA; VIEIRA, 2004). O Nordeste Brasileiro é o exemplo de uma região vulnerável aos extremos da variabilidade climática, sendo recorrentes os níveis pluviométricos abaixo da média e o aumento da aridez nos últimos anos (MARENGO *et al.*, 2016; VIEIRA *et al.*, 2015).

O fenômeno das secas, apesar de natural, é intensificado pela falta de estrutura e operação adequadas que possibilitem a gestão dos recursos hídricos e garantam o abastecimento de água em períodos no qual este ocorre. A limitação da disponibilidade hídrica afeta principalmente as populações mais vulneráveis, localizadas em áreas de difícil acesso a este recurso (EAKIN *et al.*, 2014).

Diante dos cenários de disponibilidade hídrica limitada, o gerenciamento das demandas tem sido uma alternativa viável para aprimorar os sistemas de abastecimento de água, visando atender as necessidades futuras. Vários estudos demonstram sua eficácia, seja por meios tecnológicos, campanhas educativas ou atribuição de preço a água (FRIEDMAN *et al.*, 2011).

O crescimento do consumo de água aliado a incertezas como mudanças climáticas têm mudado a forma como a água deve ser gerenciada. O enfoque atual está direcionado para o gerenciamento da demanda (uso eficiente da água, de forma que se tenha maior aproveitamento e menor desperdício), e não mais na oferta a partir da construção de novos reservatórios, aumento de rede de abastecimento ou transposição entre bacias (SADR *et al.*, 2021; GAO *et al.*, 2014).

Define-se por gestão da demanda de água (GDA) toda e qualquer medida voltada a reduzir o consumo final dos usuários do sistema, sem perda dos atributos de higiene e conforto dos sistemas originais. Essa redução pode ser buscada mediante mudanças de hábitos de uso da água ou com a adoção de aparelhos e equipamentos poupadores (BRAGA; GOBETTI, 1997).

A gestão da demanda de água pode ser entendida como a procura pelo equilíbrio entre a quantidade de água disponível e as necessidades humanas por meio do racionamento de recursos, em vez do aumento da oferta (BROOKS, 2006).

Dessa forma, a GDA acentua o papel determinante que os usuários têm no equilíbrio entre a disponibilidade de água e o atendimento das necessidades humanas (SLAVÍKOVÁ *et al.*, 2017).

Durante quase todo o século XX, a GDA recebeu pouca atenção. O abastecimento era planejado simplesmente multiplicando o uso *per capita* esperado pela população a ser servida. Assim, as construções hidráulicas, como reservatórios e canais, eram feitas para essa quantidade calculada (STAVENHAGEN *et al.*, 2018).

Nas décadas de 1970 e 1980, alguns fatores fizeram esse processo ser repensado, como: a menor quantidade de recursos naturais inexplorados perto das cidades; recursos subterrâneos contaminados ou esgotados; aumento das secas; intensa competição entre os usos doméstico, industrial e agroecológico; crescente consciência ambiental; maior entendimento da população sobre a interdependência entre água, funcionamento do ecossistema e saúde; e o alto custo para construir e manter a infraestrutura necessária (KEMPER, 1996).

O valor atribuído à água como bem econômico a faz suscetível aos incentivos dados, ou seja, se o valor for muito baixo as pessoas tendem a usar em abundância, sem preocupação com o uso racional; se o recebimento da água não for contínuo, tendem a retirar mais do que precisam para estocar; se a água for cara, tendem a usar de forma mais eficiente (KEMPER, 1996). Assim, a cobrança deve ser implementada de maneira que o usuário direcione seu comportamento no sentido da sustentabilidade ambiental, ou seja, cobrar mais quanto maior for a escassez de água.

Todos esses pontos incentivam outra solução ao problema da demanda que é encorajar o uso eficiente e produtivo da água já disponível. A gestão de demanda de água surgiu dessa ideia e é algo essencial para complementar e até substituir a gestão da oferta de água (GOA) e outras medidas associadas.

A legislação que norteia o consumo dos recursos hídricos, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA - de 2004, tem como objetivo promover o uso racional da água, visando definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos para uma efetiva economia de água (BARROS *et al.*, 2015).

Dentro desse programa foram elaborados Documentos Técnicos de Apoio (DAT's). Os DAT's que abordam as tecnologias economizadoras de água são DTA-F1 e DTA-F2. O DTA-F1 apresenta as tecnologias poupadoras de água nos sistemas prediais disponíveis; e o DTA-F2 descreve os tipos de produtos economizadores de água existentes.

A Lei nº 9.433/1997 instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), sendo este um marco legal para gestão dos recursos hídricos no Brasil. Essa lei determina um processo

participativo e descentralizado para a gestão de recursos hídricos, em nível de bacia, envolvendo a sociedade civil, usuários da água e o poder público (BRASIL, 1997).

De acordo com Xiao *et al.* (2018), três fatores têm acelerado o desenvolvimento da GDA:

- o aumento dos conflitos por água, causado pela escassez;
- grande potencial de uso eficiente da água, adotando tecnologias e políticas de consumo;
- o impacto das mudanças climáticas na quantidade de água disponível.

A GDA deve ser compreendida sob diferentes perspectivas, desde a visão individual de um consumidor doméstico até a de uma indústria de grande porte. Para isso, existem diversos instrumentos de gestão de demanda de água para auxiliar no consumo consciente deste recurso.

Conforme Studart e Campos (2001), os instrumentos para a gestão da demanda de água podem ser classificados em três categorias: medidas conjunturais, incentivos e intervenção direta. As medidas conjunturais são as regras básicas para o fornecimento e utilização da água, como os direitos de uso, propriedade da terra e legislações. Já os incentivos podem ser os mais diversos para a conservação e realocação da água para usos de maior valor. Com relação à intervenção direta do poder público, buscam-se medidas para melhorar a eficiência do sistema e incentivos junto à população. O Quadro 1 descreve alguns desses instrumentos que podem ser utilizados para uma GDA.

Quadro 1 - Categorias de instrumentos de gestão de demanda de água (continua)

Instrumentos para a gestão da demanda de água		
Medidas Conjunturais	Arranjos legais e institucionais	São as leis que surgiram ao longo do tempo e os maiores obstáculos para seu uso racional.
	Privatização	Atualmente observa-se, no Brasil, a forte atuação do setor público no controle dos recursos hídricos. Isso ocorre pois essa atividade gerencia um bem público: a água. Mas essas agências sofrem sérias deficiências e a privatização vem se mostrando uma saída nos países mais desenvolvidos.
	Políticas macroeconômicas	As políticas direcionadas ao setor de recursos hídricos podem ser inócuas se forem separadas das questões macroeconômicas do país.

Quadro 1 - Categorias de instrumentos de gestão de demanda de água (continuação)

Instrumentos para a gestão da demanda de água		
Incentivos	Incentivos econômicos	O ser humano procura maximizar a utilidade do bem.
	Tarifa de água	O benefício de consumir a água equivale ao custo de provê-la. Pode ser um meio de conservação da água dependendo de como o consumidor responde ao aumento no seu preço.
	Cobrança pela poluição	O poder público cobra uma compensação financeira pela poluição causada pelo usuário.
	Incentivos fiscais	Como exemplo a redução no valor cobrado pela taxa de ligação de água nas edificações que utilizassem descargas sanitárias com jatos de menor vazão.
	Realocação da água	A maior quantidade de água sendo fornecida para fins mais nobres como o abastecimento urbano.
	Campanhas educativas	São frequentemente usadas, com sucesso, como instrumento de conscientização, principalmente com crianças, para que o uso racional fique enraizado desde cedo.
Intervenção direta do poder público	Melhorias no sistema	A eficiência do sistema pode ser obtida através de obras que tragam melhorias na estrutura física de redes, reservatórios e estações elevatórias e também na criação de programas para o incentivo dessa eficiência.
	Reciclagem e reúso	Estímulos para que a população adote ações de economia de água através da reciclagem dos recursos hídricos e do reúso de água servidas para fins não potáveis.
	Diminuição da poluição da água	Ações que possibilitem a redução de poluentes nas águas por meio de controle de emissões em corpos hídricos ou uso de tecnologias para melhoria da qualidade da água.

Fonte: Elaborado pelo autor com informações de Studart e Campos (2001).

A GDA visa aumentar a eficiência e produtividade do uso da água, incentivando mudanças no comportamento dos usuários por meio de medidas estruturais e/ou não-estruturais. Medidas estruturais referem-se a qualquer construção ou implementação física usada para conservar água, como instalação de descargas econômicas; e medidas não-estruturais são mudanças que não envolvem diretamente alterações físicas, como programas educacionais para promover o uso eficiente (SAVENIJE; VAN DER ZAGG, 2002).

Esta melhora na eficiência e produtividade pode ser vista sob alguns aspectos, entre eles a redução da quantidade ou qualidade da água necessária para realizar alguma atividade; a mudança na forma da atividade para que ela possa ser feita com menor quantidade ou qualidade de água; a redução das perdas no transporte da água entre o manancial e o uso; a mudança nos tempos de uso para períodos de pico; e o aumento da habilidade do sistema em operar nas secas (SAVENIJE; VAN DER ZAGG, 2002).

O reaproveitamento de água da chuva, dessalinizadores de água, o uso de equipamentos poupadores de água, a medição individualizada e os modelos de cobrança pelo uso são também soluções que vêm sendo apresentadas para combater esse desperdício e manter um uso racional.

De acordo com Brasil (2014), a gestão de água pode ser compreendida nos seguintes níveis de análise: o macro, que engloba ações em sistemas ambientais e bacias hidrográficas de grande escala; o meso, que abrange ações nos sistemas constituintes do saneamento (abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de águas pluviais) e o micro, que compreende medidas em edificações.

Em nível municipal, as cidades devem abordar a gestão da água e os desafios governamentais para os casos de muita água, pouca água e água poluída. Em um estudo da OECD (2016) são apontados como os principais desafios para a efetiva gestão da água: a falta de infraestrutura; as leis e regulamentações nacionais; os eventos extremos; as mudanças climáticas; a falta de atenção para o caso da água nas agendas políticas; e o crescimento urbano e populacional.

Em grande parte, as pessoas não aderem a tecnologias avançadas para redução de consumo se não obtiverem benefícios. Por isso, muitas vezes incentivos externos são requeridos para atrair a mudança no comportamento dos usuários, especialmente para aqueles que têm grande potencial de conservação.

Várias pesquisas têm estudado o efeito do uso das ferramentas do GDA e seus impactos sobre os recursos naturais. Slavíková *et al.* (2017) desenvolveram um estudo na República Tcheca mostrando que a falta de mecanismos de GDA causa escassez de água, mesmo em países com abundância do recurso, pois a atenção será sempre voltada para a oferta e não para a demanda do recurso existente. Além disso, a pesquisa demonstrou que pequenas alterações nas tarifas de água podem gerar grandes mudanças para que se tenha um consumo sustentável e a mesma quantidade de água pode ser alocada de forma mais efetiva.

Nesse mesmo contexto do uso de tarifas como instrumento da gestão da demanda, Zaied *et al.* (2020) analisaram um sistema tarifário não-linear para ser aplicado nas contas de água da Argélia, de forma que pequenos consumidores (geralmente usos residenciais), pagariam menos que os grandes consumidores (agricultura e indústria, por exemplo), mas de uma forma não-linear de cobrança. Isso significa que, quem consome menos pagará bem menos do que quem consome mais. Segundo a pesquisa, essa forma de tarifação teria um impacto positivo tanto para que os pequenos consumidores não atrasem as faturas, quanto para que os grandes consumidores valorizem mais o recurso, implementando formas de reúso.

Mas, mudança apenas no valor cobrado pela água não é suficiente, a não ser que esteja associada a um conjunto de políticas claras e bem definidas (SADR *et al.*, 2021). Um estudo realizado em Pune na Índia sugeriu que a tarifação da água pode ser eficiente na redução do

consumo, mas precisa estar aliada com uma conscientização da população sobre seu uso (PATWARDHAN E VISHWANATH, 2017).

Em uma pesquisa mais recente, Sadr *et al.* (2021) analisaram o impacto do uso de duas ferramentas do GDA: reúso de águas cinzas e aparelhos poupadores de água por meio de simulações nos consumos domésticos no Reino Unido. Com o uso de uma ferramenta de simulação e um banco de dados de consumo das residências, concluíram que essas duas ferramentas do GDA podem aumentar significativamente o uso eficiente da água.

2.1.1. Ambientes públicos e a gestão da demanda de água

O ambiente público é definido como aquele que, dentro do território urbano tradicional, seja de uso comum e posse coletiva, pertence ao poder público (NARCISO, 2009).

Em edificações de uso público a eficiência do sistema de abastecimento assume grande importância, devido a existência de grandes consumidores de água, aos elevados índices de patologias nos sistemas hidráulicos, a falta ou ineficiência na manutenção, a falta de sensibilização dos usuários para conservação e ao fato do usuário não ser o responsável direto pelo pagamento da conta de água.

É uma referência para a sociedade, principalmente ambientes educacionais, pois tem o papel de formação de cidadãos, de maneira a conscientizar e preparar mentes capazes de praticar ações em benefício da própria sociedade. Diante deste cenário, é notório que a GDA pode contribuir para redução substancial do consumo de água em ambientes públicos. Diversas Universidades têm desenvolvido sistema inteligentes para monitoramento do consumo.

Além disso, segundo o Decreto Nº 7.746/2012 as instituições públicas de ensino superior possuem a responsabilidade de elaborar e executar o Plano de Gestão de Logística Sustentável (PLS), que visa traçar metas claras e objetivas para estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização dos gastos e processos dos órgãos públicos, entre essas a maior eficiência na utilização de recursos naturais como água e energia e uso de inovações que reduzam a pressão sobre recursos naturais.

Também deve-se ressaltar o papel das universidades na implementação dos Objetivos dos Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente o objetivo 6 que fala sobre garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos, estabelecendo ações que devem ser implementadas até 2030 para atingir esses objetivos.

Em São Paulo foi desenvolvido na Universidade Estadual de Campinas o programa PRÓ-ÁGUA, em 19 edificações, com a detecção e o conserto de vazamentos, obtendo-se uma redução de 20% nos custos (OLIVEIRA, 2009).

Na Universidade de Brasília, o Programa de Consumo Inteligente foi dividido em três etapas. A primeira de determinação das necessidades e possibilidades de redução, a segunda de levantamento dos custos de instalação de novos hidrômetros e a terceira de campanhas educativas. Com isso foi possível economizar cerca de 14% no consumo hídrico (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2006).

Na Paraíba, a Universidade Federal de Campina Grande, desde 2017, vem implantando práticas para redução do consumo de água no câmpus sede. A Prefeitura Universitária substituiu a rede de abastecimento e fez troca de aparelhos convencionais por aparelhos poupadores de água. Além disso, Brandão *et al.* (2019) desenvolveram um sistema inteligente de baixo custo para monitoramento em tempo real do consumo de água. O sistema foi instalado em cinco prédios e envia os dados a cada quinze minutos para um servidor, possibilitando acesso por meio da internet. Com esse sistema já foi possível detectar e reparar vazamentos e faltas de água na instituição.

Na Universidade Federal da Bahia, o programa PURA – UFBA visa reduzir o consumo de água com algumas medidas principais, tais como a substituição de hidrômetros convencionais, a implantação de sistema de telemedição computadorizada, a detecção de vazamentos na rede de distribuição e reservatórios, a identificação e correção das falhas nos pontos de consumo, reciclagem da água de processos, o estudo do perfil de uso da água e campanhas educativas de modo a minimizar o desperdício de água, entre outras. Obteve-se uma redução de 45% no consumo (MENDES, 2006).

Também são reportadas algumas experiências internacionais. Nos Estados Unidos, a Stanford University desenvolveu um programa de conservação da água usando novas tecnologias nos sistemas de irrigação e substituição de aparelhos de alta vazão por aparelhos poupadores (STANFORD UNIVERSITY; MADDAUS WATER MANAGEMENT, 2003).

Na França, a Universidade de Lille utiliza redes neurais para previsão do consumo no câmpus de Ciência e em um restaurante situado no interior da universidade. O estudo mostra que as redes neurais conseguem prever com exatidão as demandas, inclusive os picos (FARAH *et al.*, 2019).

Dentre as diversas práticas utilizadas para gestão da demanda de água e conseqüente redução do consumo, um dos principais desafios para implantação destes modelos é o custo inicial investido, que muitas vezes é avaliado apenas como despesa, sem a consideração de que geram economia a longo prazo, tanto econômico-financeira como ambiental.

A automação de medidores de vazão em sistemas prediais de água é uma alternativa que vem sendo utilizada e têm gerado resultados positivos no tocante à economia, identificação de anormalidades no consumo e vazamentos nas tubulações.

Porém, os sistemas de automação disponíveis no mercado possuem alto custo, o que limita a aplicação destes quando os recursos são limitados. A ideia de utilizar um protótipo medidor de vazão automatizado com menor custo permite que o monitoramento do consumo em residências e prédios seja realizado em tempo real, proporcionando um maior controle por parte do usuário, de forma a minimizar o desperdício e realizar uma gestão de demandas nas instalações prediais.

2.2. Equipamentos de medição remota

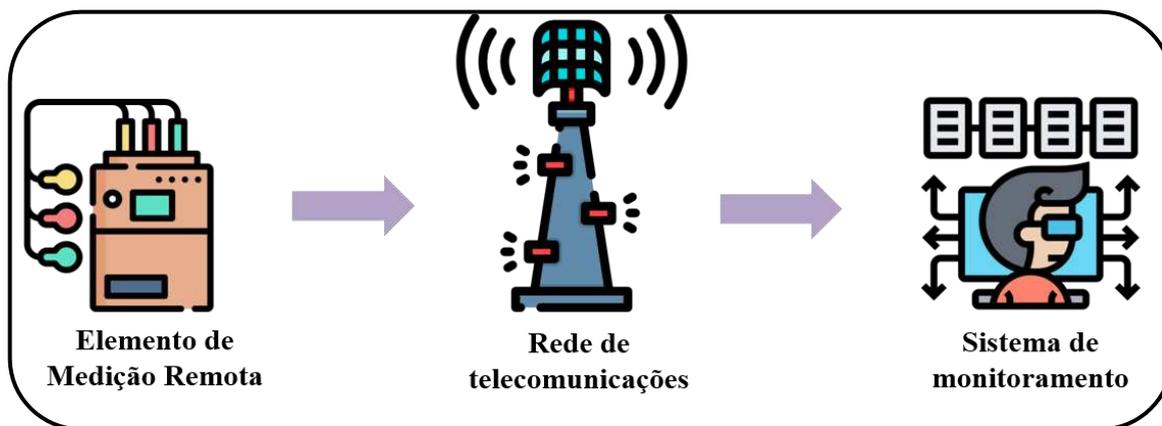
Conceitua-se telemetria como o processo de medição remoto da variação das características dos objetos monitorados (por exemplo, fluxo de água em um hidrômetro) que transfere os resultados coletados para uma estação distante, onde serão analisados e consistidos (SILVA; MOREIRA, 2004).

A arquitetura de telemetria é composta por três subsistemas (Figura 1): o Elemento de Medição Remota (EMR), que engloba os medidores e os componentes de transmissão; a rede de telecomunicações utilizada, podendo ser a internet, rede de celular, rede telefônica ou outras; e o sistema de monitoramento e gerenciamento da informação, onde são analisadas todas as informações obtidas remotamente (SILVA; MOREIRA, 2004).

O EMR faz a medição dos dados desejados para que sejam enviados através do subsistema de transmissão. Esse elemento é instalado no equipamento a ser supervisionado ou próximo a ele, e as informações são enviadas por meio de uma rede de telefonia móvel para uma central de monitoramento, possibilitando a obtenção de dados em locais distantes, otimizando recursos e racionalizando custos.

A rede de telecomunicação é o meio físico ou lógico pelo qual as informações trafegam, possibilitando a obtenção de uma solução de rede de dados mais acessível. Ela permite ao sistema de monitoramento receber e enviar os dados capturados e resultantes do processamento, interferindo no objeto monitorado, controlando e configurando o sistema de telemetria.

Figura 1 - Sistema de telemetria



Fonte: Autor (2022).

2.3. Sistemas inteligentes de medição (*smart meters*)

O gerenciamento eficaz dos recursos necessita de monitoramento adequado e confiável das práticas de consumo. Assim, percebe-se a necessidade de desenvolver não só a gestão por partes das companhias, mas também a gestão referente ao usuário. Define-se “gestão do consumidor” qualquer gerenciamento ativo em que o usuário possa atuar diretamente sobre o próprio consumo (BATALLA-BEJERANO; TRUJILLO-BAUTE; VILLA-ARRIETA, 2020).

Dessa forma, uma tecnologia em desenvolvimento conhecida como medição inteligente está sendo utilizada em diferentes ramos visando a otimização dos serviços. Os medidores inteligentes, ou “*smart meters*”, facilitaram a disponibilidade de dados detalhados sobre os padrões de consumo dos usuários, tanto de água quanto de energia elétrica e gás (OTAKI; HONDA; UEDA, 2020).

Medidor inteligente é um dispositivo eletrônico que consegue comunicar informações sobre medição de água, gás ou energia para que sejam monitoradas, controladas e até tarifadas. Esse medidor pode enviar os dados diretamente para a companhia e permite que os usuários tenham detalhes sobre seu consumo e respectivo gasto (ELSISI *et al.*, 2021).

Segundo Luciani *et al.* (2019), os sistemas inteligentes de medição são aqueles que permitem a leitura remota de eletricidade, gás e consumo de água. Existe também uma forma de medição acoplada à informática denominada provedores de serviços digitais multi-utilitários. De acordo com Stewart *et al.* (2018), esse sistema é capaz de coletar simultaneamente dados de consumo de água, eletricidade e gás, e fornecer esses dados por meio de plataformas de fácil manuseio tanto para clientes quanto para as companhias.

Esta ferramenta permite a comunicação remota de dados por meio da utilização de sensores e medidores automatizados que monitoram de forma contínua diferentes sistemas. No

tocante ao abastecimento de água, a chegada dessa tecnologia inovadora amplia a capacidade de monitoramento das redes, inclusive de diferentes parâmetros, sendo possível aferir dados referentes a pressão, qualidade, vazão, entre outros (STEWART *et al.*, 2018.; DEPURU *et al.*, 2011.; RHODES *et al.*, 2014).

A possibilidade dos usuários terem acesso a informações em tempo real do seu consumo permite que interações usuário-sistema sejam desenvolvidas e assim o consumidor terá uma participação mais ativa em todo o processo, modificando o seu comportamento e sendo percebido inicialmente uma redução no consumo (BATALLA-BEJERANO; TRUJILLO-BAUTE; VILLA-ARRIETA, 2020). Isso pode ser entendido a partir de uma teoria antiga chamada modelo do déficit de informação de comportamento econômico racional, formulada por Burgess *et al.* (1998). Essa teoria sugere que consumidores informados irão avaliar sistematicamente as alternativas disponíveis para promover seus próprios interesses.

O aumento de medidores inteligentes afeta os consumidores, mas segundo Gosnell *et al.* (2019) a forma e a intensidade desse efeito dependem do quanto e como esses usuários podem interagir com o sistema.

As ciências comportamentais explicam que receber feedback do consumo implica em mudança por dois mecanismos:

- autoconhecimento: consumidores desenvolvem um melhor conhecimento do seu consumo;
- efeito lembrete: consumidores são constantemente lembrados sobre o quanto estão usando.

Infere-se dos autores que informação é necessária para induzir mudanças no comportamento de consumo, mas não é suficiente, pois a informação apenas afeta no quanto os usuários irão balancear entre seu conforto e economia. As decisões sobre uma real alteração de uso dependem de variáveis contextuais e sociais que variam de cada família.

Além disso, segundo Batalla-Bejerano, Trujillo-Baute e Vila-Arrieta (2020) o uso de medidores inteligentes em sistemas elétricos cria novas oportunidades e áreas de ação, mas o sucesso dessa evolução não fica condicionado apenas a natureza tecnológica, sendo necessários aspectos relacionados aos comportamentos humanos: fatores cognitivos, emocionais e sociais.

Contudo, os estudos realizados em 2020 comprovaram uma redução de 32% no consumo de energia elétrica com o uso de medidores inteligentes e outras tecnologias, como aplicativos de celular que fornecem informações sobre o consumo dos usuários.

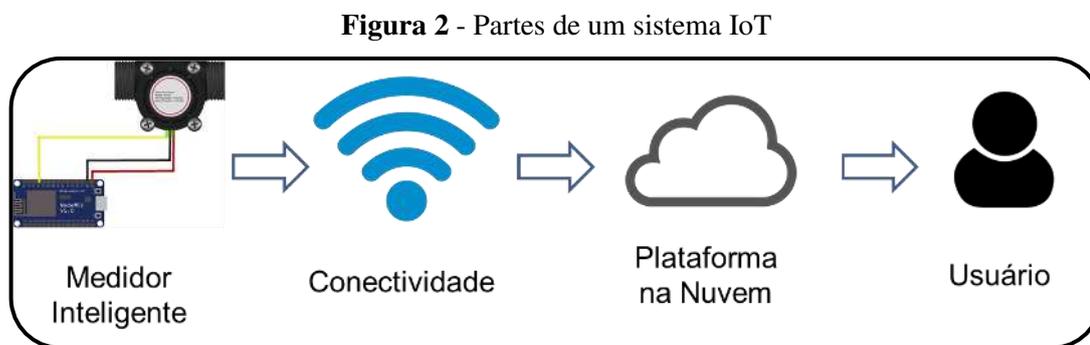
Portanto, substituir medidores convencionais por medidores inteligentes é o primeiro passo para empoderamento do consumidor final, fornecendo maior volume de informações com grande qualidade sobre o seu perfil, possibilitando redução do consumo.

2.3.1. *Sistemas inteligentes de medição e Internet das Coisas (IoT)*

Internet das Coisas ou em inglês “*Internet of Things*” (IoT) é definido como um sistema no qual objetos físicos se tornam participantes ativos e recursos podem ser acessados pela internet para gerar comunicação entre esses objetos. Isso permite que dispositivos e redes se conectem para guardar e compartilhar informações com e/ou sem interferência humana (AL-MADHRAHI *et al.*, 2021).

Segundo Elsis *et al.* (2021), IoT é uma tecnologia no qual diversos componentes físicos são acoplados com componentes eletrônicos embarcados e o conjunto é conectado à internet. O maior benefício do uso de sistemas IoT é sua característica de combinar os elementos físicos na rede de internet, tornando-se uma peça ativa no processamento de negócios ao compartilhar informações em tempo real.

Dessa forma, é possível integrar aos medidores inteligente a tecnologia IoT (Figura 2) proporcionando outras oportunidades de compartilhamento, monitoramento, previsão e controle, realçando, assim, o gerenciamento do recurso.



Fonte: Autor (2022).

2.3.2. *Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0*

A infraestrutura moderna de controle, que gerencia e monitora as comunicações entre máquinas inteligentes, representa a forma mais eficiente de desenvolver a indústria, como por exemplo, por meio do uso dos medidores inteligentes.

Nesse contexto, os sistemas que utilizam *softwares* embarcados e internet para conectar e controlar máquinas e equipamentos estão dentro do conceito de Internet das Coisas. Esses

sistemas formam a base para a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, principalmente os sistemas IoT para medição de consumo e sensores em geral (ELSISI *et al.*, 2021).

A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 é definida como automação continuada dos processos convencionais de manufatura e fabricação, mediante várias tecnologias inteligentes como a comunicação Máquina-Máquina (M2M) e IoT. Essas tecnologias são combinadas nos processos convencionais para melhorar as etapas de produção, bem como permitir comunicação e monitoramento, resolvendo problemas sem a necessidade de intervenção humana (AHELEROFF *et al.*, 2020).

Uma das vantagens em utilizar IoT na Indústria 4.0 é a possibilidade de oferecer alterações em tempo real de acordo com os sensores utilizados e aplicação desejada. O progresso dos sistemas IoT de medição se dá por vários protocolos de comunicação desenvolvidos além da internet, como o *Bluetooth* e comunicação via telefone (GSM – *Global System for Mobiles*), assim é possível gerenciar os sensores a distância. Ademais, incrementação das ciências de dados e aprendizado de máquina permitem desempenho ainda melhor desses sistemas, com tratamento prévio dos dados (ELSISI *et al.*, 2021).

Nesse momento da Indústria, soluções são desenvolvidas, mas novos problemas surgem, principalmente a segurança dos dados coletados. Nessa nova fase da indústria a maior preocupação é a confiabilidade e segurança desses sistemas, por isso deve-se investigar e aplicar métodos para avaliar se os dados sofreram alguma alteração, seja por *hacker* ou por algum mal funcionamento dos sensores utilizados, além do perigo de falta de dados ou comunicação devido a problemas na internet.

2.3.3. Sistemas inteligentes de medição do consumo de água – “smart water meters”

Água é um recurso indispensável e devido ao rápido crescimento populacional e urbanização, o monitoramento do consumo hídrico é um problema significativo na sociedade. Uma forma de controlar, analisar e reduzir o consumo de água das residências é por intermédio dos dispositivos inteligentes integrados com a tecnologia emergente da Internet das Coisas (IoT) (AL-MADHRAHI *et al.*, 2021).

O mundo vem se adaptando a chegada de novas tecnologias que melhoram a qualidade de vida reduzindo o impacto no meio ambiente das atividades e padrões de consumo da sociedade. Mas, mudanças aceleradas no estilo de vida, associado com o aumento da capacidade de pagamento, têm gerado efeitos negativos no uso e racionamento da água (SUNDRESH; PRIYA, 2020).

Em muitas partes do mundo, o consumo de água não é medido nem visualizado em tempo real. Dessa forma, vazamentos não são detectados rapidamente e com precisão, gerando um gasto desnecessário de água (FUENTES; MAURICIO, 2020).

Uma das funções das companhias de abastecimento é identificar como e onde o desperdício de água está acontecendo, o que pode ocorrer devido a negligência dos consumidores finais. Dessa forma, a companhia pode direcionar suas ações de maneira concentrada e solucionar o problema bem mais rapidamente.

Mas, em muitos países, o consumo de água não é medido em tempo real. Assim, o usuário precisa esperar o próximo mês para receber a conta e o quanto foi consumido, que geralmente é determinado através de leituras manuais feitas em cada residência, aumentando o tempo e o custo necessário. Com essa falta de conhecimento sobre os consumos e a incapacidade de rapidamente detectar possíveis vazamentos, perdas econômicas e de recursos naturais surgem.

Uma alternativa para combater isso é com auxílio dos sistemas inteligentes de medição, que conseguem economizar de 2,8 a 10% de água (LIU; MUKHEIBIR, 2018), além de evitar erros nas medições ocasionados por falha humana, criar confiança nos consumidores ao receberem em tempo real dados sobre o seu consumo e respectivo custo e indicar possíveis vazamentos reduzindo a probabilidade de recorrência em 50% (SCHULTZ; JAVEY; SOROKINA, 2018).

Atualmente, esses sistemas são mais utilizados para monitoramento do consumo de energia elétrica do que de água. Porém, há um crescimento no uso desses métodos para medição do consumo de água devido aos benefícios quando comparado com a forma tradicional de medição. Pode-se notar melhorias tanto na cobrança pelo que foi consumido de água, quanto na rápida detecção de perda de água em nível de usuário e em tempo real, gerando economia para a concessionária e para o cliente (STEWART *et al.*, 2018). De acordo com Luciani *et al.* (2019), o impasse maior está nos custos elevados para o monitoramento automatizado em nível de usuário, algo que inviabiliza esse processo.

Um dos principais limitantes do uso de medidores inteligentes para o consumo de água é que uma significativa parcela dos hidrômetros instalados são do tipo mecânico, que possibilitam a leitura apenas visualmente, sendo necessário um operador humano. Esses hidrômetros convencionais ainda representam uma solução barata e confiável. Assim, os medidores ou hidrômetros inteligentes precisam ser capazes de operar junto desses hidrômetros convencionais, possibilitando leituras sofisticadas (ALVISI *et al.*, 2019).

No Reino Unido, as companhias de eletricidade são obrigadas a instalar medidores inteligentes e quadros de acompanhamento de consumo em tempo real, chamados de displays domésticos, para incentivar mudanças e redução no consumo. Mas essas empresas têm insistido que tais mudanças podem ser alcançadas e até superadas apenas com o envio de informações diretamente para aplicativos de celular, reduzindo consideravelmente o custo com os displays (GOSNELL *et al.*, 2019).

A demanda de energia elétrica flutua ao longo do dia, tendo picos de consumo de 12 horas e no início da noite. Nesses momentos de pico é necessário um custo maior para que a oferta alcance a demanda, por isso o uso de medidores inteligentes pode facilitar a medição e fornecimento de informações em tempo real para possibilitar o uso de tarifas dinâmicas, incentivando o consumidor a modificar seu comportamento. A esse uso de diferentes preços, variando de acordo com o consumo, dá-se o nome de Tarifação em Tempo Real (BATALLA-BEJERANO; TRUJILLO-BAUTE; VILLA-ARRIETA, 2020).

Sengundo Cunha *et al.* (2020), nos casos de companhias elétricas os processos de leitura e furto são assuntos importantes pois geram diferenças nas contas, afetando até mesmo o consumidor. Por isso, para evitar o envolvimento humano, principalmente no processo de cobrança sobre o que foi realmente utilizado e aumentar a acurácia, os medidores inteligentes para leitura e envio de informações devem ser utilizados.

O mesmo entendimento pode e deve ser extrapolado para as companhias de abastecimento de água, pois os processos de leitura, furto e cobrança também são presentes e a necessidade de mão-de-obra humana, além de encarecer, necessita de mais tempo e fica vulnerável aos mesmos erros por não haver uma forma de evitar adulterações. Assim, o uso de medidores inteligentes auxilia no melhor gerenciamento dos recursos hídricos.

Além disso, ao usar estratégias que dependem do trabalho humano, diferentes erros podem acontecer por serem menos precisos e confiáveis, defeitos que podem ser reduzidos e até eliminados em sistemas inteligentes.

Hoje existe um crescente interesse em aplicar medidores inteligentes para consumo de água, o que antes era apenas focado em gás e eletricidade. Isso pode ser explicado pelo fato da água representar uma mercadoria mais barata que esses outros dois, mas os vazamentos representam grande risco e são difíceis de serem detectados, o que estimulou o uso desses medidores também no consumo de água (SHARMA *et al.*, 2015; ARAUJO *et al.*, 2018; ALVISI *et al.*, 2019).

Além disso, a preocupação atual de sustentabilidade na sociedade moderna estimula o desenvolvimento do mercado de medidores inteligentes para consumo de água, com o intuito de acabar com os vazamentos (LOUREIRO *et al.*, 2014).

Os medidores inteligentes de água permitem fazer leituras periódicas sem a necessidade de entrar nas residências e o sistema tarifário será mais transparente para os clientes (AL-MADHRAHI *et al.*, 2021).

As empresas de serviços de água estão notando as enormes oportunidades e benefícios com a transição para a era digital de medição. Existe a maior cobrança por clientes e comunidade em geral para usos mais ecológicos e transparentes, assim os medidores tradicionais de provimento de água estão ficando obsoletos e sem capacidade de transmitir tal imagem. Por isso os medidores convencionais estão sendo substituídos pelos medidores inteligentes (KABALCI, 2016). Como demonstrado no trabalho de Beal e Flynn (2015), na Austrália e Nova Zelândia mais de 250 mil medidores inteligentes já substituíram os convencionais e os investimentos estão direcionados para um crescimento desse número.

Os custos de transação são reduzidos pois o fluxo de informação é facilitado com o uso de medidores inteligentes e mudanças no gerenciamento doméstico ocorrem com o objetivo de diminuir consumo através de preços mais elevados em horários de pico (BATALLA-BEJERANO; TRUJILLO-BAUTE; VILLA-ARRIETA, 2020). Dessa forma, o uso de medidores inteligentes permite a criação de novas tarifas a partir do consumo em tempo real, ocorrendo alteração no preço conforme aumento da demanda, fazendo com que os usuários reduzam seu consumo nesses períodos.

Teoricamente, o uso de medidores inteligentes, combinados com medidas tarifárias dinâmicas, permite que os usuários adequem suas demandas modificando seu padrão de consumo. Mas, para uma mudança efetiva deve-se entender que nem todos os consumidores possuem as mesmas condições socioeconômicas e cada um reagirá de forma diferente. Por isso, é necessário um estudo que compreenda fatores técnicos, sociais e psicológicos, que facilitem adaptações nos padrões de consumo (BATALLA-BEJERANO; TRUJILLO-BAUTE; VILLA-ARRIETA, 2020).

Atualmente existem vários medidores inteligentes que ajudam a detectar, prever e alertar, em tempo real, qualquer anomalia no consumo, seja falta ou vazamento de água.

Horsburgh *et al.* (2017) desenvolveram um hidrômetro digital que usa um microcontrolador e conexão com a internet para envio de dados de consumo para o sistema. Os autores estudaram os sub-ramais que abastecem as peças internas de dois banheiros na

Universidade Estadual de Utah e conectaram sensores de presença para contabilizar o uso por pessoa.

Ray e Goswami (2020) desenvolveram um medidor inteligente de consumo de água, utilizando IoT e computação em nuvem para coletar dados em tubulações. Esse medidor foi desenvolvido na Índia, com baixo custo e com uma mini placa solar acoplada para a alimentação do protótipo.

Luciani *et al.* (2019) também desenvolveram um medidor inteligente de consumo de água. O sistema foi instalado em residências de uma pequena vila localizada no norte da Itália e emite alerta de vazamentos se for constatado consumo ininterrupto por, no mínimo, 48 horas.

Kattan e Alrawi (2018) utilizaram um sistema IoT feito com o Arduino conectado a um sensor de fluxo do tipo efeito hall para detecção de consumo e sensores de temperatura, umidade e nível de água nos reservatórios. O estudo foi desenvolvido na cidade Erbil localizada no Iraque e mostrou precisão dos dados coletados.

Gosavi e Gawde (2017) desenvolveram um dispositivo IoT formado por dois microcontroladores: Arduino e Raspberry Pi. O Arduino funciona como coletor dos dados pois está ligado diretamente aos sensores. Após a coleta, o Arduino envia os dados para o Raspberry Pi que está conectado no servidor e transmite as informações para a internet. Essa pesquisa foi elaborada na cidade de Goa na Índia e apresentou resultados satisfatórios.

2.3.4. Sistemas inteligentes de medição de água e detecção de vazamentos

Vazamento de água é um ponto crítico tanto para as companhias quanto para os consumidores finais. Esses vazamentos podem não ser percebidos e detectados por um longo período, causando perda e outros danos (SCHULTZ; JAVEY; SOROKINA, 2018). Isso é mais crítico ainda em regiões que sofrem com estresse hídrico, como o estado da Paraíba.

Dentre as diversas inovações que os medidores inteligentes podem trazer, uma das mais importantes, tanto para consumidores finais quanto para as concessionárias de água, é a capacidade de detectar e eliminar vazamentos rapidamente.

Medidores inteligentes de água conseguem monitorar e detectar vazamentos com base em padrões anormais de consumo, por exemplo, quando identificado um fluxo contínuo por mais de 24 horas (SCHULTZ; JAVEY; SOROKINA, 2018).

Poucos trabalhos têm sido direcionados para comunicar vazamentos para os moradores (SCHULTZ; JAVEY; SOROKINA, 2018). Na prática, mesmo que o volume de água perdido a nível de usuário seja pequeno, se considerar todos os consumidores de um bairro ou cidade, isso representa um valor considerável a longo prazo (LUCIANI *et al.*, 2019).

Além disso, quando vazamentos não são rapidamente detectados, os consumidores têm que pagar contas exorbitantes no mês seguinte e apenas assim notar a anormalidade. Os medidores inteligentes de água são capazes de identificar e limitar essas perdas, via dados em tempo real. Vazamentos em residências só são identificados pelos usuários quando são significativamente perceptíveis ou visíveis, pois os hidrômetros convencionais não são capazes de alertar sobre eventos como esse (LUCIANI *et al.*, 2019).

Muitos estudos e métodos atuais estão interessados em identificar e quantificar vazamentos, como o Fluxo Mínimo Noturno (FMN), que caracteriza como vazamento se ocorrer consumo contínuo não nulo de 2 as 5 horas da manhã; o Consumo Contínuo Não Nulo (CCNN) que caracteriza como sendo um vazamento caso o consumo nunca fique nulo dentro de 24 ou 48 horas; e o Balanço Hídrico, sendo considerado a diferença entre montante que abastece o bairro e o consumo individual de cada residência. Mas a maioria desses estudos tem foco na rede de distribuição, estudos a nível de usuário ainda são escassos (FUENTES; MAURICIO, 2020; BRITTON *et al.*, 2008; LUCIANI *et al.*, 2019).

Luciani *et al.* (2019) desenvolveram um sistema de monitoramento e processamento do consumo doméstico de água em tempo real com o objetivo de identificar vazamentos. O medidor envia os dados para um sistema de monitoramento por comunicação a rádio e esse transmite a uma plataforma na nuvem. Além disso, desenvolveram de forma empírica um algoritmo para detectar vazamentos. Esse algoritmo se baseia no fato que o consumo residencial tem um padrão de consumo caracterizado por períodos no dia com alto consumo, alternando com períodos que o consumo decai a zero, geralmente durante a noite.

Assim, quando ocorre um vazamento existirá um consumo contínuo sem decaimento e sem chegar a zero, mas isso não pode ser generalizado para outros usos como fábricas, que podem ter consumo contínuo durante dia e noite sem que existam vazamentos.

Esse algoritmo se assemelha com o método do Fluxo Mínimo Noturno, no qual se não ocorrer consumo nulo de 2 as 5 da manhã, então existe a probabilidade de vazamento. Mas o algoritmo desenvolvido nesse trabalho não se limita apenas ao período noturno. Assim são consideradas duas variáveis:

- Fluxo Mínimo Noturno: consumo zero de 2 as 5 horas da manhã;
- Fluxo Contínuo em 24 horas: se no período de 24 horas o consumo nunca zerar, existe vazamento.

Esse estudo coletou informações de 193 residências de uma pequena vila no norte da Itália, chamada Gorino Ferrarese, de 29 de junho de 2016 a 9 de janeiro de 2018, identificando

192 vazamentos nesse período com acuraria superior a 90% dos vazamentos encontrados pelo algoritmo.

Schultz, Javey e Sorokina (2018) realizaram um estudo em larga escala com mais de 85 mil medidores na cidade de Sacramento, na Califórnia, de 2015 a 2017. O estudo mostra o uso de medidores inteligentes e comunicação de vazamentos aos moradores. Duas formas de comunicação foram focadas:

- portal *on-line* chamado “*EyeOnWater*” – “De olho na água” com dados de consumo a cada hora, histórico de consumo, informações sobre possíveis vazamentos e comparação com o consumo de residências similares;
- para monitorar e detectar vazamentos, foi determinado que se ocorresse fluxo contínuo de 7,5 galões/hora por mais de 24 horas um aviso de possível vazamento seria emitido.

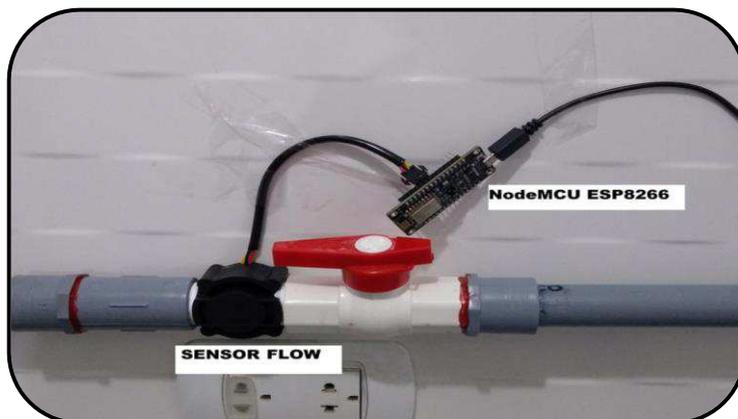
Como resultados, percebeu-se maior consumo nas residências durante o verão e também que os vazamentos ocorreram mais no verão do que em outras estações. Além disso, também foi analisado quanto tempo duravam esses vazamentos até serem consertados. Observou-se que antes do uso do portal *on-line*, os vazamentos duravam até 29 dias, sendo reduzidos para 19 dias após o uso do sistema *on-line* de comunicação.

Uma limitação nesses dois trabalhos citados são os casos em que o fornecimento de água é intermitente, ou seja, existem períodos sem recebimento de água. Dessa forma, os sistemas inteligentes não conseguem detectar o vazamento de forma eficiente, pois sempre existirá consumo nulo e não haverá como diferenciar uma tubulação quebrada ou apenas o não fornecimento de água. Uma maneira de desviar desse problema seria instalando os medidores após a caixa d’água, para as residências com reservação.

Fuentes e Mauricio (2020) desenvolveram um sistema de medição de consumo utilizando tecnologia IoT e computação em nuvem, composto por 5 partes:

1. coleta o consumo de água usando um sensor de fluxo e um microcontrolador NodeMCU e envia encriptado para a central a cada 1 minuto (Figura 3);

Figura 3 - Sistema de medição de consumo de água

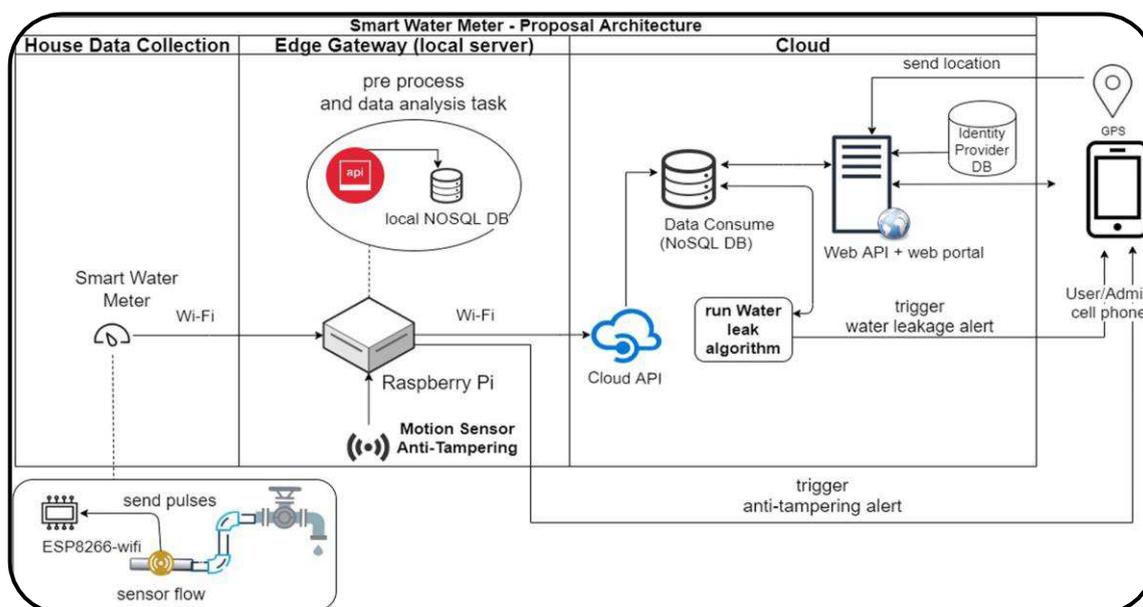


Fonte: (FUENTES e MAURICIO, 2020).

2. a central é formada por um *Raspberry* que após receber os dados faz um pré-processamento;
3. mecanismo anti-adulteração: um sensor de movimento avisa se alguém chegou perto ou manipulou a central;
4. os dados são armazenados na nuvem e podem ser visualizados;
5. é feita a análise de consumo pelo algoritmo para detectar vazamento.

O sistema todo pode ser entendido na Figura 4.

Figura 4 - Sistema completo de medição do consumo de água utilizando tecnologia IoT e computação em nuvem



Fonte: (FUENTES; MAURICIO, 2020).

No medidor desenvolvido por Fuentes e Mauricio (2020), além dos algoritmos do Fluxo Mínimo Noturno (FMN) e Consumo Contínuo Não-Nulo (CCNN), foi implementado o local e

histórico de consumo para melhorar a precisão e determinar um possível vazamento se o morador não estiver em sua residência.

O algoritmo desses autores detecta se existe vazamentos considerando quatro cenários:

- cenário A: verifica se o valor de consumo é negativo ou se o acumulado nas últimas 24 h tem tendência negativa. Isso pode ser falha no sensor;
- cenário B: verifica se existe consumo contínuo nas últimas 24 h: é a regra CCNN;
- cenário C: verifica se o consumo recebido coincide com os últimos 2 recebidos, chama-se a regra dos 3 Consumos Similares 3CS;
- cenário D: verifica se o consumo é maior que o histórico registrado.

A cada iteração o algoritmo verifica se o consumo se encaixa em algum dos cenários, em caso positivo, um alerta de possível vazamento é enviado ao administrador que pode confirmar ou rejeitar e assim irá melhorar o algoritmo.

Outros estudos dessa temática vêm sendo desenvolvidos. Farah e Shahrour (2017) criaram um sistema inteligente de medição e implementaram Balanço Hídrico e FMN para detectar possíveis vazamentos em um câmpus universitário, conseguindo precisão de 97%. Os mesmos autores desenvolveram outro estudo em 2018 e demonstraram que utilizando um sistema automático de monitoramento, vazamentos podem ser detectados rapidamente.

2.3.5. Computação em nuvem - Cloud Computing

Da mesma forma que as nuvens são formadas pela junção de moléculas de água, a palavra nuvem em computação em nuvem significa que é formada pela junção de redes de computadores (SRIVASTAVA; KHAN, 2018). Assim, Nuvem é uma metáfora para internet pois nos fluxogramas para representar a internet se utiliza o desenho de uma nuvem.

Computação em nuvem é um conjunto de recursos como *hardwares*, *softwares*, banco de dados e plataformas, que retiram do usuário a necessidade de uma grande infraestrutura e passa essa responsabilidade para a computação em nuvem. Dessa forma a necessidade de *softwares* e *hardwares* do lado do usuário é reduzida, pois todo o processamento robusto é feito na nuvem. Assim, a principal vantagem da computação em nuvem é a redução de custos (SRIVASTAVA; KHAN, 2018).

A tecnologia IoT sozinha não consegue satisfazer o crescente número de consumidores e suas requisições computacionais, assim a necessidade da computação em nuvem se tornou primordial (ALMOLHIS *et al.*, 2020).

Com o rápido crescimento da Internet das Coisas um problema surge, que é a necessidade de armazenamento e processamento dessa enorme quantidade de dados. Uma solução é terceirizar essas atividades para a computação em nuvem (DANG *et al.*, 2019), reduzindo a necessidade de *softwares* e *hardwares* mais complexos nos sistemas IoT e assim reduzindo custos.

A noção de IoT em computação em nuvem, ou IoT em nuvem, pode ser entendido como a integração da tecnologia IoT com os recursos da computação em nuvem, principalmente por dois motivos:

1. IoT se beneficia das características da computação em nuvem como elasticidades e serviços por demanda;
2. como a tecnologia IoT tem recursos limitados, a computação em nuvem consegue armazenar e processar uma grande quantidade de dados.

Essa junção do IoT com a computação em nuvem pode ser chamada de várias formas diferentes, como Nuvem das Coisas, Nuvem IoT, IoT na nuvem. Independente da nomenclatura, essa união permite que seja aproveitado o máximo das duas tecnologias e até que sejam criadas novas funcionalidades, além de resolver problemas de segurança enfrentados pelo uso do IoT (SALAH, 2019) (ZAMORA-IZQUIERDO, 2019; BHAWIYUGA, 2019).

Atualmente existem várias plataformas capazes de fornecer serviços de computação em nuvem, específicos para sistemas IoT e mais ainda para sistemas de monitoramento do consumo de água. Essas plataformas oferecem serviços de banco de dados para armazenamento das informações; funções *endpoint* para emitir alertas quando limites preestabelecidos são alcançados; visualização em tempo real das informações por meio de quadro interativos; controle sobre a conectividade do dispositivo à plataforma e atualizações *Over-the-Air* (OTA), possibilitando alterações no código a distância, sem a necessidade de contato físico com o microcontrolador.

Comumente essas aplicações são chamadas de Plataformas IoT e são responsáveis por permitir a computação em nuvem (*Cloud Computing*). *Arduino IoT Cloud*, *Microsoft Azure*, *Google Cloud IoT*, *Thingier.io*, *ThingSpeak*, *IBM Cloud* e *ThingsBoard* são exemplos de plataformas IoT que, em resumo, oferecem os seguintes serviços:

- conectividade para os sensores;
- banco de dados;
- inteligência artificial;
- análise e processamento dos dados;

- visualização amigável dos dados coletados;
- disparo de ações automáticas programadas.

A maioria dessas plataformas possuem planos gratuitos e pagos, diferenciando-os nos tipos de serviços ofertados e quantidade de dispositivos que podem ser conectados.

Fuente e Maurício (2020) utilizaram a plataforma *Cloudant* da *IBM Cloud* e as análises pela *IBM Stream Flow Analysis*, já a visualização foi feita na plataforma *Azure Cloud* da *Microsoft*.

Luciani *et al.* (2019) utilizaram a plataforma *Rilheva IoT* para armazenamento e processamento dos dados com o algoritmo criado para detectar vazamento, além de possibilitar a visualização das informações pelos consumidores e concessionárias.

Al-Omary, Alsabbagh e Al-Rizzo (2018) desenvolveram um sistema inteligente para monitoramento de jardim utilizando *Arduino*. Com o sistema é possível medir a umidade do solo e fornecer a quantidade necessária de água. Toda as informações obtidas são enviadas para a plataforma *Thingspeak IoT Cloud*, que possui integração com o *MatLab* para análises matemáticas mais avançadas.

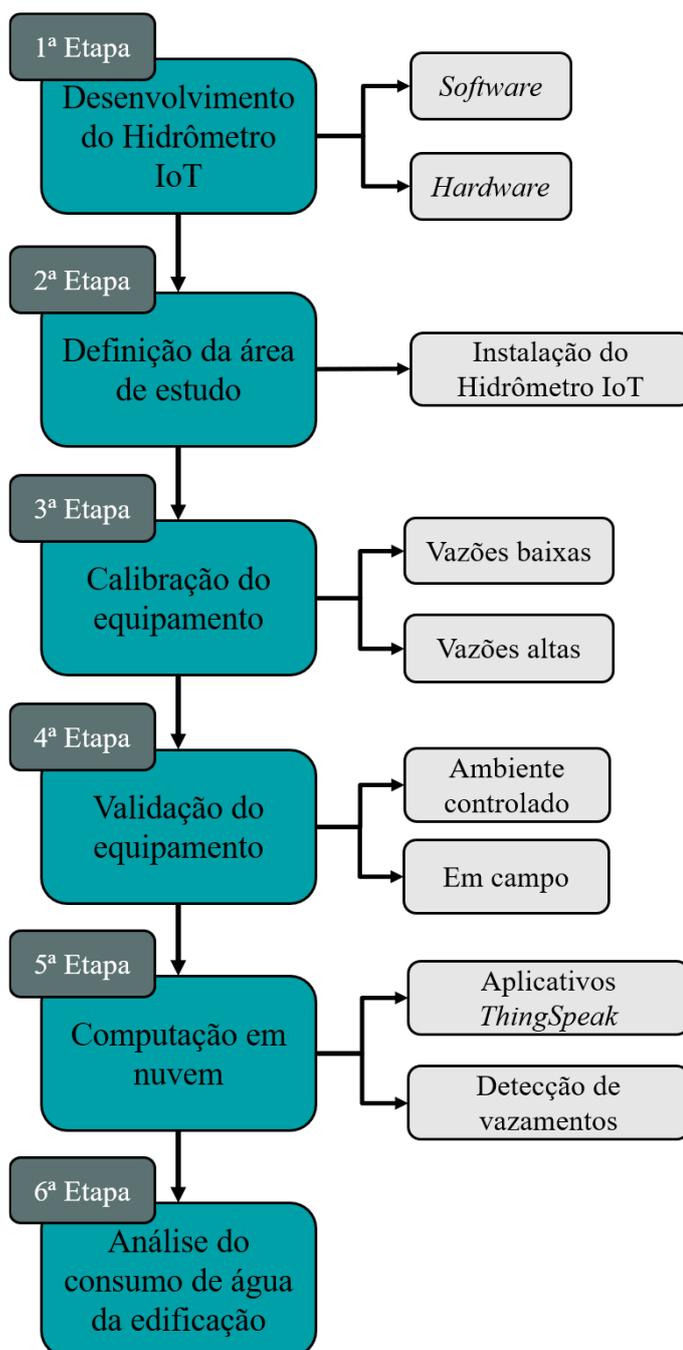
Ray e Goswani (2020) desenvolveram um medidor inteligente de consumo de água com integração com computação em nuvem. O sistema coleta informação sobre a quantidade de água que passa pela tubulação e envia para a plataforma *Thingspeak IoT Cloud* para processar os dados e emitir alertas em casos de vazamentos.

Assim, percebe-se que *IoT* e computação em nuvem são de mundos diferentes, mas suas características são complementares, por isso a junção da duas é benéfica para ambos lados. *IoT* ganha em comunicação, armazenamento e processamento e a computação em nuvem tem seus serviços estendidos de forma mais pulverizada (ALMOLHIS *et al.*, 2020).

3. METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho subdivide-se em seis etapas fundamentais, sendo elas: desenvolvimento do Hidrômetro IoT, definição da área de estudo, calibração e validação do equipamento, computação em nuvem (*Cloud Computing*) e análise do consumo de água da edificação. Na Figura 5 estão ilustradas as etapas metodológicas da pesquisa.

Figura 5 - Etapas metodológicas



Fonte: Autor (2022).

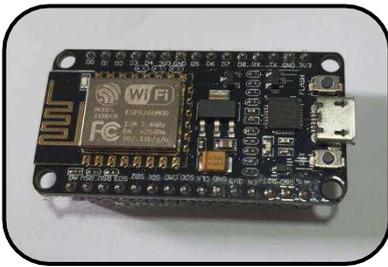
3.1. Desenvolvimento do Hidrômetro IoT

O Hidrômetro IoT é dividido em dois componentes principais: *hardware* (a parte física, composta dos elementos que foram utilizados) e o *software* (a parte lógica, composta pelas programações que foram desenvolvidas).

3.1.1. Hardware

O *hardware* foi desenvolvido com o microcontrolador ESP8266 NodeMCU, sensor de fluxo de água, *jumpers*, carregador e caixa protetora. Os componentes são descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição dos componentes utilizados (continua)

COMPONENTE	IMAGEM	DESCRIÇÃO
NodeMCU		NodeMCU é um microcontrolador, dispositivo eletrônico programável, que permite a obtenção, tratamento e disponibilização de dados ou ações de acordo com a programação desenvolvida e sensores utilizados. Pode ser comparado com um mais conhecido, o Arduino. A diferença é que o NodeMCU possui já associado uma placa da família ESP8266, possibilitando a conexão com a internet via WiFi, mas os sensores usados, a linguagem e o ambiente de programação (IDE) são os mesmos do Arduino.
Sensor de fluxo		O sensor de fluxo é conectado na linha de uma tubulação de 1/2", capaz de medir o fluxo do líquido que circula. Ele envia pulsos elétricos para o NodeMCU, que converte para vazão com a programação apropriada. Consegue medir uma vazão de 1 até 30 L/min.

Quadro 2 - Descrição dos componentes utilizados (continuação)

COMPONENTE	IMAGEM	DESCRIÇÃO
<i>Jumpers</i>		São cabos conectores do tipo macho-fêmea utilizados na conexão entre o sensor de fluxo e o NodeMCU.
Carregador micro USB		Carregador convencional de 5 V e cabo micro USB para alimentação do sistema.
Caixa para proteção do sistema		Caixa utilizada para envelopar e proteger o sistema de qualquer interferência externa, além de proteger os usuários por não deixar nenhuma tomada de alta tensão exposta.

Fonte: Autor (2022).

3.1.2. Software

A programação feita no NodeMCU foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação e o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - *Integrated Development Environment*) do próprio Arduino. Essa linguagem é muito similar a linguagem C, mas tem algumas diferenças, como bibliotecas e funções.

De forma geral, a programação na IDE do Arduino é dividida em duas funções principais: *setup* e *loop*. Na função *setup* são executadas as ações que só precisam acontecer uma vez, como a conexão com a internet. Já a função *loop*, como o nome sugere, ocorre de forma contínua, reiteradamente.

3.2. Definição da área de estudo

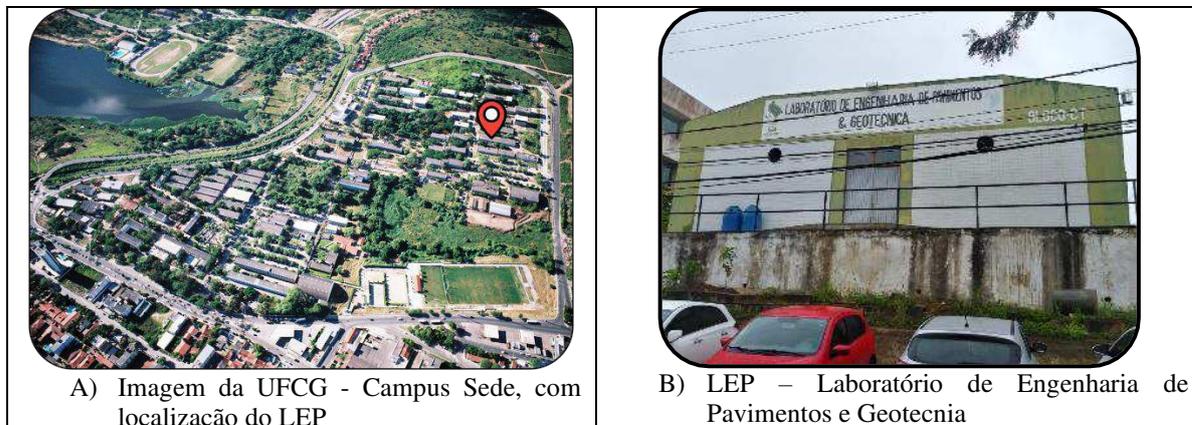
A instalação do Hidrômetro IoT para estudo do comportamento do consumo de água foi realizada no prédio do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia – LEP, localizado no câmpus sede da Universidade Federal de Campina Grande (Figura 6).

Em visita ao laboratório, foi constatado uma população fixa de 30 pessoas, entre professores, funcionários, pesquisadores e alunos, duas salas de aulas, uma sala de computador, uma sala de estudos, seis salas de professores, uma sala de técnico, oito laboratórios, um almoxarifado e uma cozinha.

Com o estudo feito por Brandão *et al.* (2019), o consumo desse prédio varia de 400 a 600 L/dia, mas tendo valores superiores a 1000 L em alguns dias, consumo associado principalmente ao uso de equipamentos que necessitam de grande quantidade de água.

A escolha desse local ocorreu devido a facilidade de acesso e por possuir uma rede de abastecimento nova. Assim, toda a água consumida dentro da edificação passa por apenas uma tubulação.

Figura 6 – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), câmpus sede com indicação da localização do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)



Fonte: Adaptado de sai.ufcg.edu.br (2022) e Autor (2022).

3.2.1. Instalação do Hidrômetro IoT

O Hidrômetro IoT foi instalado na tubulação de entrada da edificação escolhida (Figura 7). Essa instalação já possuía um hidrômetro convencional da marca ASIM com selo do INMETRO (Figura 8).

Figura 7 - Instalação do Hidrômetro IoT na tubulação principal do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)



Fonte: Autor (2022).

Figura 8 - Hidrômetro analógico do Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)



Fonte: Autor (2022).

Segundo a Portaria INMETRO DIMEL 237/2005 que aprovou o modelo de hidrômetro convencional, ele é do tipo multijato, magnético, com relojoaria à 45° ou plana (INMETRO, 2005). As características desse hidrômetro são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do hidrômetro analógico da marca ASIM instalado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos e Geotecnia (LEP)

CARACTERÍSTICA	VALOR
Vazão nominal	0,75 m ³ /hora = 12,5 L/min
Vazão máxima	25 L/min
Menor divisão lida	0,0001 m ³ = 100 mL
Temperatura máxima de trabalho	40 °C
Pressão máxima de trabalho	1 MPa

Fonte: Portaria Inmetro Dimel 237 (2005).

A Figura 9 mostra os posicionamentos do Hidrômetro IoT (item A) e do hidrômetro analógico (item B) na tubulação que abastece o prédio do LEP.

Figura 9 - Instalação do Hidrômetro IoT em série com o hidrômetro convencional



Fonte: Autor (2022).

Por questões de segurança e facilidade, tanto na instalação do ponto de energia elétrica, quanto na instalação do sensor de fluxo, o Hidrômetro IoT ficou disposto na vertical com uma diferença de 1,80 m do hidrômetro analógico. A opção de instalar o hidrômetro inteligente no mesmo nível que o analógico, comprometeria a segurança, por colocar uma tomada no chão,

com possível contato com água, e necessitaria de intervenção na calçada para aumentar o tamanho da tubulação aparente e alocar o sensor de fluxo.

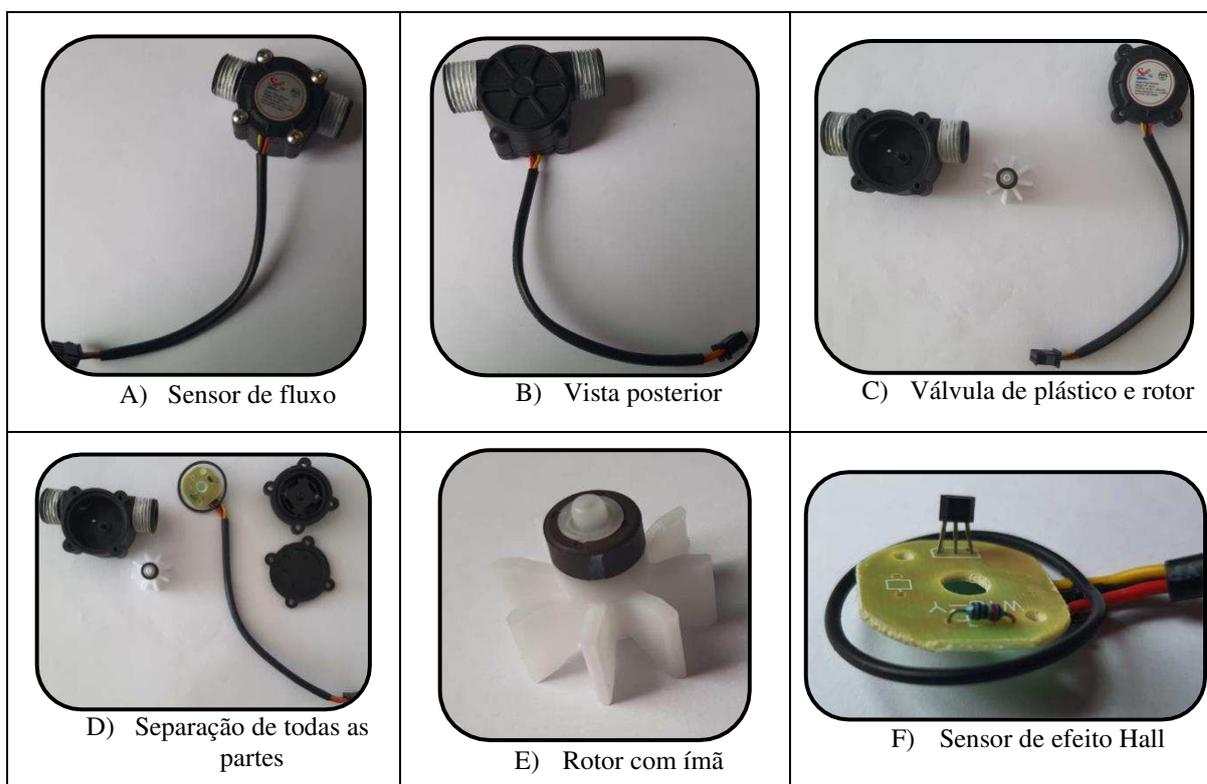
Por isso, o Hidrômetro IoT ficou disposto como apresentado na Figura 9, pois na altura de 1,8 m era possível intervir na tubulação sem necessitar de maiores reformas e resguardaria a segurança com a tomada elevada.

3.3. Calibração do equipamento

3.3.1. Sensor

De acordo com a Figura 10, o sensor de fluxo utilizado foi o modelo YF-201 (Figura 10A e B). Esse dispositivo é formado por uma válvula de plástico, um rotor de água e um sensor de efeito Hall (Figura 10C). Quando a água passa pelo rotor, ele gira e a velocidade muda de acordo com a taxa de fluxo. Na ponta do rotor existe um ímã (Figura 10E) e ao girar, o sensor de efeito Hall (Figura 10F) detecta esse movimento e envia a quantidade de rotações em forma de pulsos para o microcontrolador.

Figura 10 - Partes componentes do sensor de fluxo



Fonte: Autor (2022).

Segundo o *Datasheet* (manual de uso) do sensor, este possui as características descritas na Tabela 2.

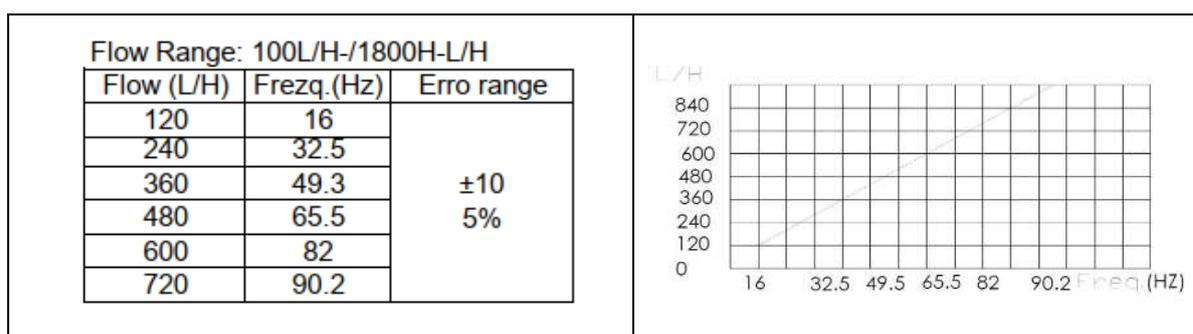
Tabela 2 - Características do sensor de fluxo utilizado

CARACTERÍSTICA	VALOR
Tensão de operação	4,5 até 18V DC
Corrente máxima	15 mA a 5 V
Taxa de fluxo de trabalho	1 a 30 L/min
Precisão	+/- 10%
Temperatura máxima de operação	80 °C
Temperatura máxima do líquido	120 °C
Pressão máxima de operação	1,75 MPa
Faixa de umidade	25 a 95%

Fonte: *Datasheet* (2020).

Além disso, esse sensor possui três saídas: positiva, terra e analógica e tem faixa de limite de 1 a 30 L/min.

A frequência em Hertz captada pelo sensor de efeito Hall pode ser convertida em vazão segundo a Figura 11.

Figura 11 - Tabela e gráfico para conversão da frequência em vazão

Fonte: *Datasheet* (2020).

Segundo o *Datasheet* (2020), como 1 Hertz = 1 pulso/segundo, pode-se fazer uma calibração inicial, sabendo que o fator de calibração (Equação 01) permite o cálculo da vazão em L/min (Tabela 3):

$$\text{Fator de calibração} = \frac{\text{Pulsos}}{\text{Litros} * 60} \quad (01)$$

Tabela 3 - Determinação da quantidade de pulsos/litro e do fator de calibração a partir do *Datasheet*

Pulsos/segundo	Litros/segundo	Pulsos/litro	Fator de calibração
16,0	0,033	480,00	8,00
32,5	0,067	487,50	8,13
49,3	0,100	493,00	8,22
65,5	0,133	491,25	8,19
82,0	0,167	492,00	8,20
90,2	0,200	451,00	7,52
Média		482,46	8,04

Fonte: Elaborado pelo autor com dados do *Datasheet* (2020).

Assim, tem-se um valor médio de 482,46 pulsos/L e que gera um fator de calibração médio de 8,04, para vazões de 2 a 12 L/min (0,033 a 0,200 L/s).

Por não haver um único equipamento capaz de possibilitar o estudo com vazões baixas e altas (o que seria a metodologia de calibração ideal), nas calibrações propostas, foram utilizadas duas bancadas hidráulicas com o objetivo de alcançar o maior intervalo de vazão.

Foi necessário o uso dessas duas bancadas devido os limites inferiores e superiores das bombas: com a primeira bancada foram medidos valores mais baixos de vazão e com a segunda bancada valores mais elevados.

Dito isso, foi possível analisar o desempenho do sensor de fluxo para o intervalo de 1,32 a 20,37 L/min na primeira bancada que possui uma bomba com menor potência e permitiu atingir esse intervalo; e vazões de 16,67 a 55 L/min na segunda bancada com uma bomba de maior potência, permitindo vazões maiores, mas com a limitação inferior de 16,67 L/min.

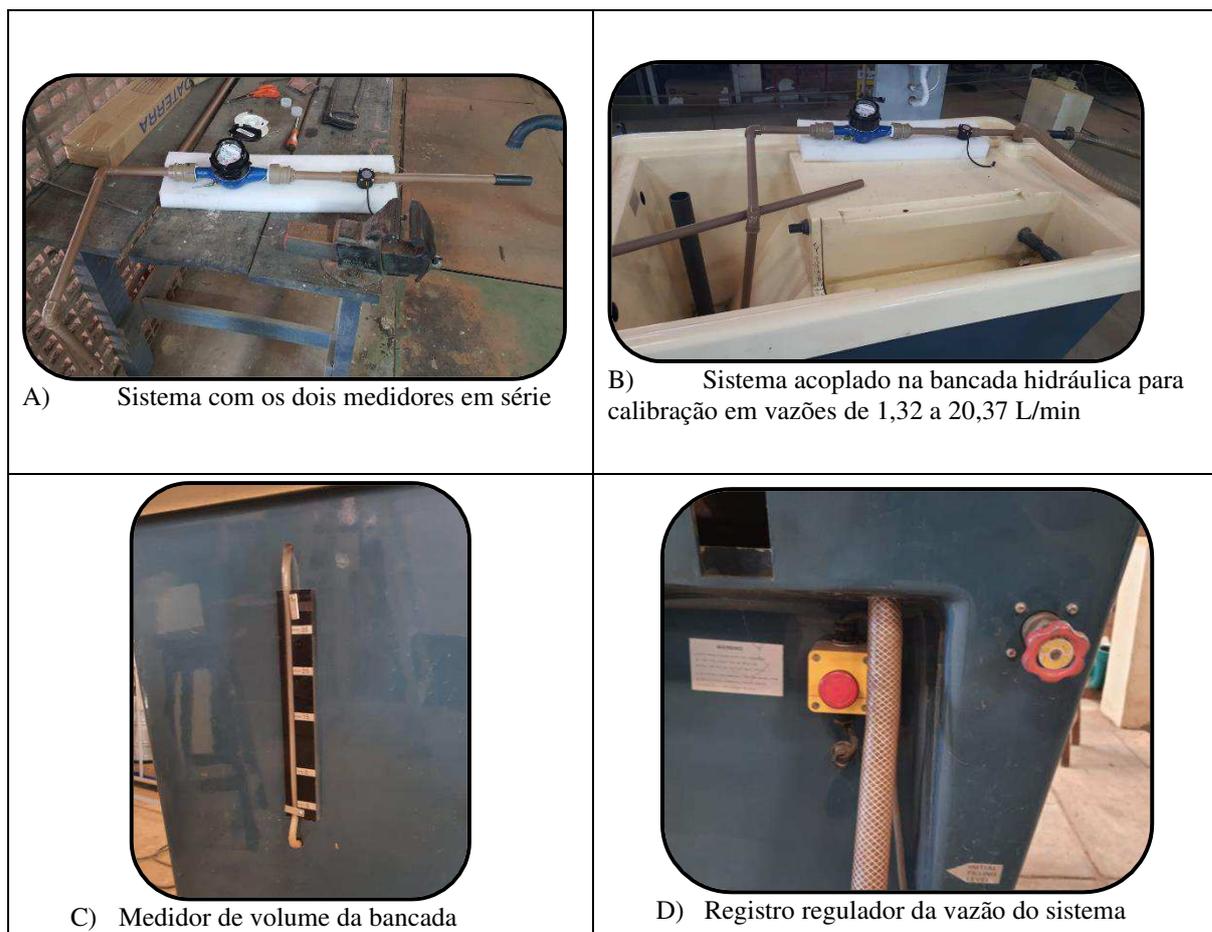
Assim, verificou-se se a quantidade de pulsos/L e o respectivo fator de calibração determinados pelo *Datasheet* correspondem à realidade, além de avaliar a capacidade do sensor para vazões superiores ao limite estabelecido nesse manual.

3.3.2. Calibração com vazões de 1,32 a 20,37 L/min

Para realizar a calibração com vazões baixas, foi elaborado um sistema com tubulação de 20 mm colocando o sensor em série com o mesmo hidrômetro analógico utilizado em campo (Figura 12A) e acoplado em uma bancada hidráulica (Figura 12B) com bomba para recirculação da água, medição de volume a cada 5 L (Figura 12C) e registro que permite a alteração da vazão (Figura 12D).

Com esse sistema, foi possível atingir valores de 1,32 a 20,37 L/min, correspondentes aos limites inferior e superior alcançados com a bomba, respectivamente.

Figura 12 – Sistema desenvolvido para a calibração do sensor em vazões de 1,32 a 20,37 L/min



Fonte: Autor (2022).

O sensor foi conectado ao microcontrolador NodeMCU e a programação feita para registrar apenas o número de pulsos captados a cada 1 segundo e enviar para o monitor serial do computador.

Para determinar a vazão, inicialmente validou-se o volume medido no hidrômetro com o medido na bancada, após isso, apenas o volume do hidrômetro foi utilizado devido a maior facilidade de leitura. Depois, mediu-se o tempo e o volume três vezes para cada vazão e coletou-se a média dos pulsos enviados a cada segundo. Com os dados de vazão e pulsos calculou-se a quantidade de pulsos/litro e o fator de calibração de acordo com a Equação 01.

3.3.3. Calibração com vazões de 16,67 a 55 L/min

Com o objetivo de estudar vazões maiores, utilizou-se a a bancada hidráulica do laboratório de hidráulica da faculdade UNIFIP – Centro Universitário de Patos (Figura 13), localizado no município de Patos/PB.

Essa bancada possui alta precisão e alcance, capaz de registrar vazões de 16,67 a 55 L/min, que correspondem aos limites inferior e superior da bomba respectivamente.

Figura 13 - Bancada hidráulica usada para fazer a calibração com altas vazões



Fonte: Autor (2022).

A bancada possui tubulações de vários diâmetros com registros, possibilitando abri-las ou fechá-las de acordo com a necessidade. Além disso, é equipada com dois medidores de vazão – um rotâmetro e uma caixa volumétrica (Figura 13B) – e uma bomba que pode ser operada para aumentar ou diminuir a vazão e fazer a água recircular no equipamento.

O rotâmetro permite visualizar a vazão em litros/hora, com limite inferior de 1.000 litros/hora (16,67 litros/minuto) e limite superior variável com a capacidade da bomba e manobra dos registros (Figura 13C e Figura 13D).

A caixa volumétrica (Figura 13E) possui dimensões fixas, variando apenas a altura da água. Dessa forma, com um cronômetro foi possível determinar a vazão e comparar com o valor do rotâmetro.

Instalou-se o sensor em uma das tubulações da bancada (Figura 13F) e fechados todos os registros das outras tubulações, de forma a garantir que a vazão medida no rotâmetro e na caixa volumétrica fosse a mesma captada pelo sensor.

Sendo o sensor conectado ao microcontrolador NodeMCU e a programação feita para registrar apenas o número de pulsos captados a cada 1 segundo e enviar para o monitor serial do computador. A vazão lida no rotâmetro e na caixa volumétrica foi transformada para litros/segundo. Dessa forma, foi possível associar o valor de pulsos lidos a cada 1 segundo, diretamente com o volume em litros registrados também a cada segundo.

Os valores de vazão e pulsos foram coletados em uma planilha, sendo possível calcular a quantidade de pulsos/litro e o fator de calibração.

3.3.4. Fator de calibração

Após realizadas todas as calibrações e a partir dos dados obtidos, calculou-se fatores de calibração e valores dos pulsos/litro para intervalos de vazão.

As faixas de vazão foram definidas de acordo com a proximidade dos dados pontuais com a média do intervalo.

Por fim, esses fatores de calibração calculados foram inseridos na programação do medidor para a validação e instalação final em campo.

3.4. Validação do equipamento

Com os fatores de calibração encontrados, refez-se a programação para comparar o valor de vazão calculado pelo Hidrômetro IoT com os valores medidos nas bancadas, e o valor de volume medido pelo Hidrômetro IoT com o registrado no hidrômetro.

3.4.1. Validação com vazões de 1,32 a 20,37 L/min

Para a validação com vazões de 1,32 a 20,37 L/min, utilizou-se o sistema montado em série com o hidrômetro e acoplado na bancada hidráulica, comparando a média das vazões do

Hidrômetro IoT enviadas a cada segundo para o computador; a média de três medições de vazão com o volume registrado no hidrômetro convencional e o tempo marcado no cronômetro.

O procedimento dessa validação ocorreu como segue:

- a vazão máxima foi alcançada abrindo todo o registro;
- o Hidrômetro IoT mede a vazão a cada segundo e envia para o computador por meio do monitor serial;
- a vazão da bancada é feita três vezes, sendo medido um valor de volume (5 ou 10 L) no hidrômetro convencional e marcando o tempo em um cronômetro;
- com esses valores, foi determinado o erro percentual para cada vazão.

3.4.2. Validação com vazões de 16,67 a 55 L/min

Para a validação com vazões de 16,67 a 55 L/min, utilizou-se a bancada hidráulica, comparando-se o valor de vazão do Hidrômetro IoT com o valor observado no rotâmetro.

O procedimento de validação na bancada hidráulica ocorreu da seguinte forma:

- a vazão inicial de 16,67 L/min foi fixada no rotâmetro, a esse valor chamou-se de vazão do rotâmetro;
- a vazão foi lida no Hidrômetro IoT a cada 1 segundo por, no mínimo, um minuto e calculada a média desses valores. A essa média chamou-se de vazão do Sensor;
- o erro percentual foi calculado comparando-se a vazão do Hidrômetro IoT com a vazão do rotâmetro;
- todos esses valores foram expostos em uma planilha para melhor visualização.

3.4.3. Com hidrômetro em campo

Para essa validação foram utilizados os dados coletados pelo Hidrômetro IoT instalado no LEP, durante o período de 17/05/2022 a 18/07/2022, e comparados com os valores registrados no hidrômetro analógico.

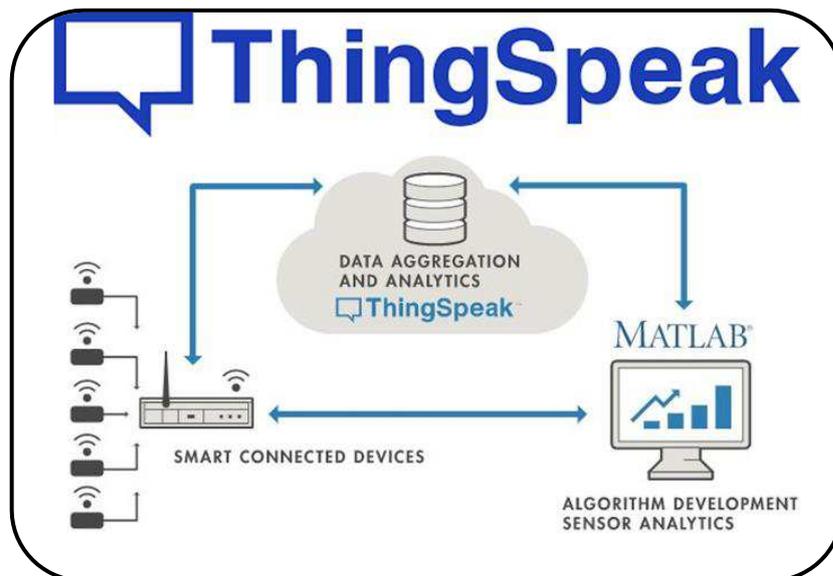
O dia 17/05/2022 foi o primeiro dia após todas as calibrações terem sido realizadas e o dia 18/07/2022 foi a data limite para coleta dos dados a serem apresentados nesse trabalho.

Foram medidas as diferenças percentuais entre os dias de leitura do hidrômetro com os valores acumulados pelo sensor e a diferença total registrada entre as duas datas.

3.5. Computação em nuvem (*Cloud Computing*)

A plataforma *ThingSpeak* (Figura 14) foi escolhida para ser aplicada nesse trabalho. *ThingSpeak* é uma plataforma IoT que permite reunir, visualizar e analisar dados na nuvem, além de enviar alertas programados quando situações específicas são atingidas.

Figura 14 - Plataforma IoT *ThingSpeak* utilizada na pesquisa



Fonte: thingspeak.com (2022)

As principais características dessa plataforma, determinantes para sua escolha, foram:

- a integrar vários microcontroladores como *Arduino*, ESP8266, ESP32, *Raspberry*, entre outros;
- possuir bibliotecas que facilitam o envio de dados para a plataforma;
- ter todos os serviços ofertados nos planos pagos também ofertados no plano gratuito. A limitação restringe-se a quantidade de dispositivos que podem ser conectados. O limite para o plano gratuito é de 4 dispositivos (ou canais, como são chamados nessa plataforma);
- possuir integração com o MatLab, disponibilizando que possam ser feitas visualizações e análises matemáticas mais complexas diretamente na nuvem;
- permitir visualização instantânea dos dados a cada recebimento;
- possuir controle de tempo, possibilitando que análises do MatLab sejam feitas de forma recorrente em intervalos predefinidos e com dados recentes;
- enviar alertas por e-mail ou notificações no Twitter quando determinadas condições ou limites são atingidos;

- monitorar, por meio do aplicativo *React*, se o sensor está funcionando corretamente e emitir alertas caso não seja recebido dado em um intervalo de tempo determinado, exemplo: se o canal não recebeu nenhum dado do sensor em 1 hora, enviar alerta informando possível falha no microcontrolador ou sensor.

3.5.1. Aplicativos *ThingSpeak*

Os aplicativos utilizados na plataforma *ThingSpeak* são descritos a seguir.

3.5.1.1. *Channels*

Foram criados dois canais no *ThingSpeak*: um para receber os dados a cada dois minutos do Hidrômetro IoT e o outro para exibir os dados de consumo horário e diário.

O dado enviado para esse canal deve ser no formato CSV (*Comma-Separated Values* – Valores Separados por Vírgula) e em conjunto com a data na seguinte estrutura: AAAA-MM-DDThh:mm:ss-GMT (ANO-MÊS-DIA”T”HORA:MINUTO:SEGUNDO-FUSO).

3.5.1.2. *MATLAB Analysis*

O *ThingSpeak* permite que sejam feitas análises matemáticas utilizando a integração existente com o *MATLAB*. Nesta pesquisa foram desenvolvidas quatro rotinas utilizando essa integração: a) consumo horário; b) consumo diário; c) monitoramento do envio de dados para a plataforma; d) detecção de vazamentos.

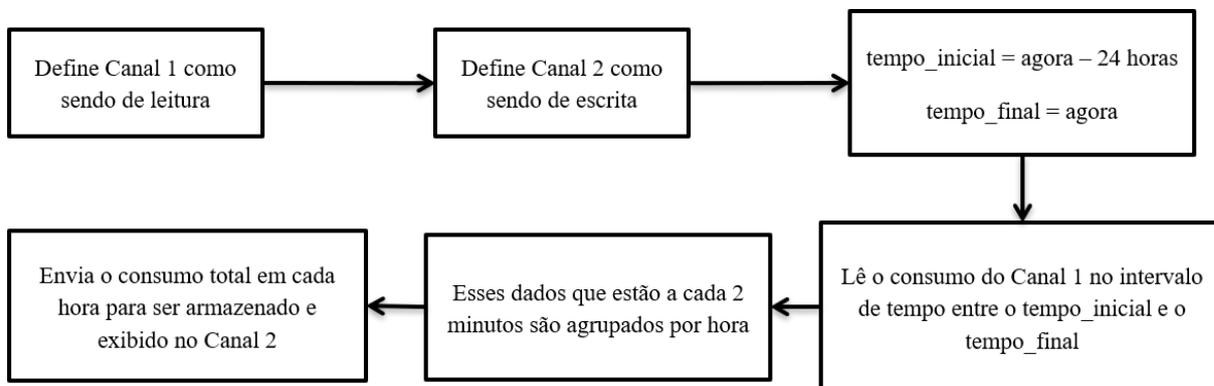
a. Consumo horário

Essa rotina teve por objetivo agrupar os dados recebidos a cada dois minutos das últimas 24 horas em consumos horários. Para isso, executa a sequência de passos descritas:

1. define o Canal 1 “Sistema IoT para medição do consumo de água” como sendo o de leitura dos dados;
2. define o Canal 2 “Recebimento de Dados” como sendo o canal responsável para receber e exibir os dados agrupados em consumos horários;
3. considera o período de leitura dos dados do Canal 1 como sendo de 24 horas até o tempo atual;
4. agrupa todos esses dados das últimas 24 horas em cada hora, utilizando a soma dos valores que estejam na respectiva hora;
5. envia esses dados agrupados para o Canal 2.

A sequência descrita pode ser visualizada no fluxograma da Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma da programação que determina o consumo horário



Fonte: Autor (2022).

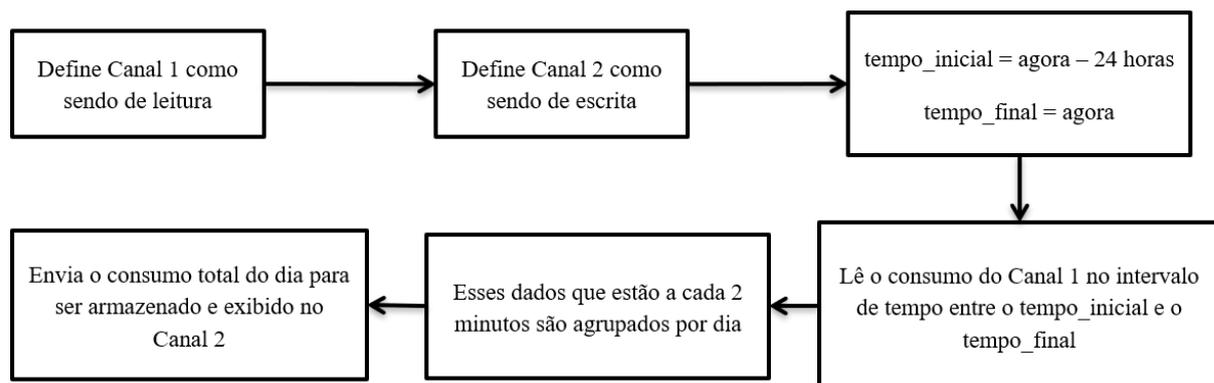
b. Consumo diário

Essa rotina tem o objetivo de agrupar os dados recebidos a cada dois minutos das últimas 24 horas em um único dado referente ao consumo total do dia. Para isso, executa a sequência de etapas descritas:

1. define o Canal 1 “Sistema IoT para medição do consumo de água” como sendo o de leitura dos dados;
2. define o Canal 2 “Recebimento de Dados” como sendo o canal responsável para receber e exibir o dado de consumo diário;
3. considera o período de leitura dos dados do Canal 1 como sendo de 24 horas até o tempo atual;
4. agrupa todos esses dados das últimas 24 horas em cada hora em um único dado referente ao consumo total do dia;
5. envia esses dados agrupados para o Canal 2.

A sequência descrita pode ser visualizada no fluxograma da Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma da programação que determina o consumo diário



Fonte: Autor (2022).

c. Monitoramento do envio de dados para a plataforma

Essa análise ocorre quando o aplicativo *React* detectar que não ocorreu envios durante 10 minutos. Quando essa rotina for acionada ela envia um e-mail para o administrador do sistema com a seguinte mensagem: “*O canal não recebeu nenhum dado em 10 minutos, verificar falha no sistema*”.

d. Detecção de vazamentos

A programação desenvolvida nessa análise tem o objetivo de verificar se existe vazamento nas últimas 24 horas de recebimento de dados.

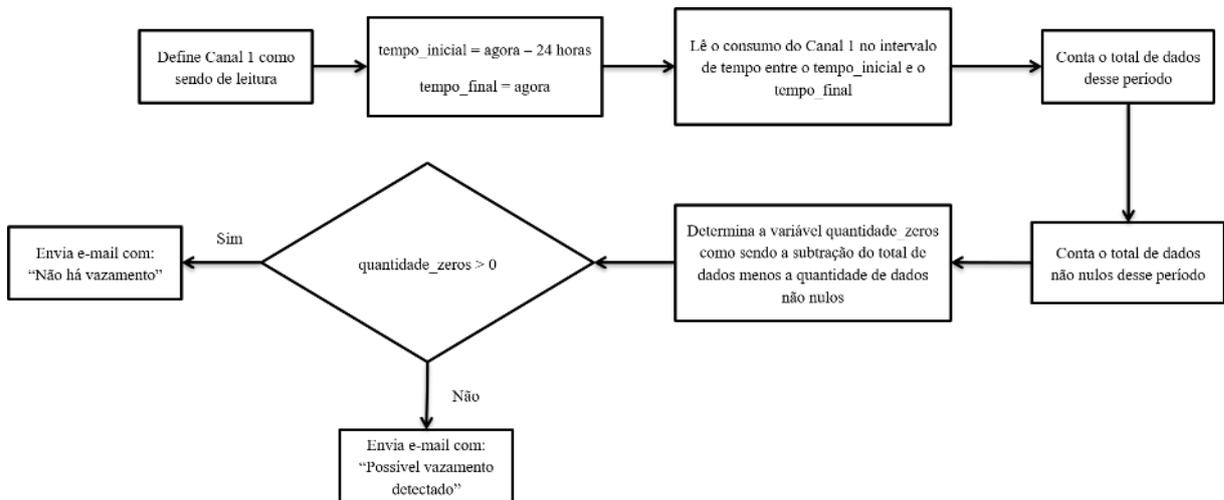
Sendo detectado vazamento ou não, a programação envia um e-mail para o administrador com uma mensagem contendo o *status* definido pela rotina como: “*Não há vazamentos*” ou “*Possível vazamento detectado*”.

A sequência de etapas da programação ocorre da seguinte forma:

1. define o Canal 1 “Sistema IoT para medição do consumo de água” como sendo o de leitura dos dados;
2. considera o período de leitura dos dados do Canal 1 como sendo de 24 horas até o tempo atual;
3. conta o total de dados recebidos nesse intervalo;
4. conta quantos desses dados são valores não nulos;
5. determina a quantidade de zeros como sendo a diferença entre a quantidade total de dados recebidos menos a quantidade de dados não nulos;
6. se o valor de quantidade de zeros for maior que zero, envia um e-mail com a mensagem: “*Não há vazamentos*”;
7. se a quantidade de zeros for nula (não existem dado zero nesse período) envia um e-mail com a mensagem: “*Possível vazamento detectado*”.

Essa sequência é ilustrada no fluxograma da Figura 17.

Figura 17 - Fluxograma da programação que verifica existência de vazamentos



Fonte: Autor (2022).

3.5.1.3. *React*

Esse aplicativo aciona determinada atividade quando o canal atinge uma condição. Nesse trabalho, foi usado o *React* para ativar o código de monitoramento de envio de dados do Hidrômetro IoT para a plataforma sempre que não chegar nenhum dado em 10 minutos. Dessa forma é possível verificar se existe algum problema com o Hidrômetro IoT, como falta de energia ou de internet.

3.5.1.4. *TimeControl*

Esse aplicativo funciona com os outros aplicativos mencionados para que uma ação seja executada em um determinado período ou hora predeterminada.

Foram feitas três ações que devem ocorrer todo dia. A primeira refere-se ao somatório e visualização dos dados recebidos em consumo a cada hora; a segunda trata-se do somatório e visualização do consumo total do dia; e a terceira apresenta um código para detecção de vazamentos. As três ações ocorrem diariamente às 00 horas com variação de 5 minutos para mais ou menos.

Nesse trabalho o *TimeControl* é responsável por ativar diariamente as análises do *MATLAB* pontuadas a seguir:

- consumo horário: acionada todos os dias às 22 horas e 40 minutos (com tolerância de 5 minutos para mais ou menos) a análise do *MATLAB* responsável por agrupar os dados recebidos durante as últimas 24 horas em consumo horário;

- consumo diário: acionada todos os dias às 00 horas (com tolerância de 5 minutos para mais ou menos) a análise do *MATLAB* responsável por agrupar os dados recebidos durante as últimas 24 horas em consumo diário;
- detecção de vazamentos: a análise de detecção de vazamentos é acionada diariamente às 22 horas e 40 minutos juntamente com a análise do consumo horário.

3.5.2. Detecção de vazamentos

Para a detecção de vazamentos foi utilizada uma combinação mais precisa de dois métodos existentes na literatura e descritos no capítulo 3: Fluxo Mínimo Noturno e Consumo Contínuo Não-Nulo.

Segundo a metodologia do Fluxo Mínimo Noturno, entre 2 e 5 horas da manhã o consumo residencial costuma decrescer chegando a zero, então se for detectado consumo nesse período é provável que haja vazamentos.

Já a metodologia do Consumo Contínuo Não-Nulo determina que registros de consumos diferentes de zero de forma contínua nas últimas 24 horas, é indicativo de vazamento.

Como o sensor envia dados para o *ThingSpeak* a cada dois minutos, todos os dias em um horário determinado o código de detecção de vazamentos é acionado e verificado se entre todos os dados enviados a cada dois minutos existe pelo menos um com consumo zero, em caso negativo, um alerta de possível vazamento é enviado para o e-mail do consumidor.

Esse método foi considerado mais preciso do que os métodos apresentados na literatura pois usa consumos a cada dois minutos e não apenas o consumo horário. Logo, se não existir pelo menos um dado nulo em dois minutos durante todo o dia é provável a ocorrência de vazamento.

Nesse trabalho, a programação para detectar vazamentos foi feita com *MATLAB* e acionada diariamente com o aplicativo *TimeControl*, conforme explicado anteriormente.

3.6. Análise do consumo de água da edificação

A partir dos dados obtidos no período de 17/05/2022 a 18/07/2022 foi avaliada a demanda de água do LEP, identificando padrões de consumo, períodos de falta de água e períodos de vazamentos.

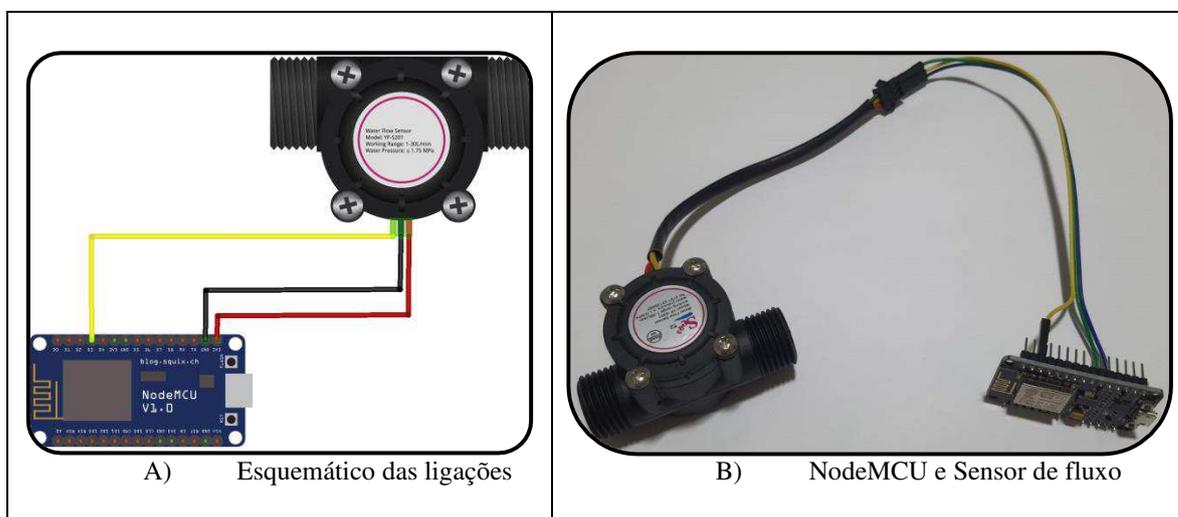
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Hidrômetro IoT

4.1.1. Hardware

A *hardware* do Hidrômetro IoT desenvolvido neste trabalho encontra-se detalhado na Figura 18. O sensor de fluxo possui três saídas conectados ao NodeMCU: i) alimentação positiva (linha vermelha) conectada na saída de 5 V do NodeMCU; ii) terra (linha preta) conectado no GND do NodeMCU; e iii) saída pulsada (linha amarela) conectada na porta digital D2 do NodeMCU. A Figura 18A apresenta o esquemático dessas ligações e a Figura 18B mostra as ligações.

Figura 18 - Esquemático e ligações feitas entre o NodeMCU e o sensor de fluxo



Fonte: Autor (2022).

O sensor de fluxo deve operar em uma tensão de 4,5 a 18 V, por isso conectou-se na saída de 5 V do microcontrolador, dentro da faixa estabelecida pelo *Datasheet* (2022). Já a conexão terra se conecta em qualquer GND (essa sigla corresponde a palavra “ground” que significa “terra” em Inglês).

A saída pulsada deve ser capturada por uma porta digital do microcontrolador capaz de receber dados de interrupção externa, acionada pela passagem da água. Utilizou-se a porta digital D2 que possui essa capacidade.

Além disso, para completar o Hidrômetro IoT, foram instalados fios ou *jumpers* macho-fêmea para fazer a conexão entre o sensor de fluxo e o microcontrolador; um carregador micro USB (*Universal Serial Bus* – Porta Serial Universal) 5 V para fornecer energia ao sistema; e uma caixa de proteção para isolar os equipamentos de qualquer agente externo, como chuva,

vento, insetos e outros animais, além das pessoas em geral que frequentam as imediações do prédio.

A Figura 19 mostra o Hidrômetro IoT final utilizado.

Figura 19 - Hidrômetro IoT final utilizado para medição do consumo de água



Fonte: Autor (2022).

O valor de cada componente e o valor total do Hidrômetro IoT estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Preços dos componentes utilizados no Hidrômetro IoT

COMPONENTE	PREÇO
NodeMCU	R\$ 32,00
Sensor de fluxo	R\$ 27,90
Caixa para proteção	R\$ 21,90
<i>Jumper</i> macho-fêmea	R\$ 0,90
Carregador MicroUSB	R\$ 10,00
TOTAL	R\$ 92,70

Fonte: Adaptado de Google (2022).

Para montagem do Hidrômetro IoT o custo foi de R\$ 92,70, sem ser levado em conta a mão-de-obra ou qualquer tipo de lucro. De acordo com dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) junho/2022 para a Paraíba, o valor de um hidrômetro convencional com vazão máxima de 25 L/min é de R\$ 114,68 sem ser equipado com telemetria. Assim, o Hidrômetro IoT desenvolvido possui mais funções e preço inferior aos hidrômetros convencionais disponíveis no mercado, acentuando a relevância e adequação do hidrômetro digital desenvolvido nesse trabalho.

4.1.2. Software

A programação do microcontrolador foi simplificada ao máximo para diminuir travamentos e aumentar sua eficiência, deixando todo o processamento para ser feito na nuvem. Dessa forma, o trabalho principal do *software* é capturar qualquer pulso gerado pelo sensor por meio de interrupções externas.

O sensor de fluxo conecta-se à tubulação (Figura 20) e quando a água passa pelo tubo esse sensor emite pulsos elétricos que são enviados para o microcontrolador. O ESP8266 NodeMCU recebe os pulsos elétricos na porta digital D2 por meio de interrupções externas e converte esse valor em volume (litros). O microcontrolador também é responsável pela transmissão dos dados para a plataforma IoT que armazena e processa as informações.

Figura 20 - Sensor de fluxo instalado na tubulação



Fonte: Autor (2022).

Ao utilizar interrupções no programa é possível que este faça outras tarefas sem perder nenhum pulso gerado. No caso desse Hidrômetro IoT, sempre que um pulso for capturado a função *ContaPulsos()* é ativada e irá incrementar o valor de pulsos na variável *pulsos*. Posteriormente esse valor é convertido em volume.

O microcontrolador envia dados de consumo a cada dois minutos para a plataforma IoT utilizada, mas para esse envio é necessário energia elétrica e internet. Falta de energia não é comum de ocorrer frequentemente, porém instabilidades na internet podem ocorrer com frequência maior ao longo do dia.

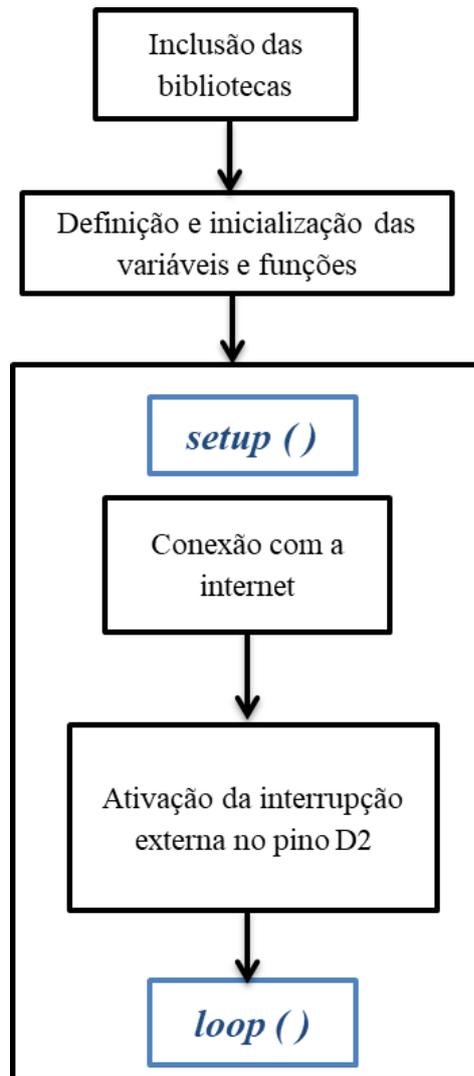
Para reduzir eventos de perdas de dados a cada tentativa frustrada de envio, a programação acumula o dado de 2 minutos caso esse não seja efetivamente enviado para a plataforma, assim, na próxima tentativa ele será enviado.

O funcionamento total do *software* se dá na seguinte sequência:

1. são incluídas as bibliotecas utilizadas;
2. é feita a definição das variáveis, como a porta que recebe os valores do sensor, o fator de calibração que converte pulsos em litros e informações da rede de internet que será utilizada;
3. a função responsável por contar os pulsos gerados (função *ContaPulsos ()*) é definida;
4. inicia-se a função *setup ()* com a conexão com a internet e o início da interrupção;
5. na função *loop ()*, a parte da programação contínua, é determinado que sempre quando se passar 1 segundo será feita a conversão dos pulsos capturados em valor de litros e guardados em uma variável;
6. a cada dois minutos, os valores acumulados são enviados para a plataforma IoT (*ThingSpeak*) onde os dados serão armazenados, processados e disponibilizados para visualização. Esse valor de dois minutos para envio foi adotado empiricamente de forma que não sobrecarregasse a plataforma, mas também que não adiasse e sobrecarregasse o microcontrolador ocasionando travamentos;
7. foi implementada uma condição na função de envio dos dados para a plataforma: se o envio de 2 minutos de dados não ocorrer (por falta de conexão com a internet ou qualquer outro motivo) o programa volta a acumular dados e tenta enviar novamente em 2 minutos. Esse processo de tentativa de envio e acumulação de dados se repete até que o envio aconteça;
8. após o envio, as variáveis são zeradas para uma nova acumulação.

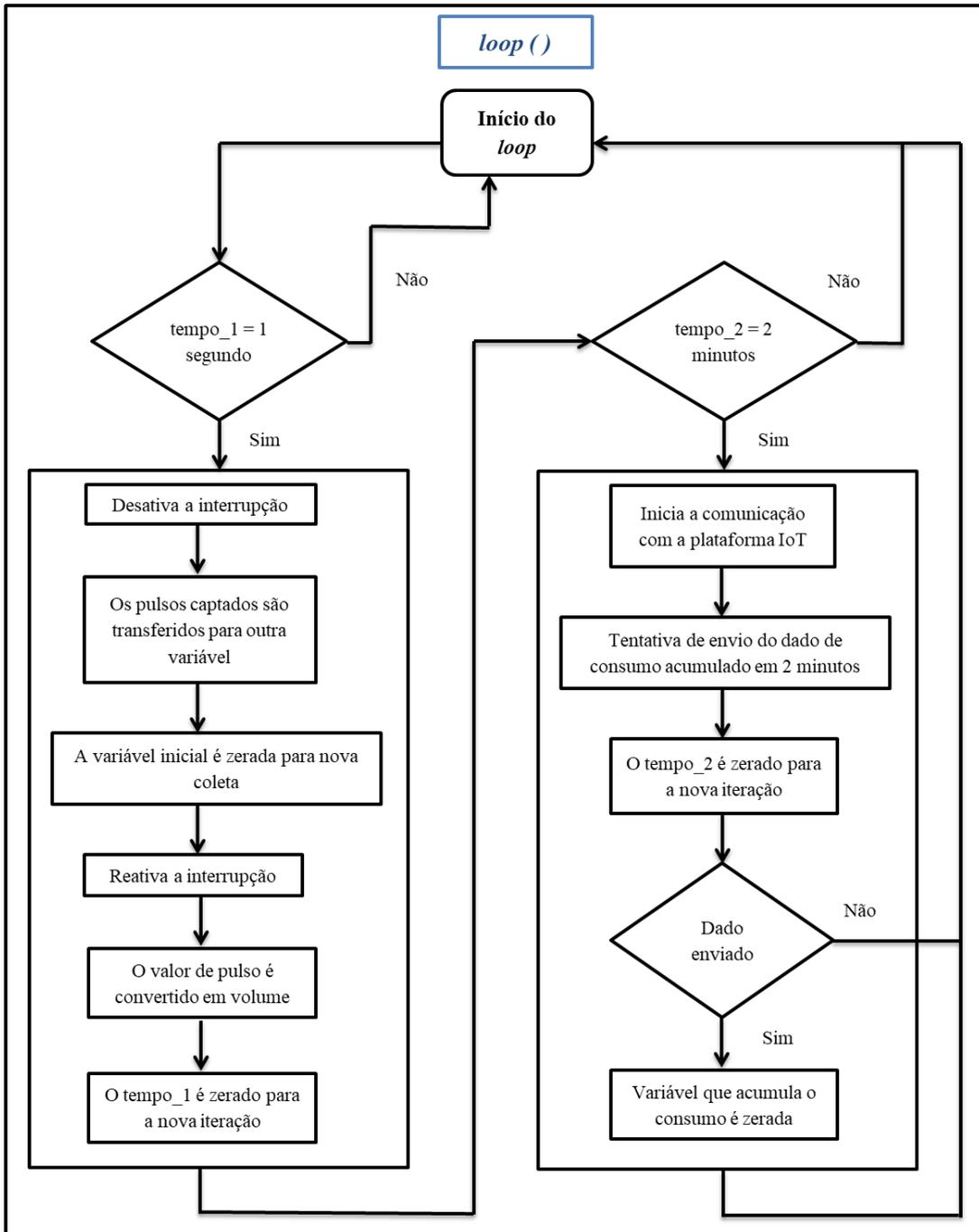
A Figura 21 apresenta o fluxograma da programação inicial correspondente a função *setup*. A Figura 22 apresenta o fluxograma da programação que ocorre continuamente na função *loop*.

Figura 21 - Fluxograma da parte inicial e do *setup* da programação do Hidrômetro IoT



Fonte: Autor (2022).

Figura 22 - Fluxograma do *loop* da programação do Hidrômetro IoT



Fonte: Autor (2022).

4.2. Resultados da calibração

4.2.1. Calibração com vazões de 1,32 a 20,37 L/min

Utilizando o sistema com o sensor em série com hidrômetro analógico na bancada hidráulica e uma bomba para recirculação da água, foi possível fazer a contagem de pulsos e a respectiva calibração em vazões de 1,32 a 20,37 L/min. Esses foram os limites inferiores e superiores, respectivamente, alcançados com esse sistema.

Os dados obtidos com essa calibração foram organizados na Tabela 5.

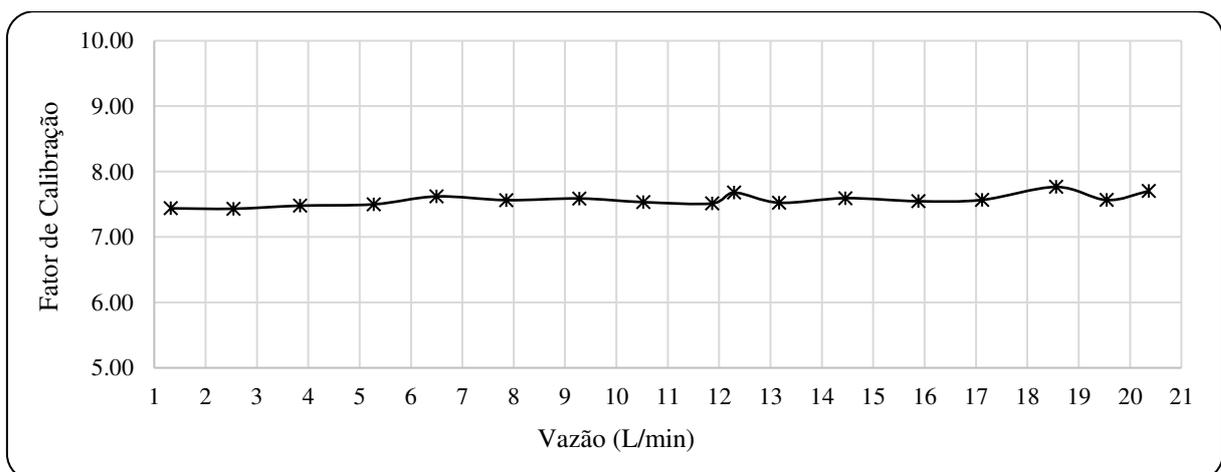
Tabela 5 - Valores da calibração em vazões de 1,32 a 20,37 L/min

Volume (litros)	Tempo (segundos)	Vazão (L/s)	Vazão(L/min)	Pulsos total	pulsos/L	Fator de calibração
1,00	45,29	0,02	1,32	9,86	446,30	7,44
3,00	70,35	0,04	2,55	18,93	445,94	7,43
6,67	104,23	0,06	3,84	28,71	448,72	7,48
10,00	113,70	0,09	5,28	39,58	449,98	7,50
10,00	92,38	0,11	6,50	49,50	457,21	7,62
10,00	76,35	0,13	7,86	59,44	453,81	7,56
10,00	64,66	0,15	9,28	70,42	455,34	7,59
10,00	57,01	0,18	10,53	79,29	451,99	7,53
10,00	50,56	0,20	11,87	89,15	450,80	7,51
10,00	48,82	0,20	12,29	94,38	460,74	7,68
10,00	45,57	0,22	13,17	99,06	451,44	7,52
10,00	41,50	0,24	14,46	109,79	455,63	7,59
10,00	37,79	0,26	15,88	119,83	452,80	7,55
10,00	35,05	0,29	17,12	129,55	454,03	7,57
7,56	24,39	0,31	18,56	144,15	465,92	7,77
6,88	21,16	0,33	19,55	147,88	453,89	7,56
8,00	23,55	0,34	20,37	156,89	462,22	7,70
Média					453,93	7,57

Fonte: Autor (2022).

Com os dados da Tabela 5 foi construído o gráfico da calibração em vazões de 1,32 a 20,77 L/min apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Gráfico da calibração em vazões de 1,32 a 20,37 L/min



Fonte: Autor (2022).

Observa-se variação do fator de calibração entre 7,43 a 7,77 com uma média de 7,57 e valor de 453,93 pulsos/L considerando todas as vazões medidas nessa primeira calibração.

Comparando com os valores determinados no *Datasheet* de 8,04 e 482,04 pulsos/L, percebe-se que os fatores reais são menores e isso significa uma diferença de aproximadamente 6% podendo gerar um aumento de 64 mL a cada leitura.

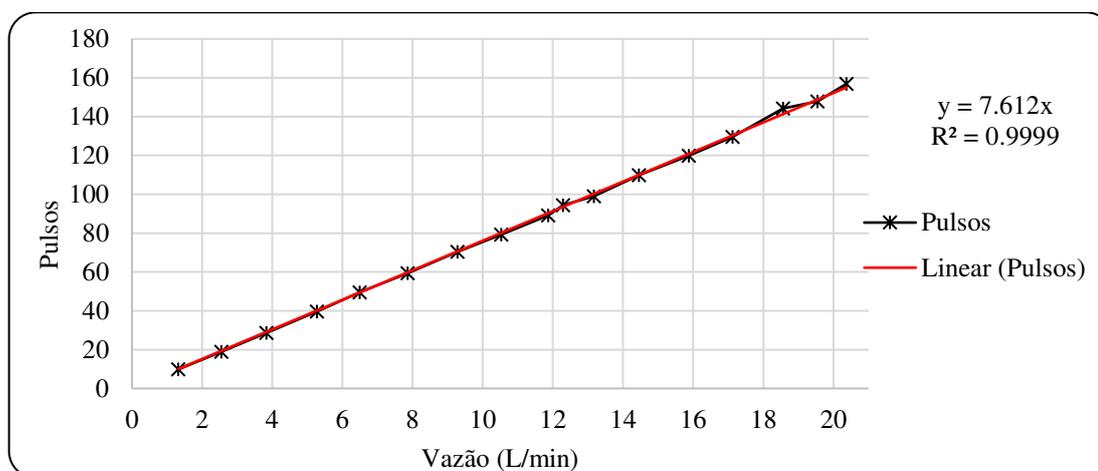
Os valores de pulsos captados pelo sensor em cada vazão estão apresentados na Tabela 6. A partir desses dados, fez-se um estudo de regressão linear, e o resultado encontra-se na Figura 24.

Tabela 6 - Valores de pulsos captados para cada vazão de 1,32 a 20,37 L/min

Vazão (L/min)	Pulsos	Vazão (L/min)	Pulsos
1,32	9,86	12,29	94,38
2,55	18,93	13,17	99,06
3,84	28,71	14,46	109,79
5,28	39,58	15,88	119,83
6,50	49,50	17,12	129,55
7,86	59,44	18,56	144,15
9,28	70,42	19,55	147,88
10,53	79,29	20,37	156,89
11,87	89,15		

Fonte: Autor (2022).

Figura 24 - Análise linear da quantidade de pulsos para cada vazão de 1,32 a 20,37 L/min



Fonte: Autor (2022).

Com o estudo de regressão linear foi possível encontrar o modelo de distribuição dos dados descrito pela Equação 02.

$$y = 7,612x \quad (02)$$

Dessa equação, percebe-se que o fator de calibração estimado pela regressão linear é de 7,612 bem próximo do valor calculado de 7,57.

O coeficiente estatístico R-quadrado é uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada, o valor varia de 0 a 100%, sendo que 0% indica que

o modelo não explica nada da variabilidade dos dados de resposta ao redor de sua média e 100% indica que o modelo explica toda a variabilidade dos dados de resposta ao redor de sua média.

Como o valor encontrado do R-quadrado para esse estudo foi de 0,9999 ou 99,99% o modelo explica muito bem a variabilidade dos dados.

4.2.2. Calibração com vazões de 16,67 a 55 L/min

Iniciou-se as medições na vazão de 16,67 L/min pois é o limite inferior da bancada. O valor de vazão foi ajustado no rotâmetro e conferido em três medições na caixa volumétrica. Esse processo aconteceu para as vazões de 16,67 L/min até a vazão limite do sensor, estabelecido no respectivo *Datasheet*, de 30 L/min. A cada medição inseriu-se o valor de 1,67 L/min e os dados organizados na Tabela 7.

Tabela 7 – Comparação da vazão medida no rotâmetro e na caixa volumétrica

Vazão Rotâmetro (L/min)	Vazão Caixa Volumétrica (L/min)				Erro (%)
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média (L/min)	
16,67	17,06	17,16	17,04	17,09	2,52%
18,33	18,62	18,72	18,83	18,72	2,13%
20,00	20,59	20,59	20,70	20,63	3,14%
21,67	21,97	21,76	21,70	21,81	0,66%
23,33	23,78	24,54	23,93	24,09	3,22%
25,00	24,98	24,88	26,53	25,46	1,85%
26,67	27,30	27,20	27,27	27,26	2,21%
28,33	28,93	28,97	28,96	28,96	2,20%
30,00	30,19	30,39	30,35	30,31	1,03%

Fonte: Autor (2022).

Pela Tabela 7 percebe-se que os valores do rotâmetro são bem próximos dos valores medidos na caixa com diferença máxima de 3,22%, dando confiabilidade aos dados do rotâmetro. Essa diferença é ocasionada, entre outros fatores, por erros nas leituras de volume e de tempo, portanto a real diferença tende a ser menor e os valores medidos no rotâmetro são confiáveis para a calibração do sensor.

Após essa confirmação inicial dos valores lidos no rotâmetro foram efetuadas as leituras de pulsos no microcontrolador correspondentes a cada vazão do rotâmetro. Para isso, a programação do microcontrolador precisou ser modificada para exibir apenas a quantidade de pulsos captados a cada 1 segundo e a vazão lida no rotâmetro foi convertida de L/min para L/segundo. Como a unidade de tempo nas duas leituras é o segundo, pode-se determinar diretamente a quantidade de pulsos que corresponde a cada valor de volume.

O valor de pulsos para cada volume, lido por 1 minuto (o que corresponde a 60 dados) e feita a média desses valores. Com essa média determinou-se o valor de pulsos/litro e o fator de calibração (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores da calibração com vazões de 16,67 a 30 L/min

Vazão Rotâmetro (L/min)	Vazão Rotâmetro (L/s)	Pulsos	Pulsos/L	Fator de calibração
16,67	0,278	133	478,80	7,98
18,33	0,306	146	477,82	7,96
20,00	0,333	163	489,00	8,15
21,67	0,361	172	476,31	7,94
23,33	0,389	187	480,86	8,01
25,00	0,417	199	477,60	7,96
26,67	0,444	216	486,00	8,10
28,33	0,472	231	489,18	8,15
30,00	0,500	242	484,00	8,07

Fonte: Autor (2022).

Em seguida, com o intuito de verificar o alcance máximo do sensor, o procedimento foi repetido para vazões maiores que o limite do sensor (30 L/min). Considerando as medidas de 31,67 L/min até 55 L/min, sendo esse último valor o limite superior atingido pela bomba utilizada na bancada hidráulica (Tabela 9).

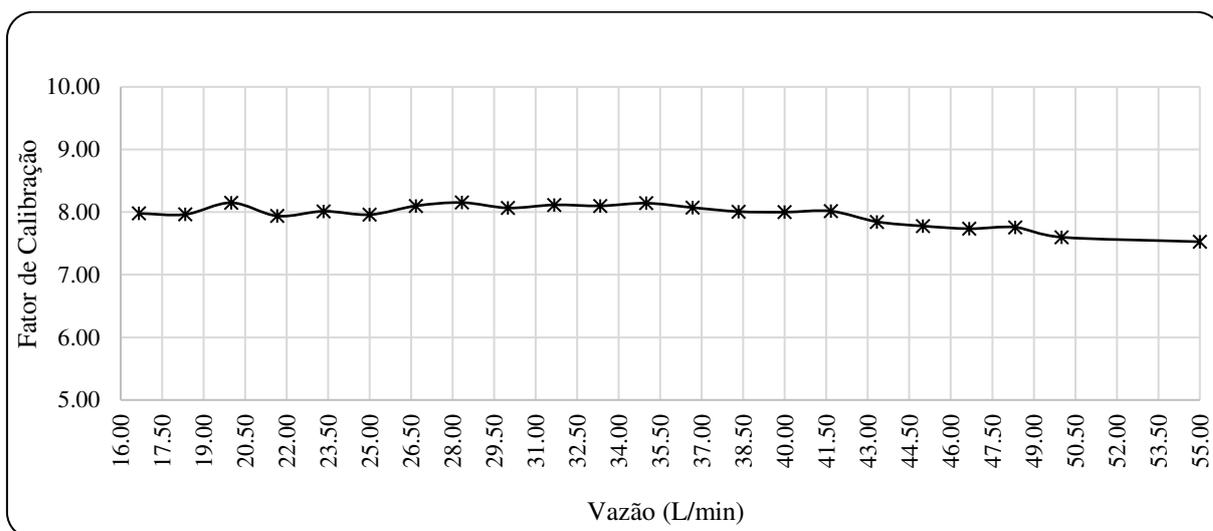
Tabela 9 - Valores da calibração com vazões de 31,67 a 55 L/min

Vazão Rotâmetro (L/min)	Vazão Rotâmetro (L/s)	Pulsos	Pulsos/litro	Fator de calibração
31,67	0,528	257	486,95	8,12
33,33	0,556	270	486,00	8,10
35,00	0,583	285	488,57	8,14
36,67	0,611	296	484,36	8,07
38,33	0,639	307	480,52	8,01
40,00	0,667	320	480,00	8,00
41,67	0,694	334	480,96	8,02
43,33	0,722	340	470,77	7,85
45,00	0,750	350	466,67	7,78
46,67	0,778	361	464,14	7,74
48,33	0,806	375	465,52	7,76
50,00	0,833	380	456,00	7,60
55,00	0,917	414	451,64	7,53

Fonte: Autor (2022).

Os fatores de calibração encontrados com as respectivas vazões detalhadas nas Tabelas 8 e 9 estão apresentados na Figura 25.

Figura 25 - Gráfico da calibração em vazões de 16,67 a 55 L/min



Fonte: Autor (2022).

Analisando de 16,67 a 55 L/min, percebe-se variação no fator de calibração de 7,53 a 8,15 com média de 7,96 e valor médio de 477,35 pulsos/L.

Comparando com os valores determinados no *Datasheet* de 8,04 e 482,04 pulsos/L, nota-se que os fatores medidos são novamente menores, como já indicado na primeira calibração realizada.

Existe uma queda no fator de calibração após 41,67 L/min, de 6,1%. Portanto, o sensor mostrou-se estável para vazões de até 55 L/min, excedendo a limitação de 30 L/min determinada no próprio *Datasheet*.

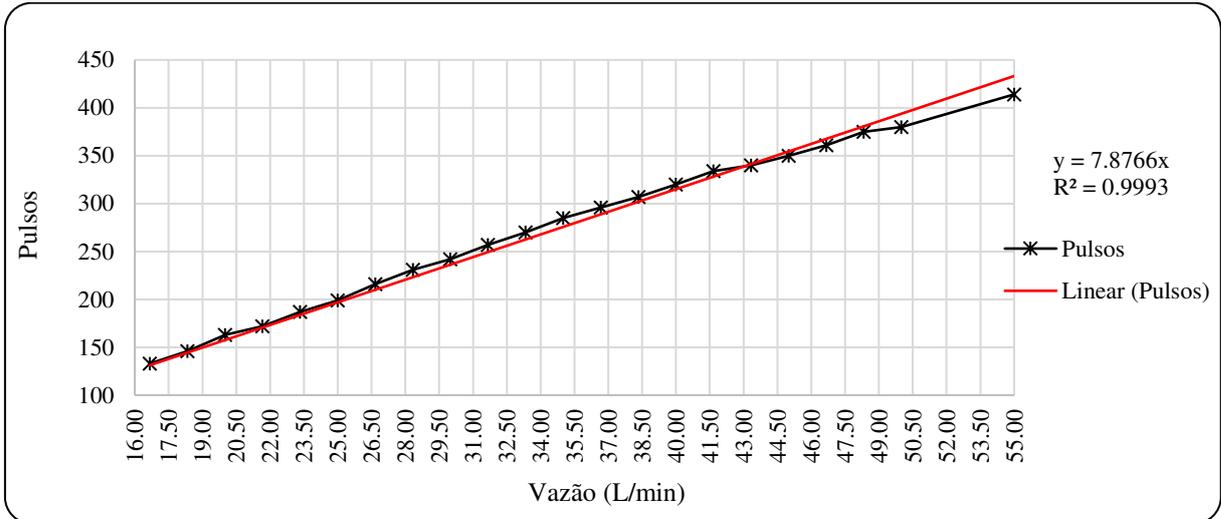
A Tabela 10 mostra os valores de pulsos captados pelo sensor em cada vazão. Além disso, fez-se uma regressão linear desses dados, e o resultado encontra-se na Figura 26.

Tabela 10 - Valores de pulsos captados para cada vazão de 16,67 a 55 L/min

Vazão Rotâmetro (L/min)	Pulsos	Vazão Rotâmetro (L/min)	Pulsos	Vazão Rotâmetro (L/min)	Pulsos
16,67	133	30,00	242	41,67	334
18,33	146	31,67	257	43,33	340
20,00	163	33,33	270	45,00	350
21,67	172	35,00	285	46,67	361
23,33	187	36,67	296	48,33	375
25,00	199	38,33	307	50,00	380
26,67	216	40,00	320	55,00	414
28,33	231				

Fonte: Autor (2022).

Figura 26 - Análise linear da quantidade de pulsos para cada vazão de 16,67 a 55 L/min



Fonte: Autor (2022).

Com o estudo de regressão linear foi possível encontrar o modelo de distribuição dos dados descrito pela Equação 03.

$$y = 7,8766x \quad (03)$$

Como o valor encontrado do R-quadrado para esse estudo foi de 0,9993 ou 99,93% o modelo explica muito bem a variabilidade dos dados.

4.2.3. Fator de calibração

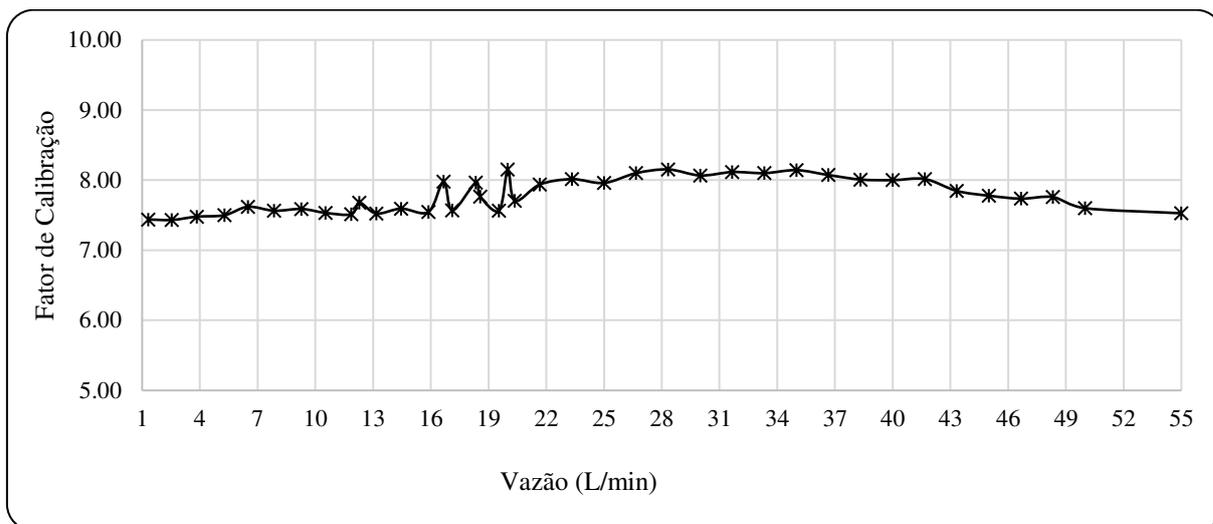
Para determinar os fatores de calibração finais, inicialmente fez-se um estudo com todos os dados de 1,32 a 55 L/min. A Tabela 11 apresenta as vazões e os respectivos pulsos/L e fatores de calibrações e o gráfico da Figura 27 apresenta os valores de fator de calibração para cada vazão.

Tabela 11 - Valores de pulsos/litro e do fator de calibração para as vazões de 1,32 a 55 L/min

Vazão (L/min)	Pulsos/litro	Fator de calibração	Vazão (L/min)	Pulsos/litro	Fator de calibração	Vazão (L/min)	Pulsos/litro	Fator de calibração
1,32	446,30	7,44	16,67	478,80	7,98	31,67	486,95	8,12
2,55	445,94	7,43	17,12	454,03	7,57	33,33	486,00	8,10
3,84	448,72	7,48	18,33	477,82	7,96	35,00	488,57	8,14
5,28	449,98	7,50	18,56	465,92	7,77	36,67	484,36	8,07
6,50	457,21	7,62	19,55	453,89	7,56	38,33	480,52	8,01
7,86	453,81	7,56	20,00	489,00	8,15	40,00	480,00	8,00
9,28	455,34	7,59	20,37	462,22	7,70	41,67	480,96	8,02
10,53	451,99	7,53	21,67	476,31	7,94	43,33	470,77	7,85
11,87	450,80	7,51	23,33	480,86	8,01	45,00	466,67	7,78
12,29	460,74	7,68	25,00	477,60	7,96	46,67	464,14	7,74
13,17	451,44	7,52	26,67	486,00	8,10	48,33	465,52	7,76
14,46	455,63	7,59	28,33	489,18	8,15	50,00	456,00	7,60
15,88	452,80	7,55	30,00	484,00	8,07	55,00	451,64	7,53

Fonte: Autor (2022).

Figura 27 - Gráfico do fator de calibração encontrado para cada vazão de 1,32 a 55 L/min



Fonte: Autor (2022).

Calculando-se apenas os valores médios, tem-se que o fator de calibração é de 7,79 e 467,14 pulsos/litro. Os três valores médios para o fator de calibração e para pulsos/Litro foram organizados na Tabela 12 para melhor entendimento, bem como os valores teóricos determinados pelo *Datasheet*.

Tabela 12 - Comparação da quantidade de pulsos/litro e do fator de calibração entre o determinado pelo *Datasheet* e os valores encontrados nos diferentes intervalos da calibração

<i>Datasheet</i>		Intervalo de 1,32 a 20,56 L/min		Intervalo de 16,67 a 55 L/min		Intervalo de 1,32 a 55 L/min	
Fator de calibração	Pulsos/litro	Fator de calibração	Pulsos/litro	Fator de calibração	Pulsos/litro	Fator de calibração	Pulsos/litro
8,04	482,04	7,57	453,93	7,96	477,35	7,79	467,14

Fonte: Autor (2022).

Dessa forma, nota-se que os valores determinados pelo *Datasheet* são maiores que todos os valores encontrados nos diferentes intervalos de calibração e isso determina o valor final de volume ou vazão. Quanto maior o fator de calibração, menor será o valor de vazão ou volume lido, causando erros nas medições.

Além disso, com os dados de pulsos para cada vazão (Tabela 13) foi feito um estudo de regressão linear para todo o intervalo de vazão analisado, apresentado na Figura 28.

Tabela 13 - Valores de pulsos captados para cada vazão de 1,32 a 55 L/min (continua)

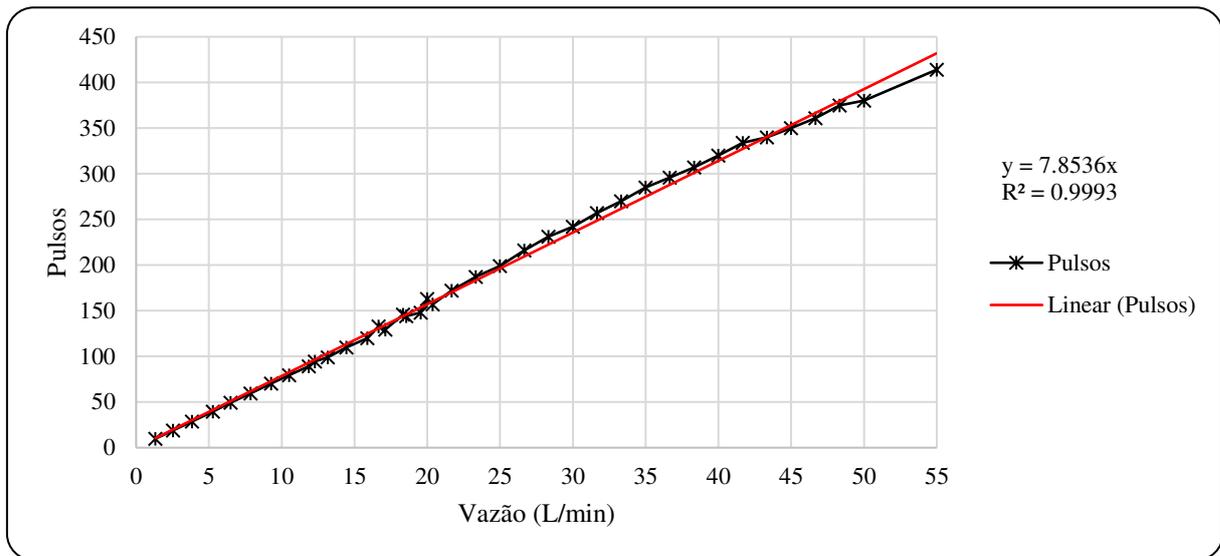
Vazão (L/min)	Pulsos						
1,32	9,86	13,17	99,06	21,67	172,00	38,33	307,00
2,55	18,93	14,46	109,79	23,33	187,00	40,00	320,00
3,84	28,71	15,88	119,83	25,00	199,00	41,67	334,00
5,28	39,58	16,67	133,00	26,67	216,00	43,33	340,00

Tabela 13 - Valores de pulsos captados para cada vazão de 1,32 a 55 L/min (continuação)

Vazão (L/min)	Pulsos						
6,50	49,50	17,12	129,55	28,33	231,00	45,00	350,00
7,86	59,44	18,33	146,00	30,00	242,00	46,67	361,00
9,28	70,42	18,56	144,15	31,67	257,00	48,33	375,00
10,53	79,29	19,55	147,88	33,33	270,00	50,00	380,00
11,87	89,15	20,00	163,00	35,00	285,00	55,00	414,00
12,29	94,38	20,37	156,89	36,67	296,00		

Fonte: Autor (2022).

Figura 28 - Análise linear da quantidade de pulsos para cada vazão de 1,32 a 55 L/min



Fonte: Autor (2022).

O modelo que descreve os dados é determinado na Equação 04.

$$y = 7,8536x \quad (04)$$

Com essa equação o fator de calibração estimado é de 7,8536 próximo do valor médio calculado. Além disso, pode-se afirmar que esse modelo descreve muito bem os dados pois o valor do R-quadrado foi de 0,9993 ou 99,93%.

Contudo, para determinar os fatores de calibração finais que serão utilizados nas etapas posteriores de validação e aplicação em campo, considerou-se médias por faixas de vazão.

Observou-se que as vazões de 0 a 16 L/min representam 99,63% de todos os dados, enquanto vazões maiores que 16 L/min representam apenas 0,37% dos dados. Por esse motivo, optou-se em considerar a primeira faixa de vazão como sendo de 0 a 16 L/min. Os outros fatores de calibração foram definidos como média dos intervalos exibidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Quantidade de pulsos/litro e fator de calibração para vazões de 1,32 a 13,17 L/min

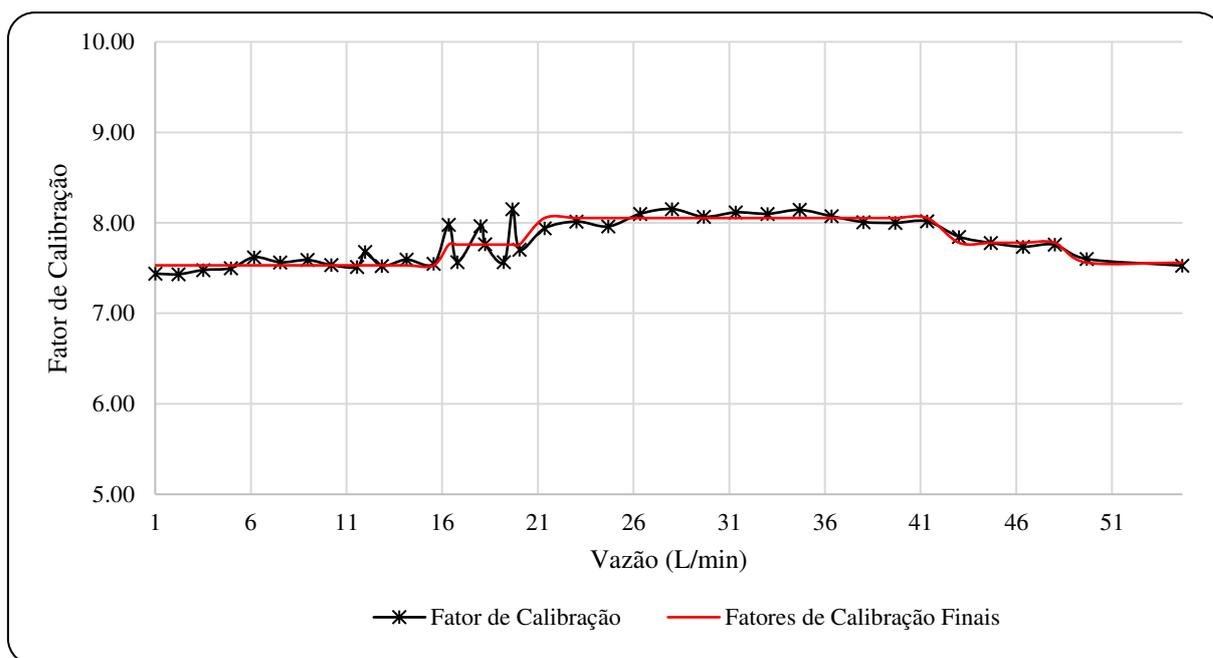
Intervalo de vazão	Pulsos/litro	Fator de calibração
0 a 16 L/min	452,02	7,53
16 a 20 L/min	465,57	7,76
20 a 41 L/min	483,18	8,05
41 a 48 L/min	466,77	7,78
Maior que 48 L/min	453,82	7,56

Fonte: Autor (2022).

Portanto, com os fatores de calibração finais foi possível fazer a validação e instalação do Hidrômetro IoT em campo.

A Figura 29 mostra a variação dos fatores de calibração finais comparados com os outros fatores calculados para as vazões de 1,32 a 55 L/min.

Figura 29 - Comparação do fator de calibração Final com os fatores calculados para vazões de 1,32 a 55 L/min



Fonte: Autor (2022).

Percebe-se que os fatores representam bem as vazões, assim, espera-se na validação, erros pequenos para todo o intervalo estudado.

4.3. Resultados da validação

Após as calibrações, encontraram-se fatores de calibração para cada faixa de vazão que foram introduzidos na programação, sendo possível comparar o valor de vazão ou volume

calculado pelo Hidrômetro IoT com os valores observados na bancada e no hidrômetro analógico.

4.3.1. Validação com vazões de 1,32 a 20,37 L/min

Para essa validação a programação foi ajustada com o novo fator de calibração. A vazão é calculada e enviada para o computador por meio da comunicação serial. Esse valor é comparado com a vazão registrada na bancada. Foram realizadas três medidas para cada vazão e depois determinada a média. Por fim, mediu-se o erro entre o valor determinado pelo Hidrômetro IoT e o valor medido na bancada.

Destaca-se que nessa etapa o valor de volume foi medido com o hidrômetro convencional, portanto é uma validação do Hidrômetro IoT com o hidrômetro analógico em um ambiente controlado.

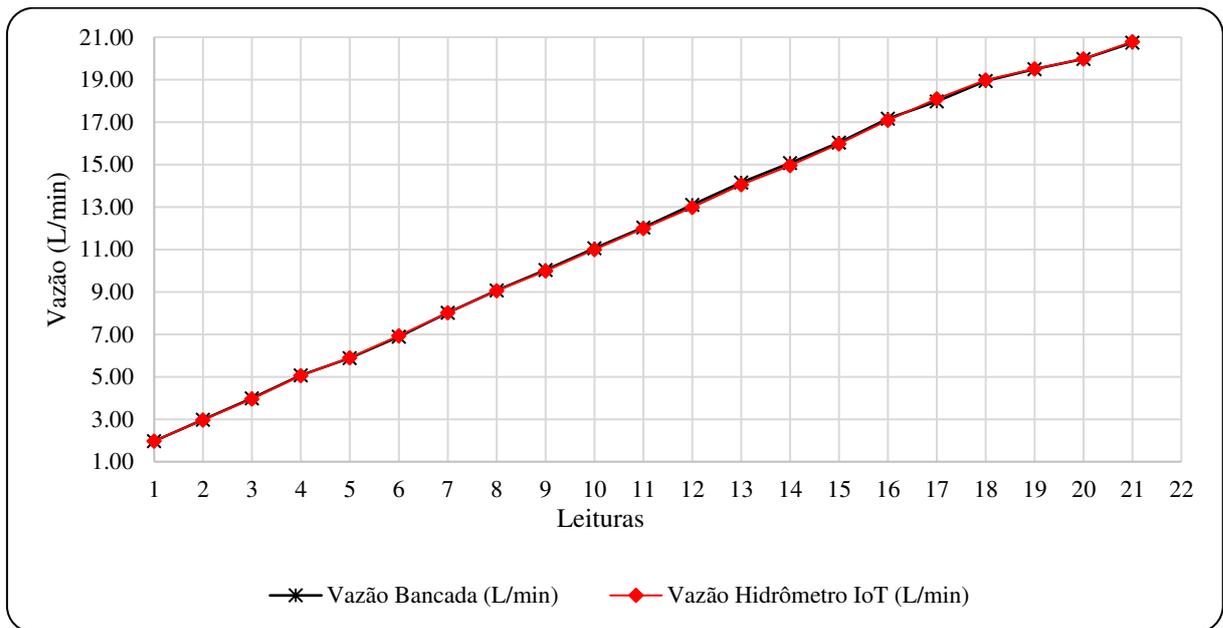
Durante a validação, considerou-se um intervalo um pouco menor que o da calibração, de 1,97 a 20,79 L/min, devido a capacidade da bomba. Esses dados estão organizados na Tabela 15 e seu comportamento ilustrado na Figura 30.

Tabela 15 - Validação com vazões de 1,97 a 20,79 L/min

Vazão Bancada (L/min)	Vazão Hidrômetro IoT (L/min)	Erro (%)	Vazão Bancada (L/min)	Vazão Hidrômetro IoT (L/min)	Erro (%)
1,97	1,97	0,07%	13,11	12,99	0,89%
2,97	2,97	0,25%	14,15	14,04	0,74%
3,99	3,96	0,75%	15,07	14,95	0,80%
5,07	5,06	0,19%	16,03	15,97	0,35%
5,88	5,89	0,32%	17,17	17,09	0,47%
6,89	6,94	0,74%	17,98	18,09	0,61%
8,01	8,02	0,15%	18,94	18,98	0,19%
9,07	9,06	0,12%	19,49	19,51	0,12%
10,03	9,99	0,37%	19,98	19,97	0,02%
11,06	10,99	0,65%	20,74	20,79	0,25%
12,03	11,99	0,32%			

Fonte: Autor (2022).

Figura 30 - Gráfico da validação com vazões de 1,97 a 20,79 L/min



Fonte: Autor (2022).

Observa-se tanto pelos dados (Tabela 15) quanto graficamente (Figura 30) que os fatores de calibração utilizados obtiveram excelentes resultados para medir vazões de 1,97 a 20,79 L/min, como já esperado, com erro máximo de 0,89%. Destaca-se que, devido a capacidade da bomba usada na bancada hidráulica, não foi possível atingir valores menores que 1,97 L/min para essa validação. De toda forma, pela tendência da reta, pode-se estimar que o erro continuaria pequeno para as vazões inferiores.

Esse resultado valida o Hidrômetro IoT tanto para vazões de 1,97 a 20,79 L/min quanto quando comparado com o hidrômetro convencional em ambiente controlado, visto que os valores de volume foram medidos com um desse.

Assim, pode-se ressaltar a eficiência e precisão do Hidrômetro IoT desenvolvido para medir vazões de 1,97 a 20,79 L/min, com erro ínfimo e que os valores têm correspondência com os hidrômetros analógicos utilizados comercialmente.

4.3.2. Validação com vazões de 16,67 a 55 L/min

Para essa validação comparou-se a média de 60 valores de vazões medidos pelo Hidrômetro IoT com a vazão registrada no rotâmetro.

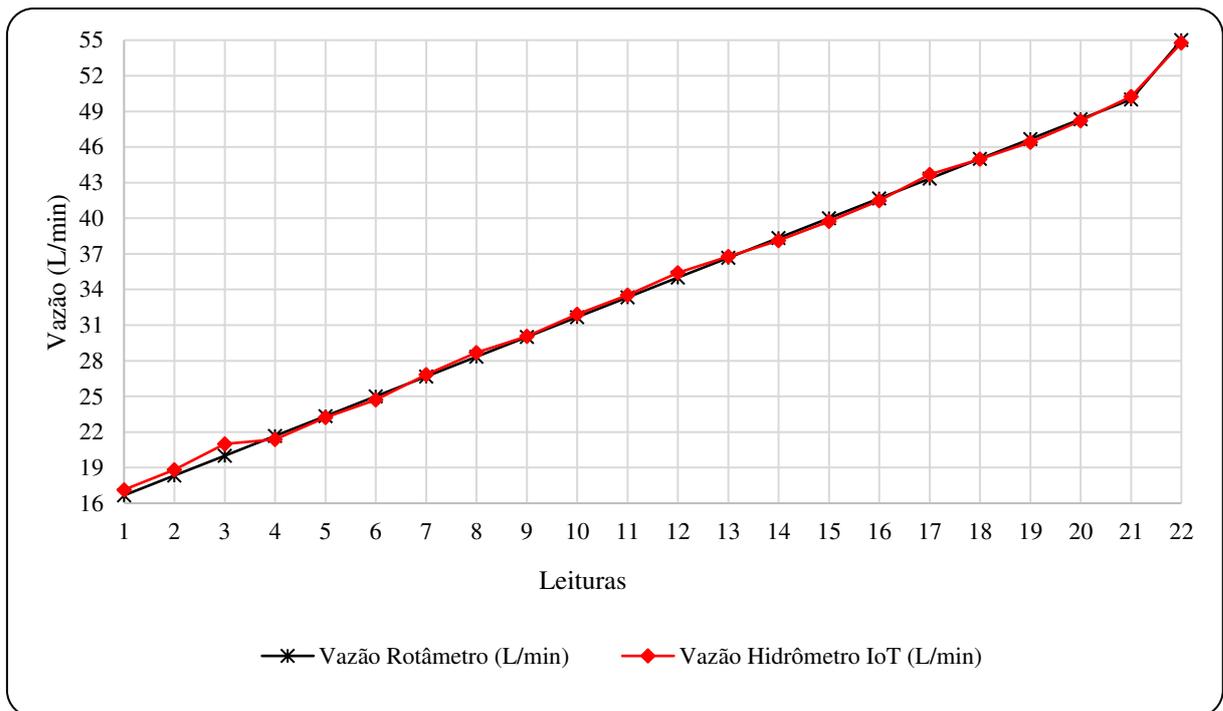
Para esse procedimento utilizou-se as vazões de 16,67 L/min até a vazão de 55 L/min. Os dados foram agrupados na Tabela 16 e ilustrados no gráfico da Figura 31.

Tabela 16 – Validação com vazões de 16,67 a 55 L/min

Vazão Rotâmetro (L/min)	Vazão Hidrômetro IoT (L/min)	Erro (%)	Vazão Rotâmetro (L/min)	Vazão Hidrômetro IoT (L/min)	Erro (%)
16,67	17.14	2.84%	35,00	35.40	1.15%
18,33	18.81	2.62%	36,67	36.77	0.28%
20,00	21.01	5.03%	38,33	38.14	0.51%
21,67	21.37	1.39%	40,00	39.75	0.62%
23,33	23.23	0.44%	41,67	41.49	0.42%
25,00	24.72	1.12%	43,33	43.70	0.85%
26,67	26.83	0.62%	45,00	44.99	0.03%
28,33	28.70	1.28%	46,67	46.40	0.57%
30,00	30.06	0.21%	48,33	48.20	0.27%
31,67	31.93	0.82%	50,00	50.26	0.53%
33,33	33.54	0.62%	55,00	54.76	0.43%

Fonte: Autor (2022).

Figura 31 - Comparação das vazões do Hidrômetro IoT com rotâmetro de 16,67 a 55 L/min



Fonte: Autor (2022).

Como esperado, os fatores de calibração utilizados geraram novamente excelentes resultados para as vazões de 16,67 a 55 L/min, com erro máximo de 5,03%, valor relativamente baixo e dentro do limite de 5 a 10% de erro já estabelecido no *Datasheet*.

Logo, pode-se concluir que o Hidrômetro IoT desenvolvido obteve excelentes resultados em ambiente controlado, medindo vazões de 1,97 a 55 L/min com grande precisão e erro máximo de apenas 5,03%. Além disso, esse medidor inteligente teve seu desempenho

validado com hidrômetro convencional obtendo diferenças menores que 0,9% para vazões de até 20,79 L/min e conseguiu manter a excelência até para valores superiores ao seu limite de 30L/min, registrando bem até 55 L/min.

4.3.3. Validação com hidrômetro convencional em campo

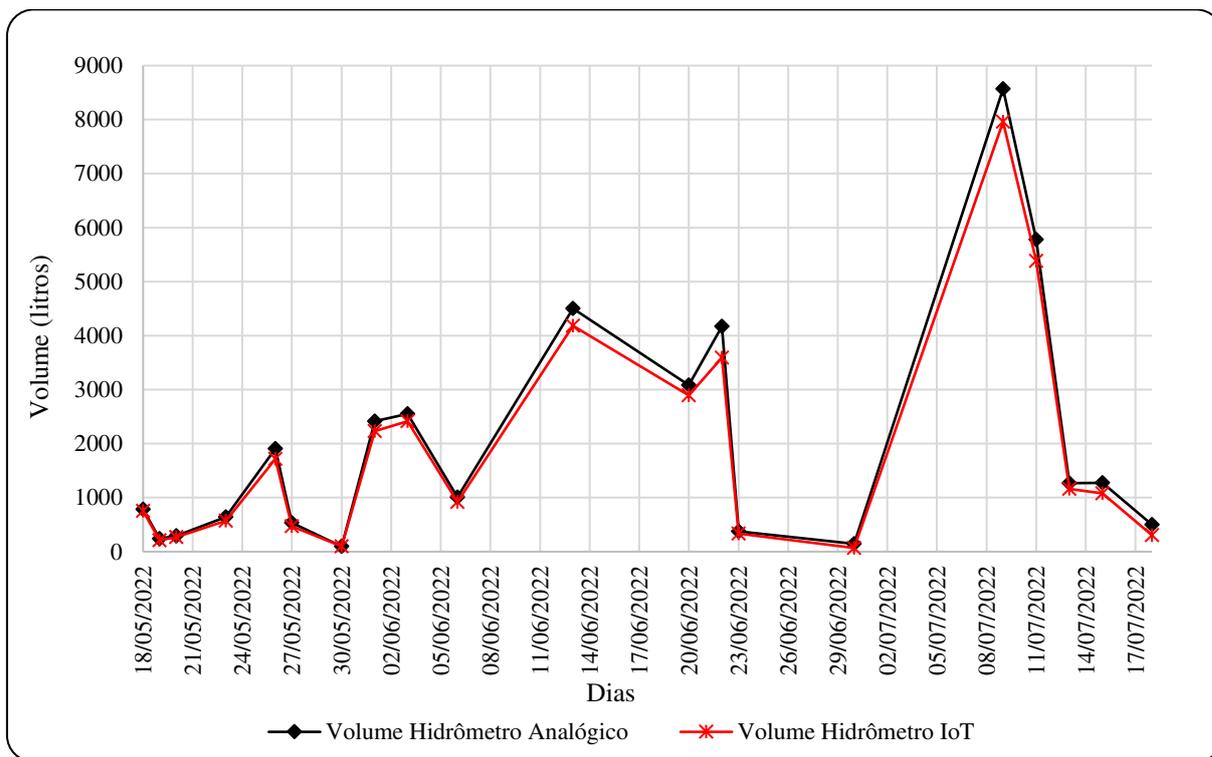
Para a validação em ambiente não controlado, verificou-se os volumes registrados pelo Hidrômetro IoT e pelo hidrômetro convencional entre as datas 18/05/2022 a 18/07/2022. Os dados estão organizados na Tabela 17 e no gráfico da Figura 32.

Tabela 17 – Comparação entre as leituras do Hidrômetro IoT e do hidrômetro convencional de 18/05/2022 a 18/07/2022

Data	Hidrômetro IoT	Hidrômetro analógico	Diferença
18/05/2022	754,55	780,95	3,38%
19/05/2022	207,77	240,3	13,54%
20/05/2022	267,92	290,19	7,67%
23/05/2022	571,26	642,08	11,03%
26/05/2022	1720,01	1907,28	9,82%
27/05/2022	472,73	537,3	12,02%
30/05/2022	94,93	95,05	0,12%
01/06/2022	2229,33	2416,9	7,76%
03/06/2022	2412,06	2553,6	5,54%
06/06/2022	919,00	1008,15	8,84%
13/06/2022	4183,84	4502,5	7,08%
20/06/2022	2893,33	3081,2	6,10%
22/06/2022	3591,86	4169	13,84%
23/06/2022	331,91	373,7	11,18%
30/06/2022	68,65	146,4	53,11%
09/07/2022	7959,22	8569,85	7,13%
11/07/2022	5381,38	5780,95	6,91%
13/07/2022	1160,86	1265,6	8,28%
15/07/2022	1080,73	1272,47	15,07%
18/07/2022	304,40	501,43	39,29%
TOTAL	40134,9	36556,42	8,92%

Fonte: Autor (2022).

Figura 32 - Comparação do Hidrômetro IoT com o hidrômetro convencional do dia 18/05/2022 a 18/07/2022



Fonte: Autor (2022).

Nesse período de 2 meses de comparação, verificou-se uma diferença total de 8,92%, estando dentro do erro de 5 a 10% determinado pelo manual do sensor. Mesmo assim, analisou-se algumas variáveis que podem interferir na leitura do Hidrômetro IoT e ocasionar essa diferença entre o valor lido no hidrômetro convencional e o valor medido pelo hidrômetro desenvolvido. Essas observações são descritas a seguir:

1. Erros na leitura do hidrômetro convencional

Como o hidrômetro convencional é do tipo analógico, alguns dos valores precisam ser estimados, gerando erros humanos na leitura do volume registrado. Além disso, a precisão do hidrômetro é de 100 mL já o Hidrômetro IoT desenvolvido tem precisão de até 1 mL, esse acúmulo de arredondamentos, em um período longo pode gerar diferenças.

2. Dados perdidos

Dados podem ser perdidos por falta de internet, energia ou outra interferência. Com o objetivo de reduzir esse problema devido à falta de internet ou falha na comunicação com o *ThingSpeak*, foi criada uma condição na programação do microcontrolador, na qual a variável

que acumula os consumos a cada dois minutos só é zerada se ocorrer o recebimento na plataforma.

Além disso, foi criada uma ação automática na plataforma *ThingSpeak* com linguagem MATLAB para enviar um e-mail de alerta quando não ocorrer recebimentos por 10 minutos ou mais. Assim, é possível detectar falta de internet, energia ou qualquer outro problema no Hidrômetro IoT.

A quantidade de dados recebidos em cada dia está na Tabela 18.

Tabela 18 - Quantidade de dados enviados a cada dia

Data	Quantidade de dados	Data	Quantidade de dados	Data	Quantidade de dados
17/05/2022	370	07/06/2022	663	28/06/2022	716
18/05/2022	701	08/06/2022	667	29/06/2022	717
19/05/2022	703	09/06/2022	660	30/06/2022	716
20/05/2022	702	10/06/2022	679	01/07/2022	716
21/05/2022	704	11/06/2022	664	02/07/2022	663
22/05/2022	705	12/06/2022	686	03/07/2022	718
23/05/2022	684	13/06/2022	679	04/07/2022	717
24/05/2022	665	14/06/2022	662	05/07/2022	717
25/05/2022	660	15/06/2022	673	06/07/2022	717
26/05/2022	688	16/06/2022	644	07/07/2022	717
27/05/2022	674	17/06/2022	639	08/07/2022	718
28/05/2022	643	18/06/2022	374	09/07/2022	717
29/05/2022	644	19/06/2022	649	10/07/2022	718
30/05/2022	673	20/06/2022	658	11/07/2022	717
31/05/2022	663	21/06/2022	647	12/07/2022	716
01/06/2022	673	22/06/2022	676	13/07/2022	717
02/06/2022	663	23/06/2022	689	14/07/2022	717
03/06/2022	667	24/06/2022	718	15/07/2022	717
04/06/2022	645	25/06/2022	718	16/07/2022	717
05/06/2022	645	26/06/2022	717	17/07/2022	718
06/06/2022	665	27/06/2022	717	18/07/2022	581

Fonte: Autor (2022).

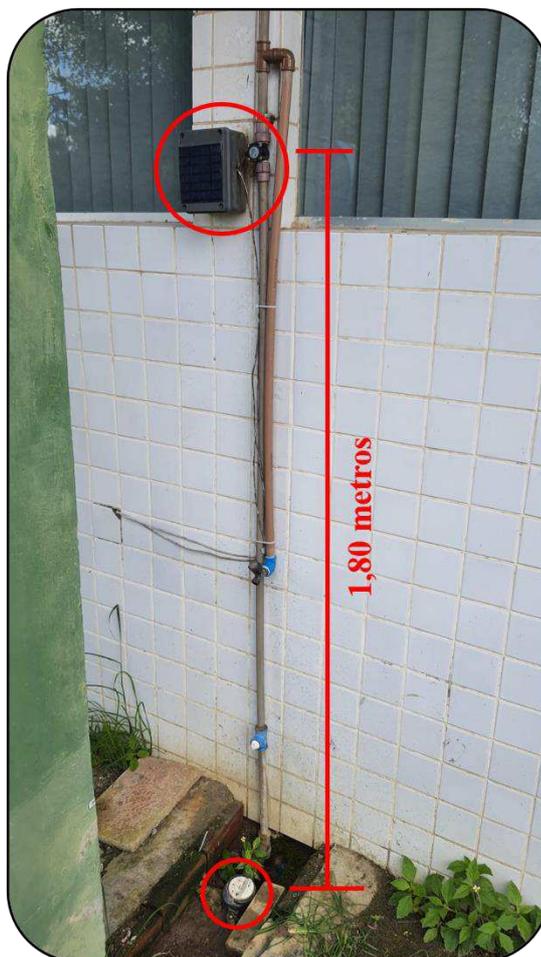
Associando essas duas medidas, percebeu-se que os envios ocorreram na maioria das vezes a cada dois minutos, como idealizado. Mas quando esse envio não era feito, os dados eram acumulados e enviados em 4 minutos.

O único período, que teve perda de dados, foi entre os dias 17 e 18/06/2022. No dia 17/06/2022 (sexta-feira) as 23:26:59 o sensor parou de enviar dados e voltou no dia 18/06/2022 (sábado) as 10:36:19.

3. Diferença de nível e de direção entre o Hidrômetro IoT e o hidrômetro convencional

O hidrômetro convencional está instalado na horizontal e o Hidrômetro IoT na vertical, e existe uma diferença de 1,8 metros entre os dois (Figura 33).

Figura 33 - Diferença de nível e de direção entre o Hidrômetro IoT e o hidrômetro convencional



Fonte: Autor (2022).

Essas diferenças de sentido e de nível entre o Hidrômetro IoT e o hidrômetro convencional podem ocasionar uma variação de leitura entre eles, devido à pressão na rede.

Os valores registrados pelo hidrômetro convencional são sempre maiores que o registrado pelo digital, o que sugere que a água passa e é registrada no hidrômetro convencional, mas não tem pressão suficiente para ser lida no Hidrômetro IoT, o que pode ser justificado pela diferença de nível de 1,80 metros.

A diferença observada dos valores de vazão entre os dois medidores é maior em períodos curtos se comparado com períodos maiores, pois com o passar do tempo, o fluxo da água se torna constante e eventualmente o volume registrado pelo hidrômetro analógico também será lido pelo Hidrômetro IoT.

Por fim, essa é a única diferença entre o sistema feito em laboratório para a calibração entre vazões de 1,32 a 20,37 L/min (conforme explicado no tópico 4.2.1) que obteve erro máximo de 0,89% e o sistema utilizado em campo que, mesmo com erro considerado pequeno

e dentro do intervalo determinado pelo manual do sensor, está maior que o observado em laboratório.

Para investigar isso, instalou-se um medidor de fluxo com paredes transparentes em série com o sensor já utilizado (Figura 34).

Figura 34 - Medidor de fluxo de paredes transparentes em série com o sensor de fluxo utilizado



Fonte: Autor (2022).

Com esse novo equipamento confirmou-se que havia fluxo de água sendo registrado no hidrômetro convencional, mas não havia fluxo passando no Hidrômetro IoT, pois as palhetas ficavam imóveis.

Portanto, nota-se que o fator mais influente para a diferença detectada entre o hidrômetro convencional e o digital é a diferença de nível que existe entre eles. Após essa confirmação, solicitou-se à Prefeitura Universitária que o Hidrômetro IoT fosse colocado em série, na horizontal e antes do hidrômetro convencional, reproduzindo fielmente todas as características da calibração. A alteração foi realizada (Figura 35), mas até a entrega desse trabalho não foram coletados dados suficientes para serem analisados, contudo com os poucos resultados obtidos constatou-se uma diferença em torno de 1,6% entre os hidrômetros, valor inferior ao que se vinha registrando antes da alteração. Deve-se ressaltar, que para resultados com maior confiabilidade é necessário um maior tempo de avaliação.

Figura 35 - Instalação do Hidrômetro IoT na horizontal e em série com o hidrômetro analógico



Fonte: Autor (2022).

De toda forma, pode-se dizer que o Hidrômetro IoT também foi validado em condições não controladas pois obteve diferença de apenas 8,92% quando comparado com o hidrômetro convencional.

4.4. Resultados da computação em nuvem

4.4.1. Aplicativos ThingSpeak

4.4.1.1. Channels

Foram criados dois canais para esse trabalho que serão descritos a seguir.

a. Channel “Sistema IoT para medição do consumo de água”

Esse canal mostrado na Figura 36 é responsável pelo recebimento de dados vindos do Hidrômetro IoT. Ele é formado por três *dashboards* (quadros informativos), como explicado no Quadro 3.

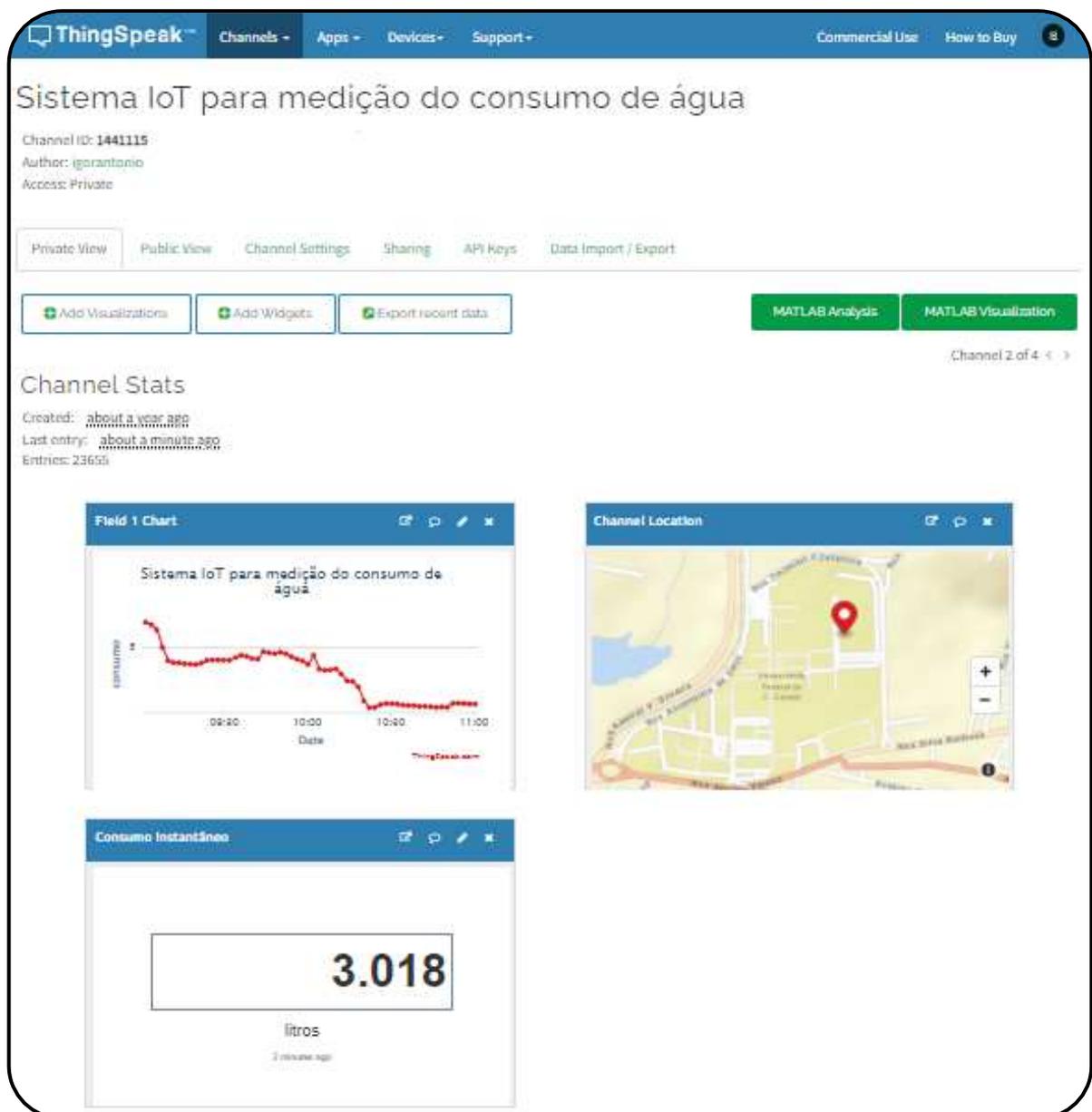
Na parte superior da Figura 36 observa-se o nome do canal, seguido por um conjunto de sete números chamado de *Channel ID*. Essa numeração é o identificador do respectivo canal, utilizado nos aplicativos da plataforma bem como no microcontrolador para enviar e receber dados.

Após, é exibido o autor do canal bem como o tipo de acesso. Esse canal tem acesso privado, assim, apenas o autor ou pessoas autorizadas por este podem ver os dados e respectivos *dashboards*.

Por isso, apenas na aba “*Private View*” é possível visualizar os *dashboards*, já na aba “*Public View*” nada será apresentado pois esse canal é privado.

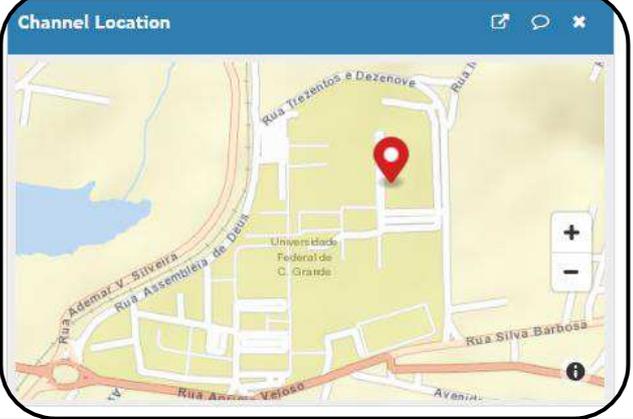
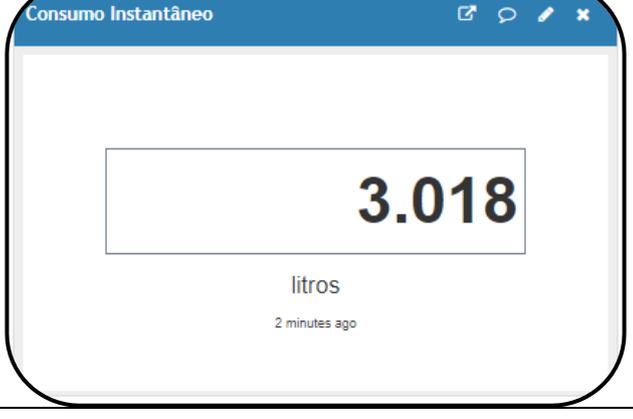
A aba “*Channel Settings*” mostra as configurações do canal como nome, descrição e os campos que podem ser utilizados para recebimento de dados. A aba “*Sharing*” permite o compartilhamento do canal com todos que utilizam a plataforma ou apenas com usuários específicos. Na aba “*API Keys*” é possível acessar as chaves de escrita e leitura usada para enviar e receber dados do canal, respectivamente, e na aba “*Data Import/Export*” pode-se baixar os dados do canal ou fazer o upload para o canal, em ambos casos com documentos do tipo CSV.

Figura 36 - Canal "Sistema IoT para medição do consumo de água"



Fonte: Autor (2022).

Quadro 3 - Dashboards do canal "Sistema IoT para medição do consumo de água"

	<p>O primeiro <i>dashboard</i> mostra os últimos 60 dados recebidos pelo Hidrômetro IoT.</p>
	<p>O segundo <i>dashboard</i> mostra a localização do Hidrômetro IoT instalado.</p>
	<p>O terceiro e último <i>dashboard</i> mostra o último valor de consumo recebido.</p>

Fonte: Autor (2022).

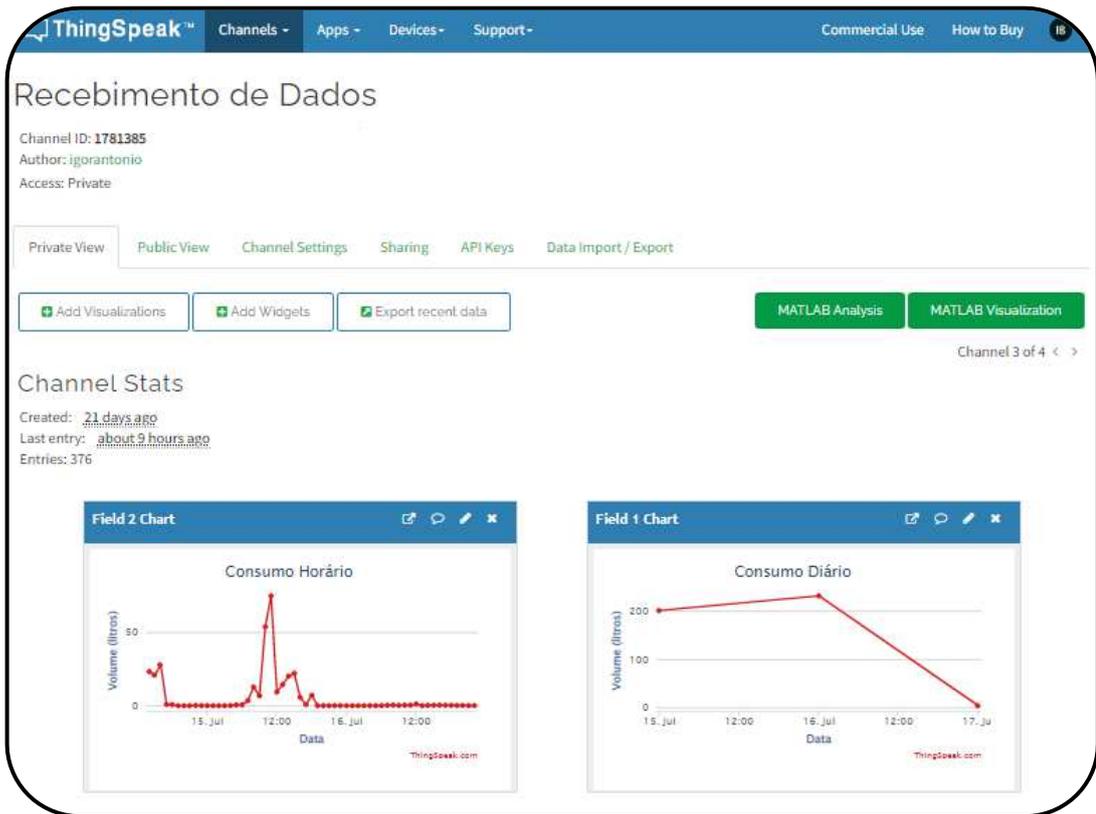
Na página inicial da plataforma pode-se ver os últimos 60 dados recebidos, a localização do dispositivo instalado e o valor de consumo instantâneo em litros.

b. *Channel* “Recebimento de dados”

A descrição feita para o primeiro canal se repete para este, a diferença é que o canal “Recebimento de dados” (Figura 37) apresenta os dados recebidos no canal 1 de forma agrupada por horário ou por dia e possui apenas dois *dashboards*, conforme detalhado no Quadro 4.

Para que os dados do canal 1 sejam agrupados em consumo horário e consumo diário no canal 2, o aplicativo *TimeControl* ativa todos os dias às 22 horas e 40 minutos a análise do *MATLAB* responsável por calcular o consumo horário, e às 00 horas a análise responsável por agrupar os dados das últimas 24 horas em consumo diário. Esses valores podem ser visualizados nos dois dashboards apresentados no Quadro 4.

Figura 37 - Canal "Recebimento de dados"



Fonte: Autor (2022).

Quadro 4 – Dashboards do Canal “Recebimento de dados” (continua)



Quadro 4 – Dashboards do Canal “Recebimento de dados” (continuação)



Fonte: Autor (2022).

Portanto, os dados desse canal são os mesmos do canal 1, só apenas apresentados de forma agrupada por hora ou por dia para facilitar a visualização e análise gráfica que pode ser feita a qualquer momento sem necessidade de prévio tratamento dos dados.

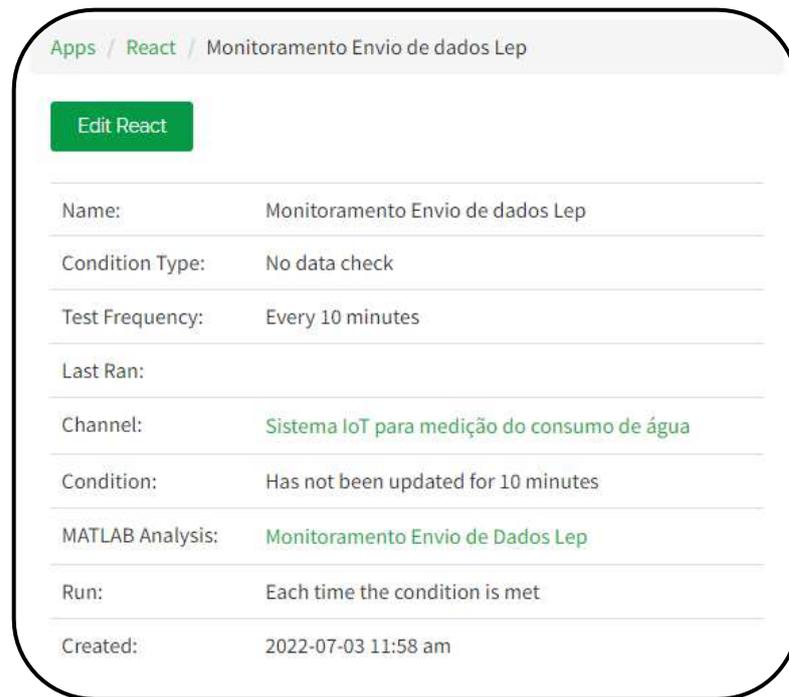
4.4.1.2. *React*

O microcontrolador envia dados de consumo a cada dois minutos para a plataforma *ThingSpeak*. Segundo análise do histórico de dados, quando o envio de dois minutos é frustrado, o envio seguinte ocorre com sucesso. Assim o período máximo sem envios é de quatro minutos, para o funcionamento normal do sistema.

Um tempo maior que quatro minutos sem recebimento de dados na plataforma é indicativo de problemas locais de falta de internet, energia ou outro. Mas estabelecendo uma folga de segurança, foi determinado empiricamente o valor de 10 minutos para acionamento dessa ação.

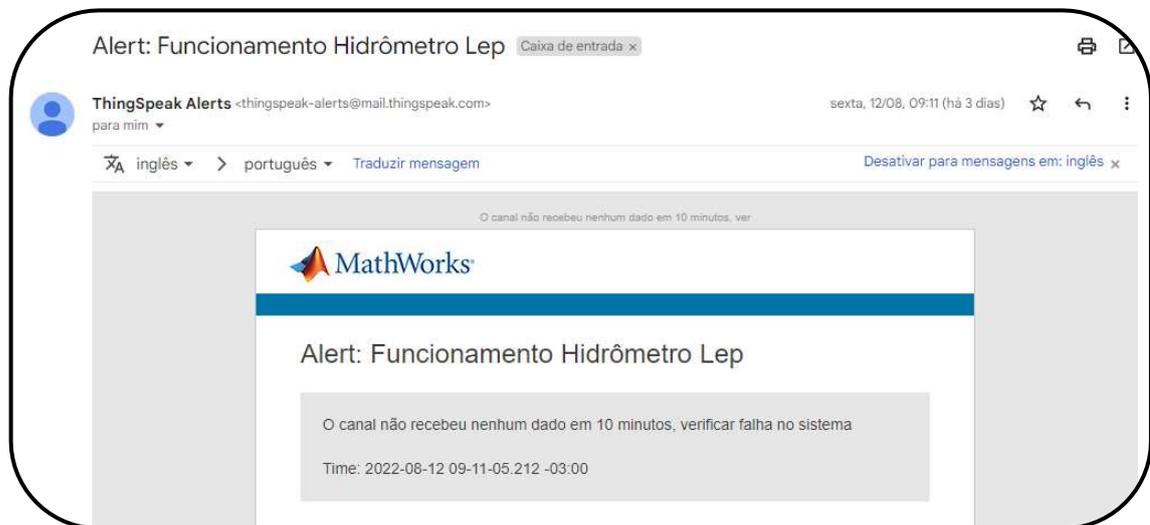
Dessa forma, esse aplicativo monitora o recebimento de dados na plataforma e, caso não receba nenhum dado em 10 minutos, aciona a análise do MATLAB “Monitoramento do envio de dados para a plataforma” (Figura 38) enviando um e-mail para que se possa verificar localmente o problema (Figura 39).

Figura 38 - Aplicativo *React* para monitoramento do envio de dados



Fonte: ThingSpeak (2022).

Figura 39 - E-mails de alerta sobre o funcionamento do sistema



Fonte: Autor (2022).

4.4.2. Detecção de vazamentos

No dia 08/07/2022, sexta-feira, foi detectado um vazamento aparente na tubulação que abastece o prédio do LEP, localizado antes dos hidrômetros (Figura 40).

Figura 40 - Início do vazamento no dia 08/07/2022



Fonte: Autor (2022).

Devido a hora, esse vazamento só foi consertado três dias após, na segunda-feira, dia 11/07/2022 (Figura 41). Durante os dias 9 e 10/07/2022, sábado e domingo respectivamente, ocorreram consumos contínuos durante todo o dia, algo que não ocorreu em nenhum dos outros dias anteriores e posteriores do período estudado de 17/05/2022 a 18/07/2022.

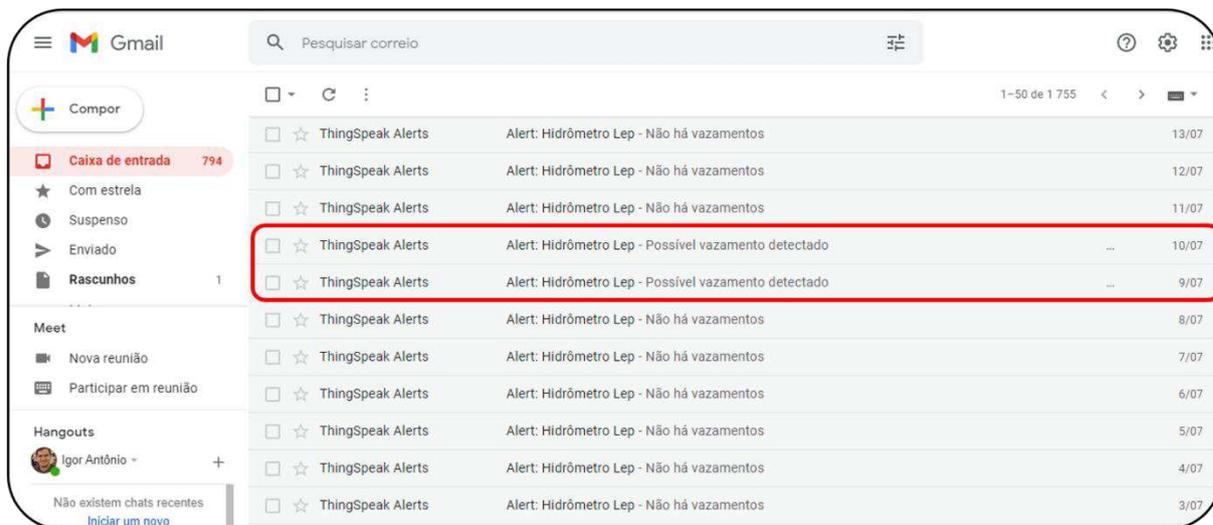
Figura 41 - Dia 11/07/2022 após conserto do vazamento



Fonte: Autor (2022).

A análise do *MATLAB* de detecção de vazamentos acionada todos os dias às 22 horas e 40 minutos verificou o consumo contínuo durante esses dois dias e enviou corretamente o e-mail de alerta de possível vazamento, conforme destacado em vermelho na Figura 42.

Figura 42 - E-mails recebidos sobre a existência ou não de vazamentos

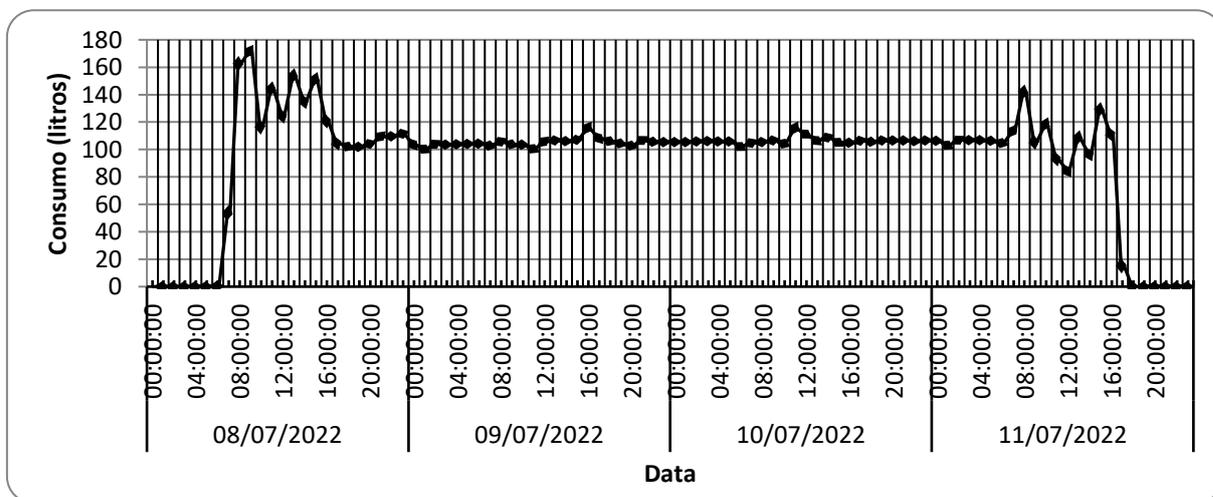


Fonte: Autor (2022).

Após o reparo no dia 11/07/2022, a programação verificou que não existiam mais vazamentos e enviou o e-mail corretamente, como pode ser visto na Figura 42, nos dias posteriores ao dia 10/07/2022.

O gráfico da Figura 43 mostra o consumo horário no período de 8 a 11/07/2022. Percebe-se linearidade no consumo a partir das 16 horas do dia 08/07/2022 até as 6 horas do dia 11/07/2022.

Figura 43 – Gráfico do consumo horário de 08/07/2022 a 11/07/2022



Fonte: Autor (2022).

Analisando o histórico de dados do período de 08 a 11/07/2022, pode-se estimar que foram perdidos mais de 7 mil litros de água com esse vazamento. Esse valor pode ser ainda maior, pois em alguns períodos o consumo registrado pode ser vazamento ou uso comum da água. Dessa forma, o vazamento fica escondido entre os usos normais.

O Hidrômetro IoT juntamente com a computação em nuvem foram capazes de detectar e alertar sobre um vazamento real. Percebe-se ainda a sensibilidade do sistema como um todo, pois o vazamento não ocorreu no prédio do LEP, após o hidrômetro, mas na tubulação que antecede esse e, devido ao vazamento, o fluxo de água ocorreu no sentido contrário sendo, mesmo assim, detectado.

4.5. Análise do consumo de água da edificação

Analisou-se o consumo do LEP do período de 17/05/2022 a 18/07/2022, identificando-se os padrões normais de consumo, períodos de falta de água e vazamentos. A Tabela 19 e a Figura 44 mostram o consumo diário desse período na edificação.

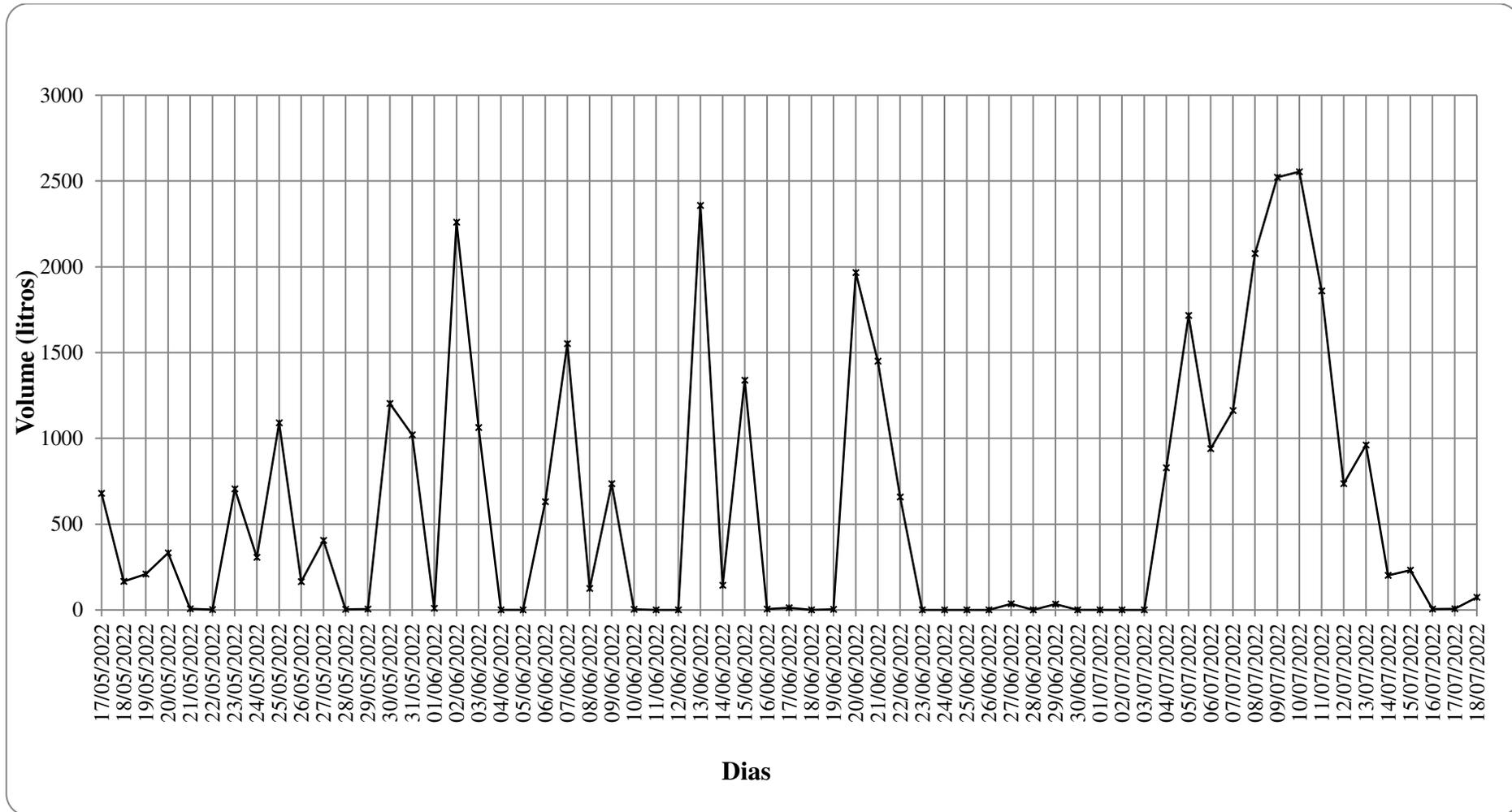
O consumo médio registrado nesse período foi de 580,260 L/dia, o consumo máximo ocorreu no dia 10/07/2022 com 2.554,264 L/dia e o mínimo ocorreu nos dias 11, 12, 23, 24, 25 e 26 de junho e nos dias 2 e 3 de julho, não sendo registrado nenhum consumo nesses dias. Nota-se que os valores observados por Brandão *et al.* (2019) continuam semelhantes, pois o consumo médio diário está próximo de 600 L/dia, e alguns dias com consumo superior a 1000 L/dia.

Tabela 19 - Consumo diário de 17/05/2022 a 18/07/2022

Data	Dia	Consumo (L)	Data	Dia	Consumo (L)	Data	Dia	Consumo (L)
17/05/2022	terça	680,06	07/06/2022	terça	1551,75	28/06/2022	terça	0,01
18/05/2022	quarta	165,84	08/06/2022	quarta	125,31	29/06/2022	quarta	33,68
19/05/2022	quinta	208,82	09/06/2022	quinta	736,22	30/06/2022	quinta	0,00
20/05/2022	sexta	331,52	10/06/2022	sexta	2,85	01/07/2022	sexta	0,04
21/05/2022	sábado	6,36	11/06/2022	sábado	0,00	02/07/2022	sábado	0,00
22/05/2022	domingo	1,66	12/06/2022	domingo	0,00	03/07/2022	domingo	0,00
23/05/2022	segunda	704,85	13/06/2022	segunda	2356,91	04/07/2022	segunda	829,34
24/05/2022	terça	307,03	14/06/2022	terça	144,24	05/07/2022	terça	1716,73
25/05/2022	quarta	1090,78	15/06/2022	quarta	1338,78	06/07/2022	quarta	939,82
26/05/2022	quinta	164,97	16/06/2022	quinta	4,60	07/07/2022	quinta	1162,24
27/05/2022	sexta	404,77	17/06/2022	sexta	12,72	08/07/2022	sexta	2077,53
28/05/2022	sábado	2,76	18/06/2022	sábado	0,45	09/07/2022	sábado	2521,24
29/05/2022	domingo	5,35	19/06/2022	domingo	3,81	10/07/2022	domingo	2554,26
30/05/2022	segunda	1202,42	20/06/2022	segunda	1965,80	11/07/2022	segunda	1858,87
31/05/2022	terça	1020,14	21/06/2022	terça	1450,41	12/07/2022	terça	735,41
01/06/2022	quarta	8,83	22/06/2022	quarta	658,07	13/07/2022	quarta	961,49
02/06/2022	quinta	2260,35	23/06/2022	quinta	0,00	14/07/2022	quinta	201,13
03/06/2022	sexta	1062,90	24/06/2022	sexta	0,00	15/07/2022	sexta	231,58
04/06/2022	sábado	0,64	25/06/2022	sábado	0,00	16/07/2022	sábado	4,51
05/06/2022	domingo	0,83	26/06/2022	domingo	0,00	17/07/2022	domingo	6,56
06/06/2022	segunda	631,10	27/06/2022	segunda	34,95	18/07/2022	segunda	73,12

Fonte: Autor (2022).

Figura 44 - Gráfico do consumo diário do Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) de 17/05/2022 a 18/07/2022



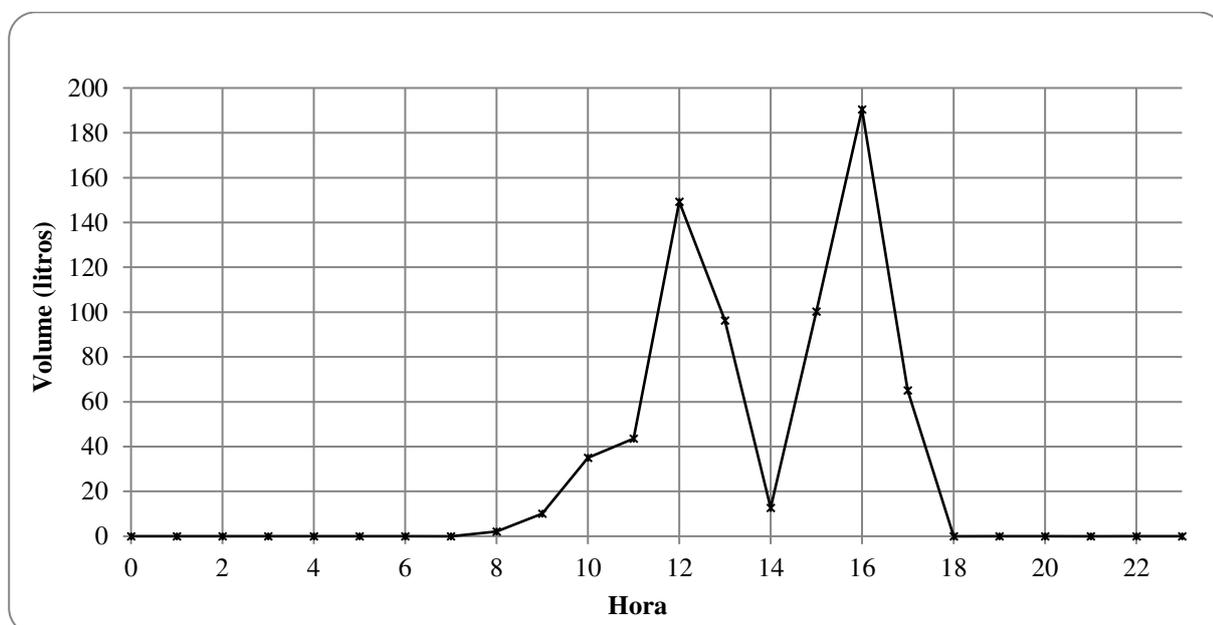
Fonte: Autor (2022).

O gráfico da Figura 45 mostra o consumo horário do dia 23/05/2022. Escolheu-se esse dia por representar o padrão de consumo em dias normais para essa edificação. É possível observar o início do consumo de água entre 7 e 8 horas da manhã, com o começo das atividades na instituição, e o fim dos registros de consumo entre 18 e 19 horas, coincidindo com o término das atividades acadêmicas nesse prédio.

Além disso, existe um pico de consumo no turno da manhã, entre 12 e 13 horas seguido por uma queda correspondente ao horário do almoço e redução das atividades. O mesmo comportamento é registrado à tarde, com um pico entre 16 e 17 horas, seguido de uma queda no consumo correspondente ao fim do período de atividades.

Durante a noite o consumo continua nulo, até reiniciar as atividades na manhã do dia seguinte.

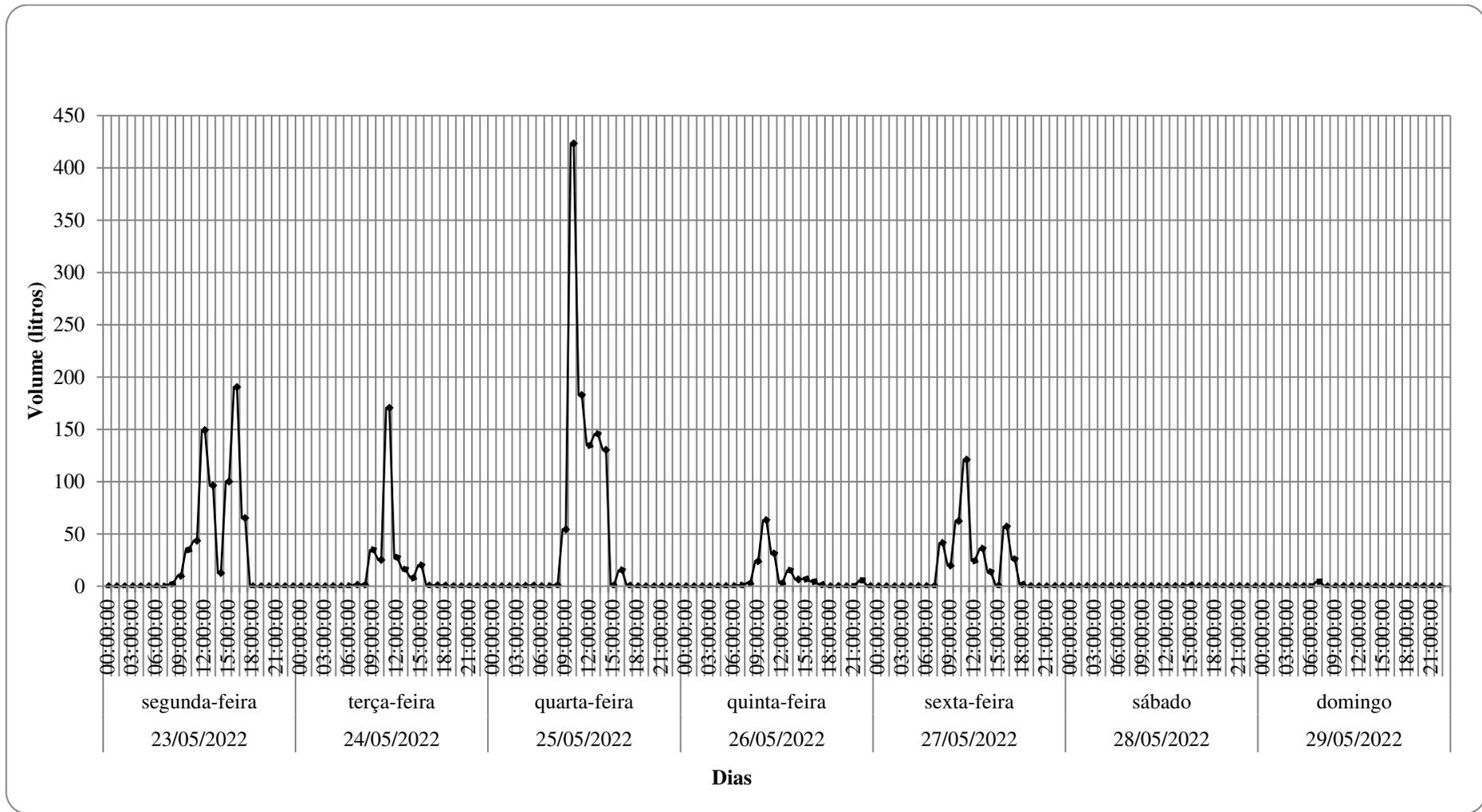
Figura 45 - Gráfico do consumo horário registrado no dia 23/05/2022



Fonte: Autor (2022).

Esse comportamento citado para o dia 23/05/2022 se repete até a sexta-feira (27/05/2022), conforme o gráfico da Figura 46, finalizando a semana com atividades no prédio. No final de semana, sábado (28/05/2022) e domingo (29/05/2022) o consumo é nulo ou próximo de zero, como esperado, visto que não existem atividades nesses dias.

Figura 46 - Gráfico do consumo horário de 23/05/2022 a 29/05/2022



Fonte: Autor (2022).

Examinando a Figura 47, observa-se que quase todos os finais de semana tiveram consumo nulo ou próximo de zero (marcações vermelhas), como esperado, visto que, geralmente, não há funcionamento nesses dias.

O único final de semana com registro de consumo correspondeu aos dias 09 e 10/07/2022, com 2.521,238 e 2.554,264 L/dia respectivamente, sendo esses, os dois dias com maior consumo registrado no período estudado. Ressalta-se que os dias 8, 9, 10 e 11 de julho foram os dias nos quais ocorreu um vazamento na tubulação que abastece o prédio analisado (marcação azul).

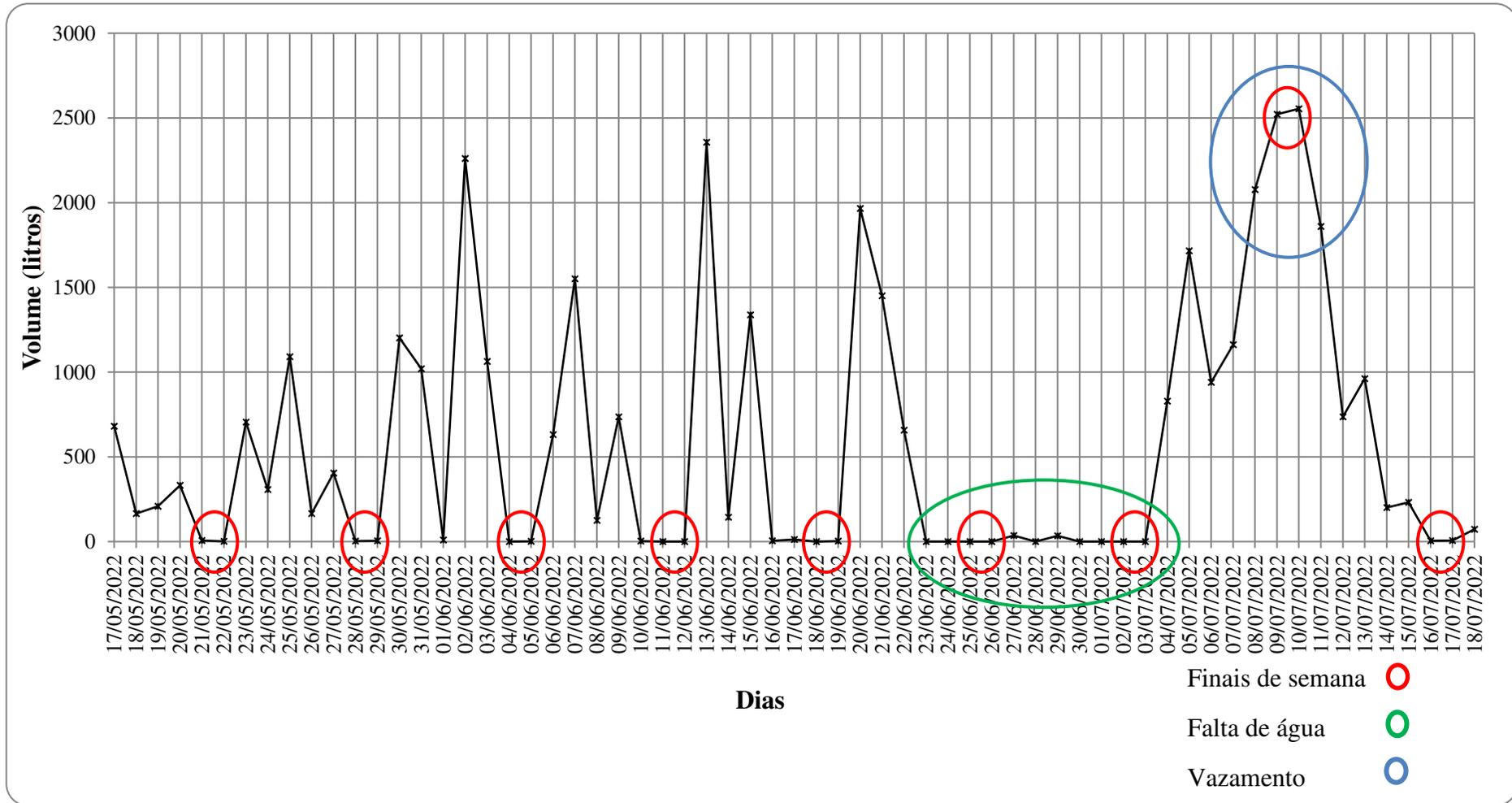
Esses dias de vazamento tiveram seus consumos detalhados por hora na Figura 48. Percebe-se que no dia 08/07/2022 (Figura 48A) o consumo se apresenta normal até às 16 horas, depois desse horário o consumo toma forma de uma reta linear com valor de aproximadamente 100 L constante. Esse horário foi relatado por funcionários dos prédios próximos como sendo o início do vazamento.

O padrão descrito continua no dia 09/07/2022 (Figura 48B) e no dia 10/07/2022 (Figura 48C) com pouca alteração e sem decrescer. Nesses dois dias foram registrados os maiores consumos e isso ocorreu devido a vazão de água causada pelo vazamento e por ser um final de semana, assim não teve como ser reparado nesses dias.

A partir das 9 horas da manhã do dia 11/07/2022 (Figura 48D) ocorre variações no consumo voltando a decrescer depois das 16 horas, horário quando o vazamento foi sanado e o consumo do prédio voltou a regularidade.

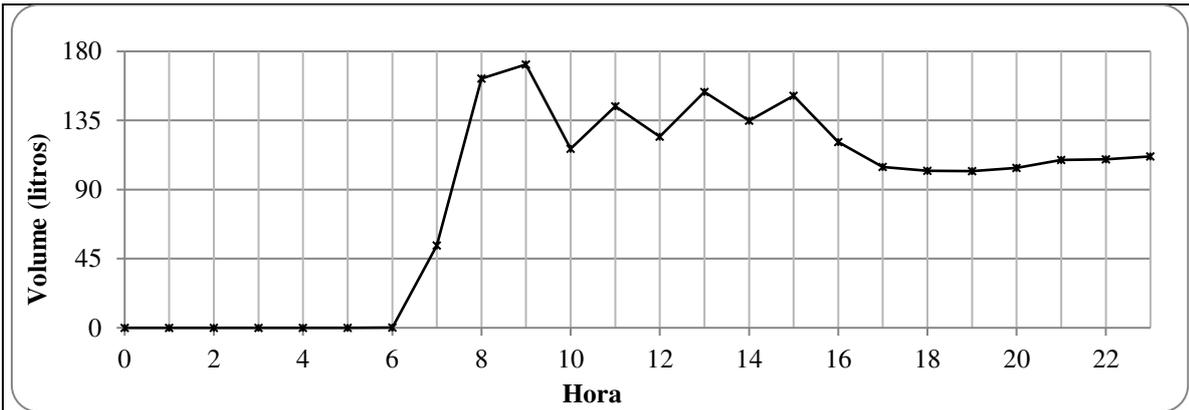
Por fim, no intervalo de 23/06/2022 a 03/07/2022 (Figura 47 – marcação verde), ocorreu falta de água no prédio analisado, com um consumo total de apenas 68,69 L nesse período. Essa falta de água ocorreu em todo câmpus sede da UFCG devido a um problema na rede de abastecimento da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) em bairro vizinho a universidade, afetando toda essa área.

Figura 47 - Gráfico do consumo de 17/05/2022 a 18/07/2022 com marcações de alguns períodos

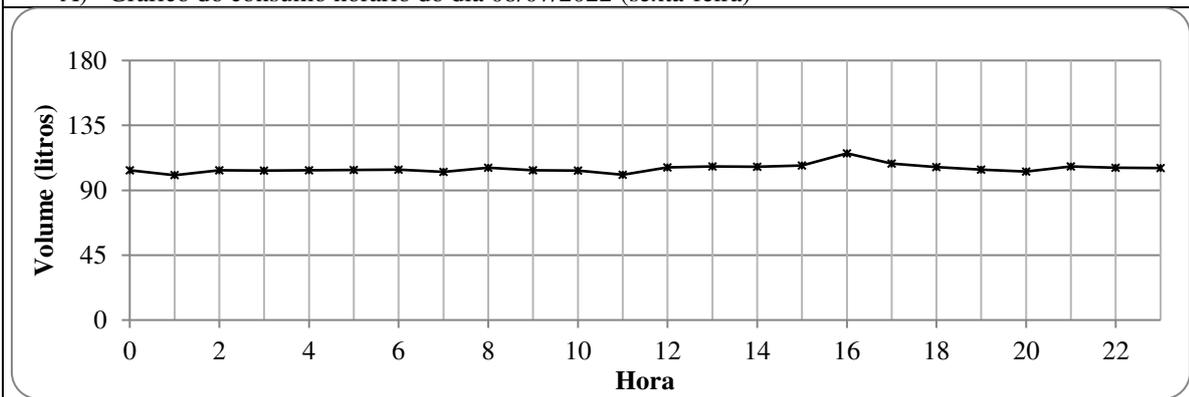


Fonte: Autor (2022).

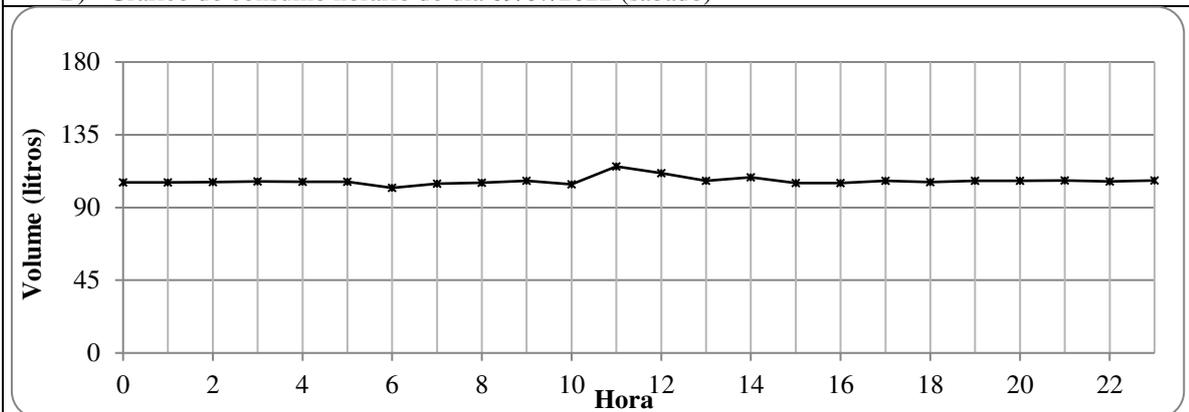
Figura 48 - Detalhamento do consumo no período de 08/06/2022 a 11/06/2022



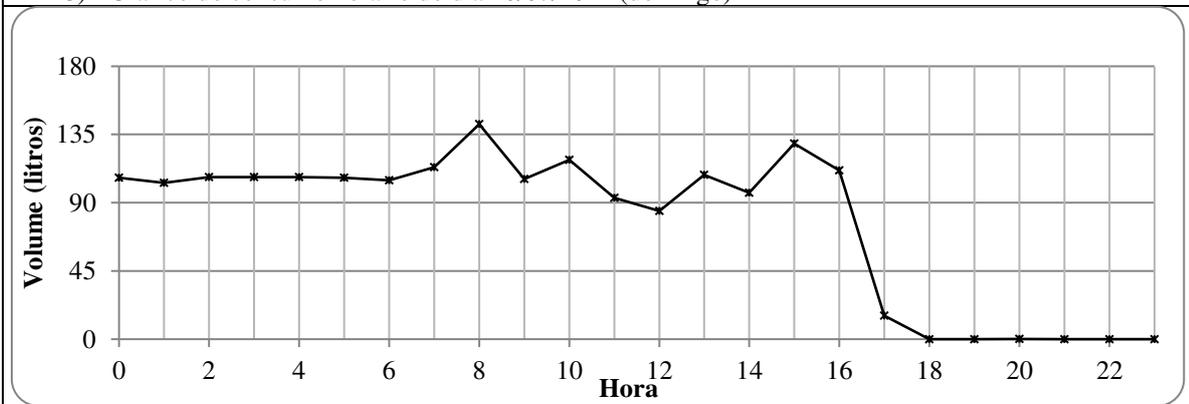
A) Gráfico do consumo horário do dia 08/07/2022 (sexta-feira)



B) Gráfico do consumo horário do dia 09/07/2022 (sábado)



C) Gráfico do consumo horário do dia 10/07/2022 (domingo)



D) Gráfico do consumo horário do dia 11/07/2022 (segunda-feira)

Fonte: Autor (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Esse trabalho teve como objetivo geral desenvolver um Hidrômetro IoT de baixo custo para medição do consumo de água em redes de abastecimento micromedidas, com uso da computação em nuvem para armazenamento e processamento dos dados, além de detectar e alertar sobre possíveis vazamentos.

Esse medidor registra o consumo do prédio e envia os dados de leitura para a nuvem por meio da internet, a cada dois minutos e foi produzido com preço de custo R\$ 92,70, mais barato que um hidrômetro convencional, que tem custo médio de R\$ 114,68 de acordo com os dados da SINAPI (2022).

Esse valor mostra que é possível melhorar a infraestrutura de medição, utilizando tecnologias emergentes, porém confiáveis, trazendo confiança para clientes e concessionárias sobre consumo real e identificando vazamentos e/ou falta de água em tempos reduzidos.

Após desenvolvimento do *software* e *hardware* do Hidrômetro IoT foi possível calibrá-lo em intervalos de vazões de 1,32 a 20,37 L/min, e de 16,67 a 55 L/min. Com isso foram calculados cinco fatores de calibração para diferentes intervalos de vazões.

A validação do Hidrômetro IoT foi feita tanto em laboratório quanto em campo. No laboratório foi comparado o valor lido pelo hidrômetro digital com o valor medido em um rotâmetro e com um hidrômetro convencional, ambos acoplados em bancadas hidráulicas. Já em campo foi comparando o valor do Hidrômetro IoT com o valor do hidrômetro convencional, já existente no prédio estudado.

Em laboratório evidenciou-se a sensibilidade e eficiência do medidor desenvolvido, com erros máximos de 5,03% quando comparado ao volume medido no rotâmetro. Notou-se estabilidade do sensor para leituras de até 55 L/min, bem superior ao limite definido no *Datasheet* que é de 30 L/min.

Comparando-se os valores registrados pelo medidor inteligente com o hidrômetro convencional, tanto em um ambiente controlado quanto em campo, a diferença máxima registrada no laboratório foi de 0,89%, já em campo, no período estudado, a diferença foi de 8,92%.

Com o objetivo de integrar o hidrômetro digital com a computação em nuvem utilizou-se a plataforma IoT *ThingSpeak*, a qual possibilitou: receber, armazenar, processar e exibir as informações, além de emitir alertas programados e fazer análises matemáticas online com o *MATLAB*.

Por fim, foi possível atingir os objetivos esperados e analisar o padrão de consumo de água com a automação dos medidores, identificando períodos normais, faltas de água e vazamentos.

Alguns pontos podem ser citados como recomendações para continuação dessa pesquisa:

1. Os hidrômetros geralmente ficam instalados próximo ao chão ou em espaços protegidos, os quais não possuem cobertura de eletricidade por razões de segurança. O hidrômetro digital necessita de internet e ponto de energia para funcionar, isso dificulta a instalação em larga escala. Sugere-se que seja estudada alguma forma efetiva de alimentação independente, bem como a transmissão dos dados, expandindo a aplicação para cidades e comunidades rurais;
2. O sensor de fluxo utilizado, mesmo mostrando um bom range de trabalho, ainda não possui certificação do INMETRO. Dessa forma, pode-se estudar uma forma de implementar a tecnologia desenvolvida nesse trabalho em hidrômetros já certificados, por exemplo, automatizar a leitura com um dispositivo que envie fotos em intervalos de tempo determinados e um sistema de processamento de imagens, que transforme as fotos em valores de leitura;
3. O sensor de fluxo utilizado mostrou-se eficaz para vazões de até 55 L/min, mas sugere-se que haja um estudo prévio da edificação que este irá monitorar. Em caso de edificações com vazões menores ou maiores, deve-se analisar a necessidade de mudança dos fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHELEROFF, S.; XU, X.; LU, Y.; ARISTIZABAL, M.; VELÁSQUEZ, J. Pablo; JOA, B.; VALENCIA, Y. IoT-enabled smart appliances under industry 4.0: A case study. *Adv. Eng. Inform.* 2020, 43, 101043.

AL-MADHRAHI, Raad; ALDUAIS, Nayef.A.M.; ABDULLAH, Jiwa; MAHDIN, Hairulnizam B.; SAAD, Abdul-Malik H. Y.; NASSER, Abdullah B.; ALDUAIS, Husam Saleh. An Efficient IoT-based Smart Water Meter System of Smart City Environment. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, v. 12, n. 8, 31 2021.

ALMOLHIS, Nawaf; ALASHJAE, Abdullah Mujawib; DURAIBI, Salahaldeen; ALQAHTANI, Fahad; MOUSSA, Ahmed Nour. The Security Issues in IoT - Cloud: A Review. 2020 16th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA). *Anais... Em: 2020 16TH IEEE INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SIGNAL PROCESSING & ITS APPLICATIONS (CSPA)*. Langkawi, Malaysia: IEEE, fev. 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9068693/>>. Acesso em: 2 jun. 2022.

AL-OMARY, A.; ALSABBAGH, H. M.; AL-RIZZO, H. Cloud based IoT for Smart Garden Watering System using Arduino Uno. p. 33 (6 pp.)-33 (6 pp.), 1 jan. 2018.

ALVISI, Stefano; CASELLATO, Francesco; FRANCHINI, Marco; GOVONI, Marco; LUCIANI, Chiara; POLTRONIERI, Filippo; RIBERTO, Giulio; STEFANELLI, Cesare; TORTONESI, Mauro. Wireless Middleware Solutions for Smart Water Metering. *Sensors*, v. 19, n. 8, p. 1853, jan. 2019.

ARAUJO, P.; FILHO, R.; RODRIGUES, J.; OLIVEIRA, J.; BRAGA, S. Infrastructure for Integration of Legacy Electrical Equipment into a Smart-Grid Using Wireless Sensor Networks. *Sensors* 2018.

BARROS, M. B.; RUFINO, I. A. A.; MIRANDA, L. I. B. Mecanismos poupadores de água como suporte ao planejamento urbano. *Campina Grande*, 2015.

BATALLA-BEJERANO, Joan; TRUJILLO-BAUTE, Elisa; VILLA-ARRIETA, Manuel. Smart meters and consumer behaviour: Insights from the empirical literature. *Energy Policy*, v. 144, p. 111610, set. 2020.

BEAL, C.D.; FLYNN, J. Toward the digital water age: Survey and case studies of Australian water utility smart-metering programs. 2015.

BEAL, C.D.; FLYNN, J. Toward the digital water age: Survey and case studies of Australian water utility smart-metering programs. 2015.

BHAWIYUGA, Adhitya; PRIMANITA, Dany; PRATAMA, Ocki Bagus; AMRON, Kasyful. Architectural design of IoT-cloud computing integration platform. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, v. 17, p. 1399, 1 jun. 2019.

BRAGA, B.; GOBETTI, L. Análise Multiobjetivo. Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora Universidade. Pg. 361-418. Porto Alegre, 1997.

BRANDÃO, Igor Antônio de Paiva. Sistema inteligente para automação do consumo de água do campus da UFCG de Campina Grande. Orientadora: Dra. Dayse Luna Barbosa. Co-orientador: Ms. Antônio Leomar Ferreira Soares. 2019. TCC (Graduação) – Engenharia Civil, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais (CTRN), Universidade Federal de Campina Grande, 2019.

BRASIL. Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012. Regulamenta o art. 3º da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, para estabelecer critérios e práticas para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal direta, autárquica e fundacional e pelas empresas estatais dependentes, e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública - CISAP. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7746.htm>. Acesso em 23 set. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em 10 ago. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas - Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável. Versão 1 de Novembro 2014. Brasília – DF.

BRITTON, T.; COLE, G.; STEWART, R.; WISKAR, D. Remote diagnosis of leakage in residential households. *Water* (Australian Water Association), 35, 56–60. 2008.

BROOKS, D.B. An Operational Definition of Water Demand Management. *Int. J. Water Resour. D*, 22, 521–528. 2006.

BURGESS, J.; HARRISON, C. M.; FILIUS, P. Environmental Communication and the Cultural Politics of Environmental Citizenship. *Environment and Planning A: Economy and Space*, v. 30, n. 8, p. 1445–1460, 1 ago. 1998.

DANG, L. Minh; PIRAN, Md. Jalil; HAN, Dongil; MIN, Kyungbok; MOON, Hyeonjoon. A Survey on Internet of Things and Cloud Computing for Healthcare. *Electronics*, v. 8, n. 7, p. 768, jul. 2019.

DATASHEET: Water Flow Sensor, modelo YF-201. Componenets 101, 2020.

DEPURU, S.S.S.R.; WANG, L.; DEVABHAKTUNI, V. Medidores inteligentes para rede elétrica: desafios, problemas, vantagens e status Renovar. *Sustentar. Energia Rev.* 15 (6), pp. 2736 – 2742. 2011.

EAKIN, H.C.; LEMOS, M.C.; NELSON, D.R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change* 27:1-8. 2014.

ELSISI, Mahmoud; MAHMOUD, Karar; LEHTONEN, Matti; DARWISH, Mohamed M. F. Reliable Industry 4.0 Based on Machine Learning and IoT for Analyzing, Monitoring, and Securing Smart Meters. *Sensors*, v. 21, n. 2, p. 487, jan. 2021.

FARAH, E.; ABDALLAH, A.; SHAHROUR, I. Prediction of water consumption using Artificial Neural Networks modelling (ANN). *MATEC Web of Conferences*, v. 295, p. 01004, 2019.

FRIEDMAN, K. et al. Water Demand Management optimization methodology. American Water Works Association. 2011.

FUENTES, Henry; MAURICIO, David. Smart water consumption measurement system for houses using IoT and cloud computing. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, n. 9, p. 602, 28 ago. 2020.

GAO, H.; WEI, T.; LOU, T.; YANG, Z.; SHEN, Z.; LI, Y. “Water Saving Effect on Integrated Water Resource Management.” *Resources, Conservation and Recycling* 93: 50–58. doi:10.1016/j.resconrec.2014.09.009. 2014.

GOMES, Viviane Lucena. Uso eficiente de água em campus universitário: o caso da Universidade Federal de Campina Grande. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental). Unidade Acadêmica de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.

GOSAVI, G.; GAWDE, G. Smart water flow monitoring and forecasting system. 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information Communication Technology (RTEICT). Anais... In: 2017 2ND IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT TRENDS IN ELECTRONICS, INFORMATION COMMUNICATION TECHNOLOGY (RTEICT). maio 2017.

GOSNELL, G., Martin, R., Muûls, M., Coutellier, Q., Strbac, G., Sun, M., Tindermans, S. Making smart meters smarter the smart way. CEP Discussion Papers dp1602, Centre for Economic Performance, LSE. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35403.64803>. 2019.

HORSBURGH, Jeffery S; LEONARDO, Miguel E; ABDALLAH, Adel M; ROSENBERG, David E. Measuring water use, conservation, and differences by gender using an inexpensive, high frequency metering system. 2017.

INMETRO. Portaria INMETRO/DIMEL/Nº 237, de 28 de dezembro de 2005. Aprova o modelo “A 1,5” de hidrômetro, marca ASIM, bem como as instruções que deverão ser observadas quando da realização das verificações metrológicas.

JAN, Farmanullah; MIN-ALLAH, Nasro; SAEED, Saqib; IQBAL, Sardar Zafar; AHMED, Rashad. IoT-Based Solutions to Monitor Water Level, Leakage, and Motor Control for Smart Water Tanks. *Water*, v. 14, n. 3, p. 309, jan. 2022.

KABALCI, Y.; Uma pesquisa sobre medição inteligente e comunicação de rede inteligente. *Renovar. Sustentar. Energia Rev.*, 57, pp. 302 – 318. 2016.

KATTAN, A.; ALRAWI, R. A. Erbil City Household Water Consumption Data Collection Utilizing Smart Metering System. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, v. 30, n. 1, p. 1–15, 1 jun. 2018.

KAUFMANN, S.; KÜNZEL, K.; LOOCK, M. Customer value of smart metering: Explorative evidence from a choice-based conjoint study in Switzerland. *Energy Policy* 2013.

KEMPER, K. E. – The Cost of Free Water- Water Resources Allocation and Use in the Curu Valley, Northeast Brazil. -- Linkoping,1996.

LIU, Ariane; MUKHEIBIR, Pierre. Digital metering feedback and changes in water consumption – A review. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 134, p. 136–148, 1 jul. 2018.

LOUREIRO, D.; VIEIRA, P.; MAKROPOULOS, C.; KOSSIERIS, P.; RIBEIRO, R.; BARATEIRO, J.; KATSIRI, E. Smart metering use cases to increase water and energy efficiency in water supply systems. *Water Sci. Technol.* 2014.

LUCIANI, Chiara; CASELLATO, Francesco; ALVISI, Stefano; FRANCHINI, Marco. Green Smart Technology for Water (GST4Water): Water Loss Identification at User Level by Using Smart Metering Systems. *Water*, v. 11, n. 3, p. 405, mar. 2019.

MARENGO, Jose A.; CUNHA, Ana P.; ALVES, Lincoln M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. 2016.

MENDES, C. F. Estudo Exploratório de Programas de Uso Racional de Água em Instituições de Ensino Superior e a Pré-Implantação no Anel Viário do Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

NARCISO, C. A. F. Espaço público: ação política e práticas de apropriação. Conceito e precedência. *Estudos e Pesquisas em Psicologia*, UERJ, RJ, ano 9, N. 2, P. 265-291, 2º semestre de 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Os objetivos de desenvolvimento sustentável: dos ODM aos ODS. Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD). Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/ODS.aspx>>. Acesso em: 23 set. 2022.

OECD. Conselho da OECD. Recomendação sobre a Água (2016). Disponível em: <https://www.oecd.org/water/Recomendacao-sobre-a-agua.pdf>. Acesso em: ago. 2022.

OLIVEIRA, C. N. Indicadores de Consumo e Propostas para Racionalização do Uso da Água em Instalações de Empreiteiras: Caso da Refinaria Landulpho Alves de Mataripe. Dissertação de Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Universidade Federal da Bahia. Salvador-BA, 2009.

OTAKI, Yurina; HONDA, Hidehito; UEDA, Kazuhiro. Water demand management: Visualising a public good. *PLOS ONE*, v. 15, n. 6, p. e0234621, 16 jun. 2020.

PATWARDHAN, S.; VISHWANATH, V. "Assessment of Water Consumption at Urban Household Level: A Case Study of Pune, Maharashtra." In *Sustainable Smart Cities in India: Challenges and Future Perspectives*, The Urban Book Series, edited by P. Sharma, & S. Rajput, 475–491. Cham: Springer International Publishing. doi:0.1007/978-3-319-47145-7_30. 2017.

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA – PNCDA. Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água. Brasil: Presidência da República Ministério das Cidades, Brasil, 2004.

RAY, Aritra; GOSWAMI, Shreemoyee. IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System. 1 fev. 2020.

RHODES, J.D.; UPSHAW, C.R.; HARRIS, C.B.; MEEHAN, C.M.; WALLING, DA.; NAVRÁTIL, P.A.; BECK, A.L.; NAGASAWA, K.; FARES, R.L.; COLE, W.J. Experimentos e recolha de dados para implantação de rede inteligente em grande escala: os métodos e os primeiros resultados, 65, pp. 462 – 471. 2014.

SADR, Seyed. M. K; THAT, Line T.; MEMON, Will Ingram & Fayyaz A. Simulating the impact of water demand management options on water consumption and wastewater generation profiles. *Urban Water Journal*, v. 18, n. 5, p. 320–333, 28 maio 2021.

SALAH, Khaled. IoT Cloud Computing, Storage, and Data Analytics. Em: [s.l: s.n.]. p. 71–91. 2019.

SAVENIJE, H.H.G.; VAN DER ZAAG, P. Water as an Economic Good and Demand Management, Paradigms with Pitfalls. *Water International* 27(1): 98-104. 2002.

SCHULTZ, P.; JAVEY, S.; SOROKINA, A. Smart Water Meters and Data Analytics Decrease Wasted Water Due to Leaks: *JOURNAL AWWA*. Journal - American Water Works Association, v. 110, 7 ago. 2018.

SHARMA, K.; SAINI, L.M. Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015.

SILVA, A. B.; MOREIRA, L. R. B. Telemetria em Sistemas de Comunicação Móvel Celular. 2004. Projeto final (Graduação em Engenharia Elétrica), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

SLAVÍKOVÁ, Lenka; VOJÁČEK, Ondrej; SMEJKAL, Tomas. Artificial shortage of surface water: how can water demand management mitigate the scarcity problem?: Artificial shortage of surface water. *Water and Environment Journal*, v. 31, n. 1, p. 12–19, fev. 2017.

SOUZA, I. V. A; VIEIRA, V. P. P. B. A influência do Banco Mundial no Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Nordeste Brasileiro. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004.

SRIVASTAVA, Priyanshu.; KHAN, Rizwan. A Review Paper on Cloud Computing. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, v. 8, p. 17, 29 jun. 2018.

STANFORD UNIVERSITY; MADDAUS WATER MANAGEMENT. Water Sustainability, Efficiency and Conservation. Stanford, out. 2003. Disponível em: <http://libre.stanford.edu/sem/water_conservation#wateraccomplishments>. Acesso em: 17 jan. 2022.

STAVENHAGEN, M; BUURMAN, J; TORTAJADA, C. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. Elsevier Journal, v. 79, p. 187-195, sept. 2018.

STAVENHAGEN, M; BUURMAN, J; TORTAJADA, C. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. Elsevier Journal, v. 79, p. 187-195, sept. 2018.

STEWART, R.A.; NGUYEN, K.; BEAL, C.; ZHANG, H.; SAHIN, O.; BERTONE, E.; VIEIRA, A.S.; CASTELLETTI, A.; COMINOLA, A.; GIULIANI, M.; Integrated intelligent water-energy metering systems and informatics: Visioning a digital multi-utility service provider. Environ. Model. Softw. 2018, 105, 94–117.

STUDART, T. M. C.; CAMPOS, N. Gestão da demanda. Gestão das águas: princípios e práticas. Organizadores: CAMPOS, N.; STUDART, T. M. 2ª edição. ABRH: Fortaleza, 2001. SUNDRESH, H. D.; PRIYA, D. Design and Integrate IoT Sensors to RO Water Purifiers for Remote Monitoring and Allowing Users to Pay Per Usage on the Rented RO System. In Inventive Communication and Computational Technologies (pp. 647-651). Springer, Singapore. 2020.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Assessoria de Comunicação. ICC terá medidor de consumo de água. Brasília, 17 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.unb.br/acs/unbagencia/ago0806-30.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2022.

VIEIRA, R.M.S.P.; TOMASELLA, J.; ALVALA, R.C.S.; SESTINI, M.F.; AFFONSO, A.G.; RODRIGUEZ, D.A.; BARBOSA, A.A.; CUNHA, A.P.M.A.; VALLES, G.F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S.B.P.; SOUZA, M.S.B.; CALIL, P.M.; CARVALHO, M.A.; VALERIANO, D.M.; CAMPELLO, F.C.B.; SANTANA, M.O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. Solid Earth 6:347–360. 2015.

XIAO, Y.; FANG, L.; HIPEL, K.W. Agent-Based Modeling Approach to Investigating the Impact of Water Demand Management. J. Water Res. Plan. Manag, pg 144. 2018.

ZAIED, Younes Ben; KERTOUS, Mourad; CHEIKH, Nidhaledine Ben; LAHOUEL, Béchir Ben. Delayed payment of residential water invoice and sustainability of water demand management. Journal of Cleaner Production, v. 276, p. 123517, dez. 2020.

ZAMORA-IZQUIERDO, Miguel; SANTA, José, MARTÍNEZ, Juan A.; MARTÍNEZ, Vicente; SKARMETA, Antonio F. Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing. Biosystems Engineering, Intelligent Systems for Environmental Applications. v. 177, p. 4–17, 1 jan. 2019.