

Protótipo de aplicação doméstica para o monitoramento de sistemas de distribuição de água baseado em internet das coisas

Prototype of domestic application for the monitoring of water distribution systems based on internet of things

Prototipo de aplicación doméstica para el monitoreo de sistemas de distribución de agua basado en internet de las cosas

Recebido: 09/09/2020 | Revisado: 17/09/2020 | Aceito: 22/09/2020 | Publicado: 24/09/2020

Kilbert Amorim Maciel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7374-2847>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: kilbert.maciel@ifce.edu.br

David Martins Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9505-2919>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: davidmartinsleite@hotmail.com

José Wally Mendonça Menezes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2605-8633>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: wally@ifce.edu.br

Resumo

Sistemas de distribuição de água, tanto urbanos quanto rurais, possuem complexas interações entre os aspectos de monitoramento quantitativos e qualitativos da água. Tais modelos carecem ainda de uma maior precisão na disponibilização de medidas em tempo real e os impactos de sua distribuição nas redes de canos ao longo do tempo. A estimação de perdas e sua localização é um aspecto possível de ser avaliado através de métodos de aquisição de dados usando redes de sensores e a estrutura de Internet das Coisas (IoT, no inglês). Este trabalho desenvolveu um protótipo de aplicação para o monitoramento residencial de consumo de água utilizando o microprocessador ESP32, obtendo e analisando os dados de medição ao longo de cinco meses de observação, utilizando ferramentas de análise estatísticas para identificar perfis de consumo humano residencial e possíveis falhas na rede de

distribuição. Foram monitorados nove pontos de consumo de água, onde a pia de lavar louças apresentou o maior consumo, seguido sucessivamente pelo chuveiro do banheiro da suíte, vaso sanitário do banheiro da suíte, pia de lavar louças, vaso sanitário do banheiro social, chuveiro do banheiro social, máquina de lavar roupas, pia do banheiro da suíte, pia do banheiro social. Os dados foram comparados com a literatura para avaliar peculiaridades de nossa pesquisa e caminhos para evolução de nossa aplicação em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Internet das coisas; Redes wi-fi; Protocolo mqtt; Sensor de efeito hall; Sensor de vazão; Sistemas embarcados; Microcontroladores; Esp32.

Abstract

Urban and rural water distribution systems have complex interactions between quantitative and qualitative water monitoring aspects. Such models still lack greater accuracy in providing real-time measurements and the impacts of their distribution on pipe networks over time. A loss estimation and location is one aspect that can be assessed through data acquisition methods using sensor networks and the Internet of Things (IoT) framework. This work developed an application prototype for the residential monitoring of water consumption using the ESP32 microprocessor, obtaining and analyzing measurement data over five months of observation, using statistical analysis tools to identify residential human consumption profiles and possible failures in distribution network. Nine water consumption points were monitored, where the sink for washing dishes had the highest consumption, followed successively by the shower in the bathroom suite, toilet in the bathroom suite, sink washing dishes, restroom toilet, restroom shower, washing machine, bathroom sink, and bathroom sink of the social toilet. The data were compared with the literature to assess peculiarities of our research and a path for the evolution of our application in future works.

Keywords: Internet of things; Wi-fi networks; Mqtt protocol; Hall effect sensor; Flow sensor; Embedded systems; Microcontrollers; Esp32.

Resumen

Los sistemas de distribución de agua, tanto urbanos como rurales, tienen interacciones complejas entre los aspectos cuantitativos y cualitativos del monitoreo del agua. Dichos modelos aún carecen de mayor precisión para hacer que las mediciones estén disponibles en tiempo real y los impactos de su distribución en las redes de tuberías a lo largo del tiempo. La estimación de pérdidas y su ubicación es un posible aspecto a evaluar mediante métodos de adquisición de datos utilizando redes de sensores y la estructura de Internet de las cosas (IoT).

Este trabajo desarrolló un prototipo de aplicación para la monitorización residencial del consumo de agua mediante el microprocesador ESP32, obteniendo y analizando datos de medición durante cinco meses de observación, utilizando herramientas de análisis estadístico para identificar perfiles de consumo humano residencial y posibles fallas en la red de distribución. Se monitorearon nueve puntos de consumo de agua, donde el fregadero para lavar platos mostró el mayor consumo, seguido sucesivamente por la ducha en el baño en suite, inodoro en el baño en suite, lavaplatos, inodoro en el baño social, ducha en el baño social, Lavadora, lavabo baño, lavabo en el baño. Los datos fueron comparados con la literatura para evaluar peculiaridades de nuestra investigación y caminos para la evolución de nuestra aplicación en trabajos futuros.

Palabras clave: Internet de las cosas; Redes wi-fi; Protocolo mqtt; Sensor de efecto hall; Sensor de flujo; Sistemas embebidos; Microcontroladores; Esp32.

1. Introdução

A água é um recurso essencial à sobrevivência humana, já que nosso organismo é composto por aproximadamente setenta por cento por ela. A possibilidade de esgotamento da água potável é o resultado da combinação da variabilidade hidrológica e do elevado uso humano deste recurso que é finito. (Unesco, 2012).

O Brasil é um dos países que possuem grande abundância de água doce no mundo. Apesar de ser uma notícia animadora e positiva, os recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual no território brasileiro. Isto associado aos diversos usos da água pelos setores econômicos nas bacias hidrográficas e aos problemas de qualidade de água gera os chamados conflitos pelo uso da água (ANA, 2017)

O estado do Ceará, notadamente inserido no polígono das secas do semiárido nordestino, teve a evolução da sua Política de Recursos Hídricos influenciada diretamente pelos ciclos de seca, cujos impactos gerados desencadearam ações governamentais reativas, iniciadas pelo Governo Federal, indo desde a fase hidráulica, com a construção de grandes açudes, como o Açude Cedro (1890-1906), idealizado após a seca de 1877-1879, passando pela criação de instituições permanentes, como a Inspetoria de Obras Contra as Secas – IOCS (1909), hoje Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS (1945), e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (1959), criadas após a seca de 1958, chegando à década de 80, quando, em decorrência da demanda crescente, resultante do crescimento urbano, industrial e agrícola, a água disponível tornou-se escassa, impondo a

necessidade da elaboração de mecanismos de planejamento e gestão dos usos dos recursos hídricos (Governo do Estado do Ceará, 2018).

O avanço das tecnologias ao longo dos anos preparou a Internet das Coisas (IoT) para explorar oportunidades inexploradas de tecnologia da informação e comunicação. Prevê-se que a IoT lidará com a gigantesca rede de bilhões de dispositivos para fornecer muitos serviços inteligentes aos usuários (Popli et al., 2020).

A IoT surgiu como um novo conceito, onde todos os itens da vida das pessoas se tornam parte da Internet. Isso tem sido amplamente aplicada em vários cenários, como, por exemplo, em casas inteligentes e assistência médica móvel. Este reúne médicos e pacientes para monitoramento em tempo real e atua no gerenciamento da assistência médica, que envolve vários tipos de sensores vestíveis, como o sensor acelerômetro. Em particular, na área de saúde, as redes de sensores corporais são usadas para capturar e registrar os dados das funções do corpo humano (Lu et al., 2019).

1.1. Conceitos e Definições de IoT

O conceito de IoT possui suas origens antes mesmo da Internet, estando relacionado à tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification* - identificação por radiofrequência), que tem suas raízes nos sistemas de radares usados durante a segunda guerra mundial. (Faccioni Filho, 2016). O Quadro 1 nos apresenta algumas definições de IoT encontradas na literatura.

Quadro 1 - Definições de IoT.

Autor	Definição
(Harwood, 2019)	Consistem em objetos individuais para "coisas" de grandes escalas (como cidades), adicionando, identificadores exclusivos, sensores / atuadores e conectividade. Com essa combinação de itens e tecnologias, abre-se um mundo de interações potenciais que cobrem os mundos físico e digital.
(Oliveira, 2017)	Internet das Coisas não consiste somente em ligar "coisas" na internet, mas torná-las inteligentes, capazes de coletar e processar informações do ambiente ou das redes às quais estão conectadas.
(CERP-IoT, 2009)	Uma infraestrutura de rede dinâmica e global com capacidades de autoconfiguração baseadas em protocolos de comunicação padronizados e interoperáveis onde as 'coisas' físicas e virtuais tem identidades, atributos físicos, personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e são completamente integradas na rede de informação.

Fonte: (Harwood, 2019); (Oliveira, 2017); (CERP-IoT, 2009).

A Internet das coisas utiliza-se de objetos inteligentes que, por definição, são componentes munidos de um elemento sensor e outro atuador, responsáveis pela interação com o mundo físico, um pequeno microprocessador, que transforma os dados capturados dos sensores, um dispositivo de comunicação que envia e recebe informações de outros dispositivos, e uma fonte de alimentação, comumente uma bateria, que fornece a energia elétrica necessária para o objeto realizar o seu trabalho (Vasseur & Dunkels, 2010).

Este novo elemento de rede, devido principalmente a restrições de energia e custos, utilizará geralmente de microcontroladores de 8/16/32 bits, o tamanho da memória utilizada é de apenas alguns *kilobytes*, a maior parte do tempo ficam em *sleep mode*, ou seja os dispositivos dormem e só acordam quando há informações para serem transmitidas, as redes baixa potência com grande perda de pacotes no caso as *LLNs (Low Power and Lossy Network)* serão utilizadas e por fim a topologia de rede será a de malha (*mesh*), pois os dispositivos irão realizar roteamento, o que permite uma maior robustez e disponibilidade da rede (Vasseur & Dunkels, 2010).

As "coisas" ou objetos farão uso de interfaces na forma de serviços que possibilitem as interações com a Internet, consultar e modificar seus estados ou qualquer informação relacionados aos mesmos, considerando questões de segurança e privacidade. Prevê-se também que os objetos serão integrantes ativos do mundo dos negócios, dos processos

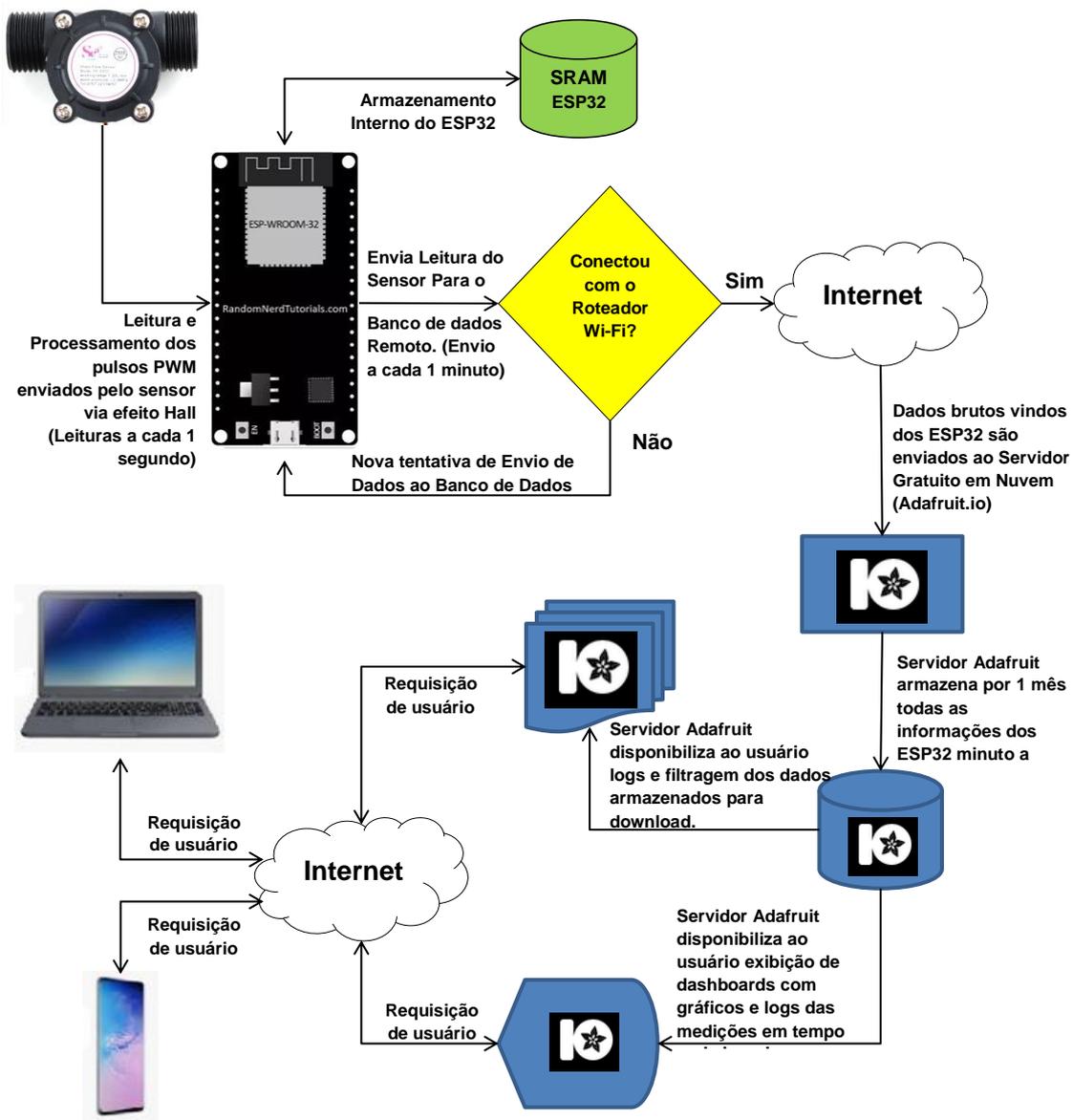
informacionais e sociais nos quais serão capazes de interagir e comunicar-se entre si e com o ambiente por meio da troca de dados e informações coletadas sobre o mesmo, à medida que reagem de modo autônomo aos eventos do mundo físico/real provocam processos que desencadeiam ações e geram serviços com ou sem intervenção humana direta. (CERP-IoT, 2009)

As aplicações IoT vão muito além da comunicação máquina a máquina (*M2M-Machine to Machine*), pois são conceitos com significados diferentes. Em *M2M*, a comunicação acontece entre dispositivos do mesmo tipo, geralmente fazendo uso de tecnologias proprietárias. São feitos para resolver um problema específico e atender a uma única aplicação também específica. Por isso são utilizados diversos sistemas para diversas aplicações, o que torna as soluções *M2M* silos verticalizados. (Höller et al., 2014)

2. Metodologia

O fluxograma contido na Figura 1 descreve o princípio de funcionamento da coleta de dados do protótipo proposto neste trabalho.

Figura 1 - Fluxograma do Processo de Coleta de Dados.



Fonte: Autores.

No Quadro 2 apresenta um melhor detalhamento do fluxograma da Figura 1.

Quadro 2 - Passo-a-Passo do Processo de Coleta dos Dados.

Sequência	Atividade	Período
1	ESP32 lê os pulsos enviados pelos sensores de fluxo de água	1 Segundo
2	ESP32 armazena internamente as informações lidas dos sensores	1 Segundo
3	ESP32 envia as leituras de todos os sensores para o servidor de dados em nuvem via rede Wi-Fi doméstica. Caso não consiga estabelecer conexão com a rede Wi-Fi doméstica, repete em loop essa tentativa de conexão.	1 Minuto
4	Servidor de Dados em Nuvem, Adafruit, armazena informações enviadas pelos ESP32. Em sua base de dados, na conta gratuita do usuário.	1 Mês
5	Usuário requisita exibição on-line dos dados no servidor web logando-se em sua conta no Adafruit.	Qualquer Momento
6	Usuário requisita o download das informações gravadas na base de Dados em sua conta no Adafruit.	1 Mês

Fonte: Autores.

A Figura 2 apresenta o arranjo montado para a calibragem dos sensores de fluxo de água. A calibração foi realizada em três dos nove sensores, considerando esta uma amostra representativa do conjunto dos sensores, uma vez que foram comprados no mesmo pedido de compra.

Figura 2 - Protótipo para Calibragem dos Sensores.

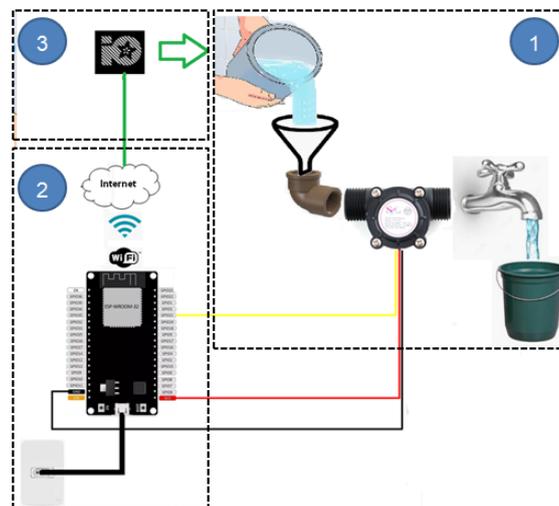


Fonte: Autores.

O método de execução da calibragem ocorreu da seguinte forma, conforme os passos a seguir:

1. Um balde foi cheio com 6 litros de água e despejado sobre a estrutura exibida na Figura 3, tendo como destino um segundo bande à frente;
2. À medida que a água passava pelo sensor, o mesmo gerou os pulsos PWM e os enviou ao microprocessador ESP32, que a cada minuto buscava conexão com a rede Wi-Fi e enviou os dados ao Servidor em nuvem (Adafruit.io);
3. Via Smartphone, foi possível ao usuário aferir o valor em mililitros que passou pelo sensor. Este processo foi repetido 10 vezes para aumentar a precisão do fator de calibração, que discutiremos a seguir.

Figura 3 - Metodologia utilizada na calibração dos sensores.



Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

3.1. Introdução

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais resultados obtidos a partir da calibração dos sensores, conectividade do protocolo MQTT, cobertura e qualidade da rede sem fio, geração e análise matemática dos dados de medição de consumo ao longo de nove meses de monitoramento contínuo dos usos de água residencial conforme descrito no capítulo anterior, bem como discutir os mesmos confrontando-os com outros trabalhos correlatos.

3.2. Calibração dos sensores

A Figura 4 nos mostra o trecho de código C++ carregado nos microprocessadores ESP32 onde podemos observar a inserção da variável `calibrationFactor`, utilizada para alcançar uma precisão em torno de 1% de margem de erro. Após 10 repetições esta variável estabilizou no valor de 7,85 para todos os sensores.

Figura 4 - Trecho de código com o fator de calibração.

```
/****** SENSOR DE VAZÃO *****/
#define SENSOR 22

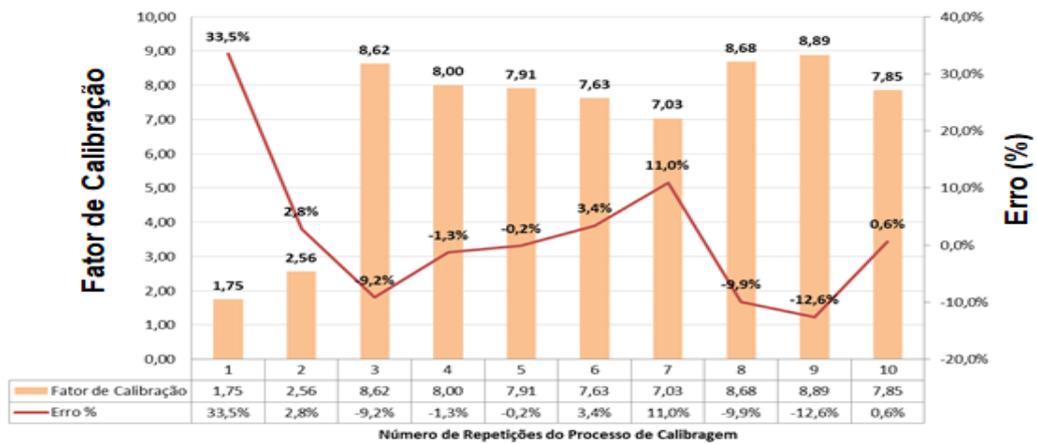
long currentMillis = 0;
long previousMillis = 0;
int interval = 1000;
boolean ledState = LOW;
float calibrationFactor = 7.85;
volatile byte pulseCount;
byte pulseSec = 0;
float flowRate;
unsigned int flowMilliLitres;
int totalMilliLitres;

// LOOP DO SENSOR DE VAZÃO-----
currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis > interval) {
  pulseSec = pulseCount;
  pulseCount = 0;
  flowRate = ((1000.0 / (millis() - previousMillis)) * pulseSec) / calibrationFactor;
  previousMillis = millis();
  flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
  totalMilliLitres += flowMilliLitres;
  Serial.println(totalMilliLitres);
}
```

Fonte: Autores.

A Figura 5 nos apresenta a evolução do fator de calibração e da curva de erro do sensor. Note que, ao atingir o valor de 7,85, obtivemos a menor margem de erro, portanto dentro da margem de calibração do hidrômetro padrão CAGECE apresentado acima.

Figura 5 - Evolução do Fator de Calibração e Margem de Erro versus número de Repetições.

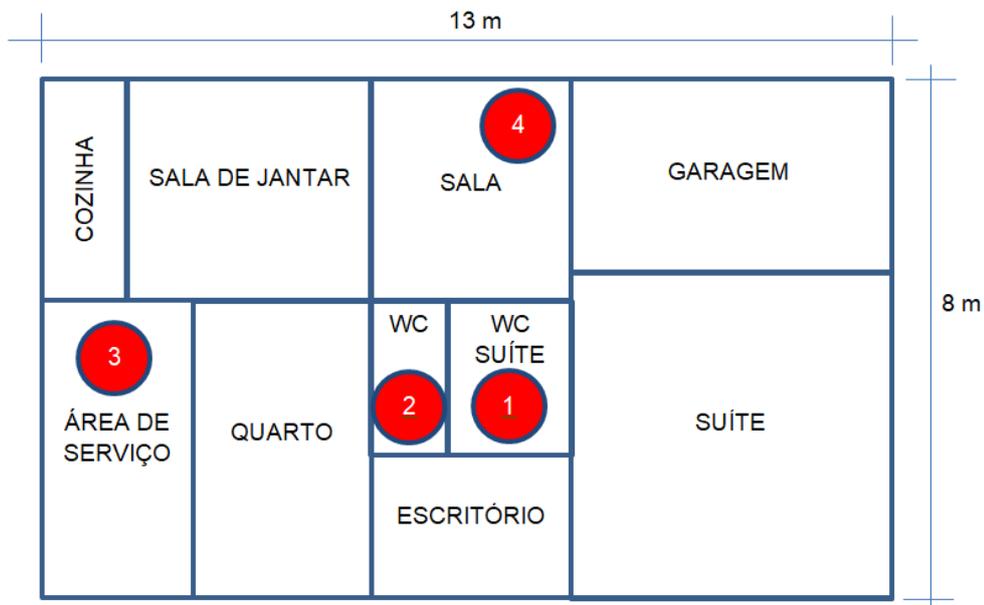


Fonte: Autores.

3.3. Instalação do protótipo

A Figura 6 e o Quadro 3 nos mostram a localização de instalação dos microprocessadores e sensores.

Figura 6 - Planta Simplificada da Residência (Escala 1:100).



Fonte: Autores.

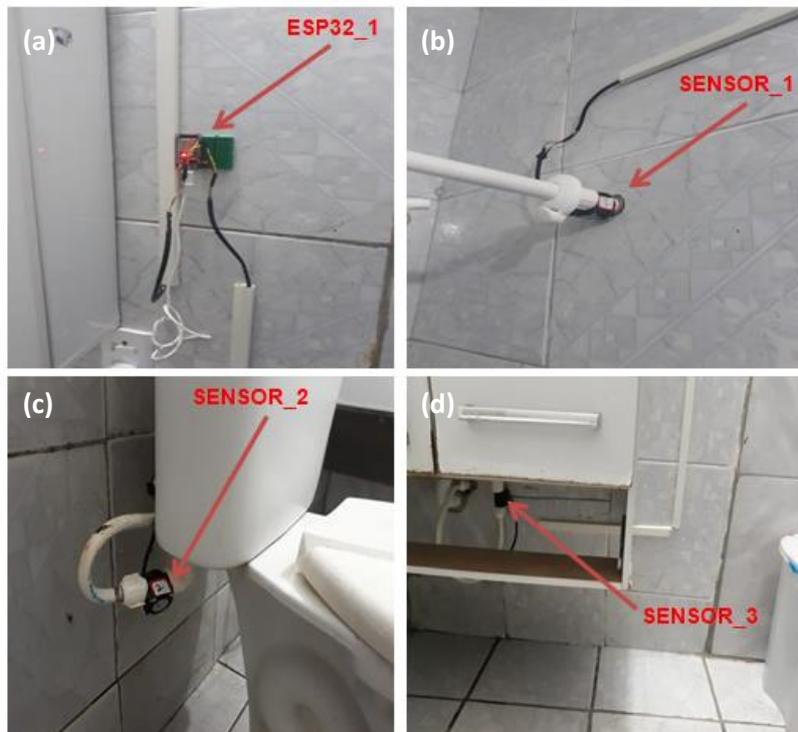
Quadro 3 - Identificação dos Pontos de Instalação.

Pontos de Instalação	Cluster	Sensores	Pontos
1	Cluster 1 – Banheiro Suíte (ESP32_1)	1	Chuveiro
		2	Vaso Sanitário
		3	Pia
2	Cluster 2 – Banheiro Social (ESP32_2)	4	Chuveiro
		5	Vaso Sanitário
		6	Pia
3	Cluster 3 – Área de Serviço (ESP32_3)	7	Pia de Lavar Louças
		8	Pia de Lavar Roupas
		9	Máquina de Lavar Roupas
4	Roteador Wi-Fi	-	-

Fonte: Autores.

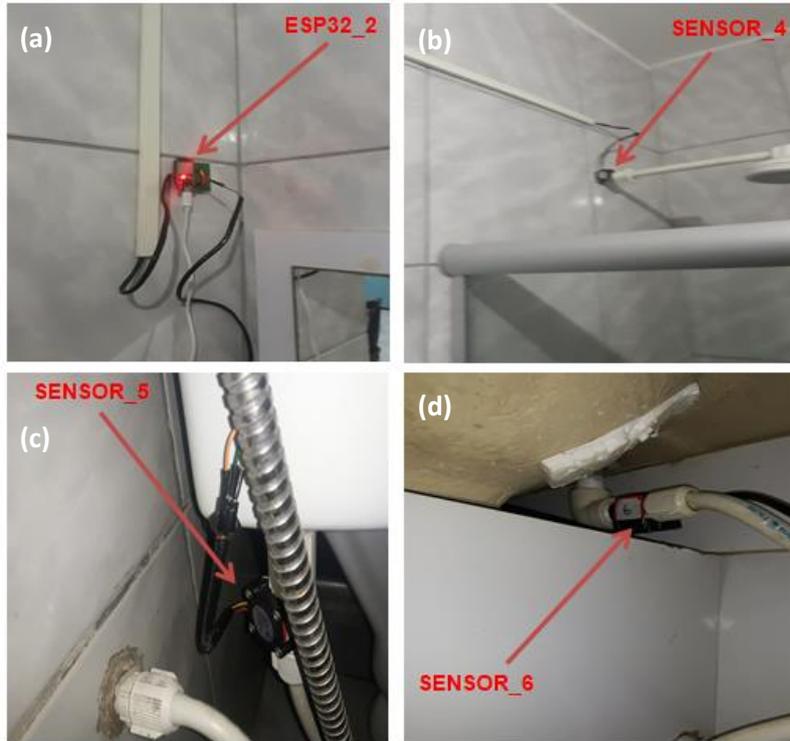
Nas Figuras 7, 8 e 9 podemos identificar as fotos reais de instalação de cada cluster, com seus respectivos microprocessadores e sensores.

Figuras 7(a), 7(b), 7(c) e 7(d) - Cluster_1 - Banheiro Suíte.



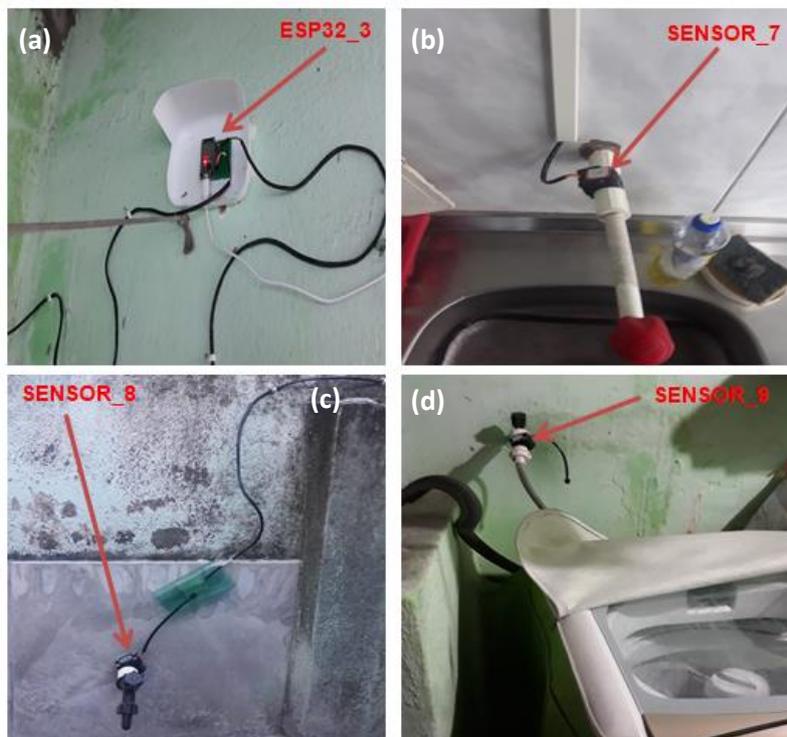
Fonte: Autores.

Figuras 8(a), 8(b), 8(c) e 8(d) - Cluster_2 - Banheiro Social.



Fonte: Autores.

Figura 9(a), 9(b), 9(c) e 9(d) - Cluster_3 - Área de Serviço.



Fonte: Autores.

3.4. Análise de conectividade - protocolo MQTT

Desde o início do processo de calibração dos sensores, foi necessário validar a conectividade com o servidor Adafruit.io, do contrário não seria possível esta atividade. A Figura 10 apresenta um exemplo do trecho de código carregado nos ESP32 do cluster 1, que estabelece as entidades MQTT Client (ESP 32) e MQTT Server (adafruit.io). A porta default TCP para o serviço MQTT é a 1883.

A Figura 11 apresenta o monitoramento de mensagens entre o ESP32 e a rede Wi-Fi, capturada a partir da porta serial na IDE do Arduino. Note que, após a definição do IP do ESP32 na rede Wi-Fi local (192.168.25.2), há uma sequencia de zeros, que já representam a medição dos dados dos sensores sendo enviados a cada minuto.

Figura 10 - Trecho de código referente a criação da conectividade MQTT.

```
/****** Adafruit.io Setup *****/

#define AIO_SERVER      "io.adafruit.com"
#define AIO_SERVERPORT 1883
#define AIO_USERNAME    "kenomori"
#define AIO_KEY         "02alb020ab6a4a9291fe59b25036e1b3"

/****** Global State (you don't need to change this!) *****/

// Create an ESP32 WiFiClient class to connect to the MQTT server.
WiFiClient client;
// or... use WiFiClientSecure for SSL
//WiFiClientSecure client;

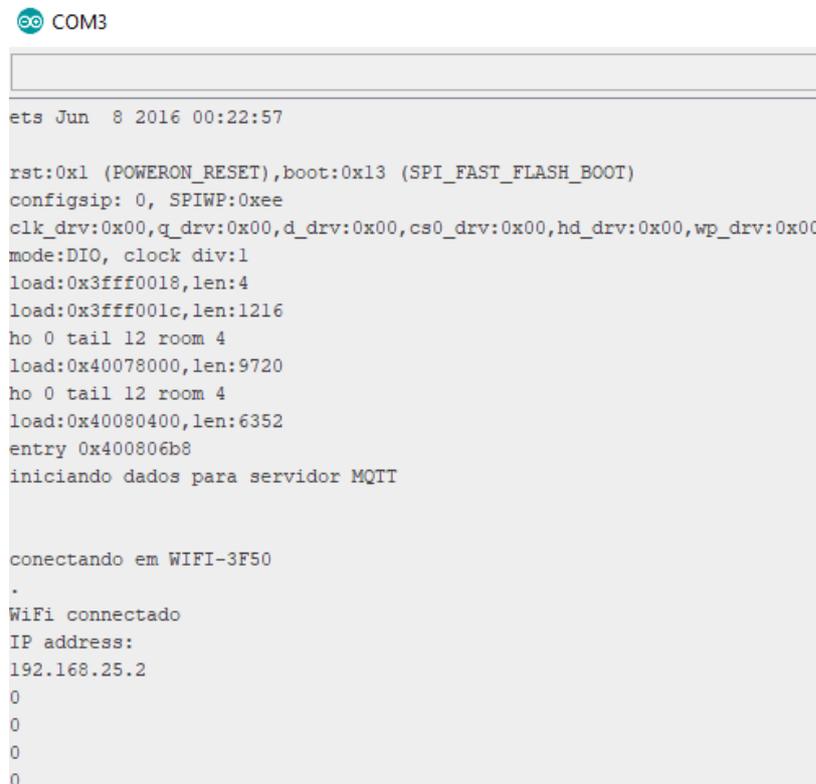
// Setup the MQTT client class by passing in the WiFi client and MQTT server and login details.
Adafruit_MQTT_Client mqtt(&client, AIO_SERVER, AIO_SERVERPORT, AIO_USERNAME, AIO_KEY);

/****** Feeds *****/

// Setup a feed called 'photocell' for publishing.
// Notice MQTT paths for AIO follow the form: <username>/feeds/<feedname>
//SAIDA DE DADOS-----
Adafruit_MQTT_Publish vazao = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/vazao");
Adafruit_MQTT_Publish vazao02 = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/vazao02");
Adafruit_MQTT_Publish vazao03 = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/vazao03");
```

Fonte: Autores.

Figura 11 - Mensagens capturadas da comunicação entre o ESP32 e o Servidor MQTT (adafruit.io).



```
COM3
ets Jun  8 2016 00:22:57

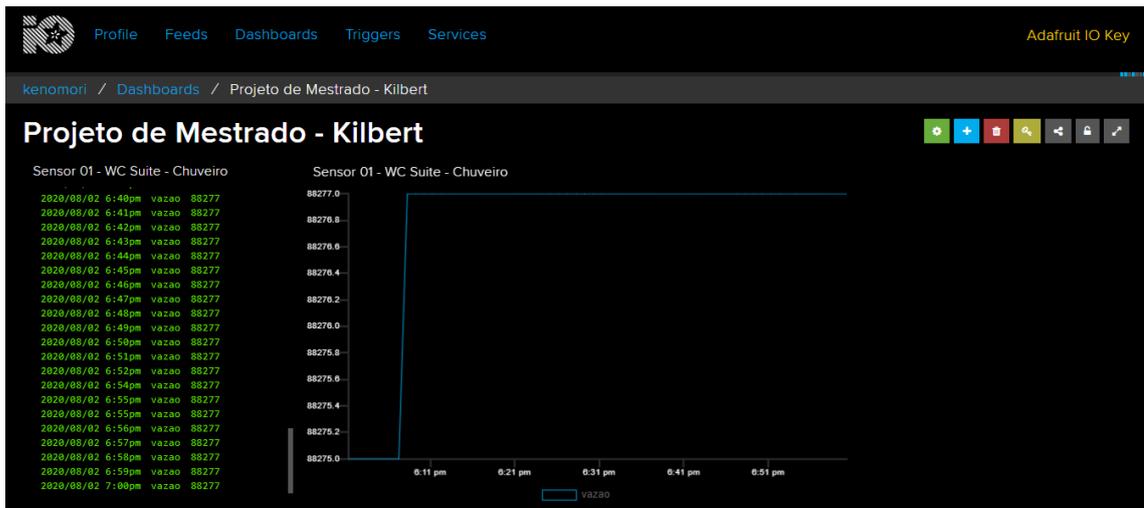
rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:1216
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40078000,len:9720
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40080400,len:6352
entry 0x400806b8
iniciando dados para servidor MQTT

conectando em WIFI-3F50
.
WiFi connectado
IP address:
192.168.25.2
0
0
0
0
```

Fonte: Autores.

A Figura 12 contém um gráfico com a medição do sensor um, utilizado para os testes de calibração, exibido na página web do servidor Adafruit.io, evidenciando a conectividade entre os microprocessadores e o mesmo. Já na Figura 13 vemos uma lista com os nove sensores na pasta *'feeds'* do servidor.

Figura 12 - Conectividade com o Servidor em nuvem Adafruit.io.



Fonte: Autores.

Figura 13 - Nove Sensores na pasta Feed do servidor adafruit.

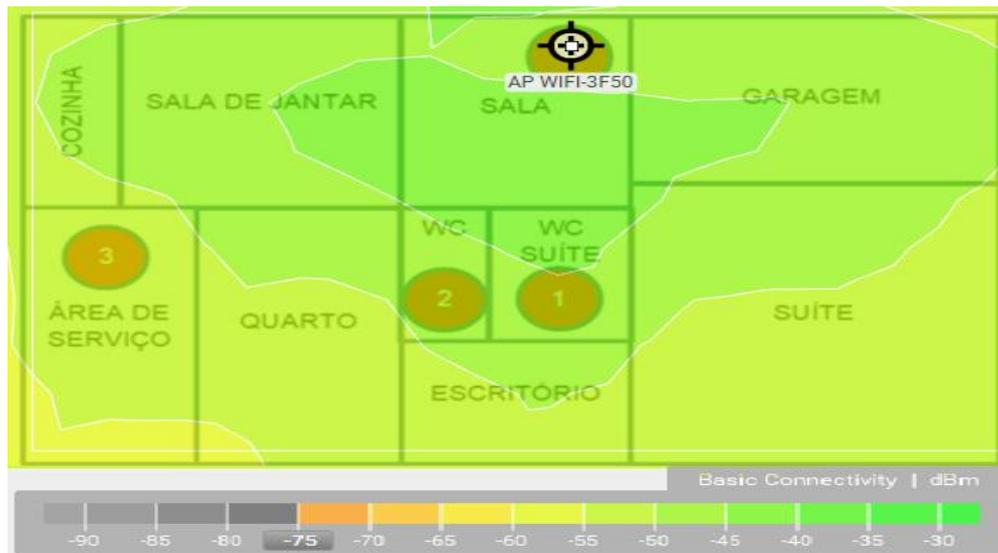
Group / Feed	Key	Last value	Recorded
Default	default		
<input type="checkbox"/> vazao	vazao	48401	2 minutes ago
<input type="checkbox"/> vazao02	vazao02	37251	2 minutes ago
<input type="checkbox"/> vazao03	vazao03	3606	2 minutes ago
<input type="checkbox"/> vazao04	vazao04	13514	1 minute ago
<input type="checkbox"/> vazao05	vazao05	13469	1 minute ago
<input type="checkbox"/> vazao06	vazao06	4990	1 minute ago
<input type="checkbox"/> vazao07	vazao07	98039	1 minute ago
<input type="checkbox"/> vazao08	vazao08	30868	1 minute ago
<input type="checkbox"/> vazao09	vazao09	0	1 minute ago

Fonte: Autores.

3.5. Análise de cobertura e qualidade da rede sem fio

Utilizando a ferramenta Ekahau, foi plotado o mapa de calor da intensidade do sinal em dBm da cobertura Wi-Fi da residência, conforme pode ser visto na Figura 14. Os pontos 1, 2 e 3 na figura correspondem aos três clusters de medição anteriormente apresentados na seção 3.3.

Figura 14 - Mapa de Calor (em dBm) - Cobertura Wi-Fi da Residência.



Fonte: Autores.

A partir das medições realizadas na ferramenta NetSpot, na Figura 15 foi apresentado um *print* com a lista de todas as redes Wi-Fi alcançáveis na residência, de onde foi verificado que a rede com *SSID* 'WIFI-3F50', rede onde estão conectados os 3 microprocessadores, é a rede predominante, atuando na banda de 2,4GHz, utilizando o canal 11, com capacidade de 20 MHz de largura de banda. Todas as redes detectadas utilizam criptografia de segurança *WPA2 Personal* e o modo de rede padrão 802.11n.

Figura 15 - Lista de redes Wi-Fi detectadas pela ferramenta NetSpot na residência monitorada.

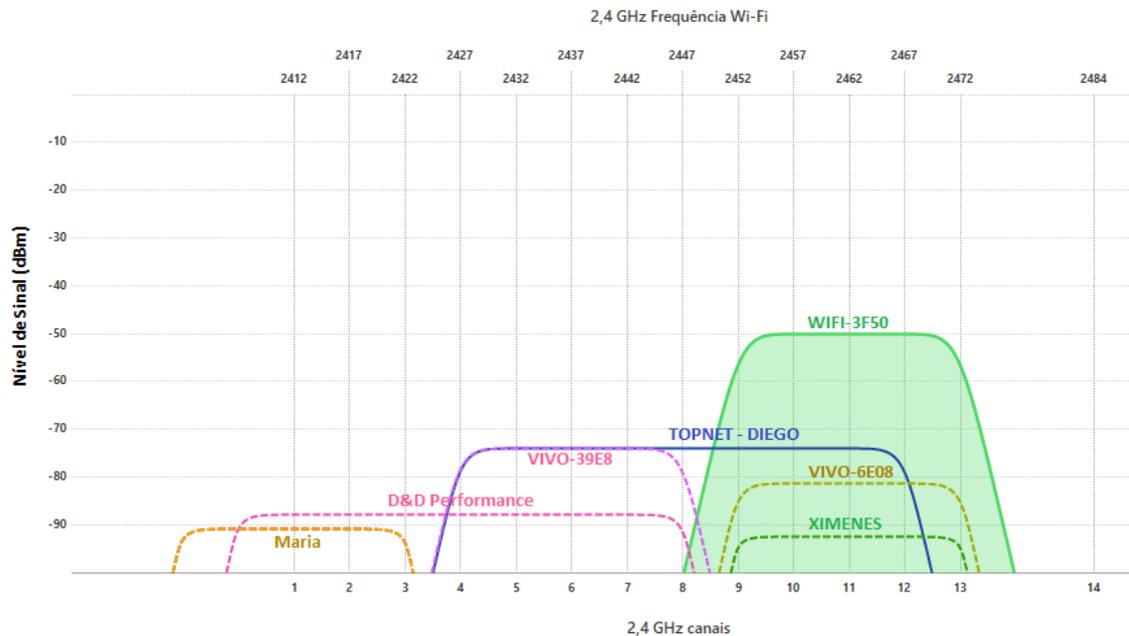
NetSpot - Descobrir												
DESCOBRIR		LEVANTAMENTO										
	SSID	BSSID	Gráfico	Sinal	%	Média	Nível	Banda	Canal	Largura	Segurança	Modo
✓	WIFI-3F50	98:97:D1:29:3F:50		-46	58	-51		2,4	11	20	WPA2 Personal	n
✓	VIVO-39E8	C0:3D:D9:08:39:E8		-76	23	-74		2,4	6	20	WPA2 Personal	n
✓	TOPNET - DIEGO	58:D9:D5:5D:DA:E8		-74	26	-76		2,4	10 - 1	40	WPA2 Personal	n
✓	VIVO-6E08	C0:3D:D9:61:6E:08		-83	15	-82		2,4	11	20	WPA2 Personal	n
✓	D&D Performance	F0:7D:68:E5:3D:98		-	-	-88		2,4	6 - 1	40	WPA2 Personal	n
✓	PAULA	1C:5F:2B:D7:23:FA		-	-	-89		2,4	1	20	WPA2 Personal	n
✓	GVT-6D5F	4C:17:EB:D6:6D:63		-	-	-91		2,4	1	20	Open	n
✓	Maria	6A:02:71:AA:3A:79		-	-	-92		2,4	1	20	WPA2 Personal	n
✓	XIMENES (ACENET 98...	24:FD:0D:58:2D:A8		-	-	-93		2,4	11	20	WPA2 Personal	n

Fonte: Autores.

Sobre o nível de interferência dos canais em 2,4 GHz, a Figura 16 nos oferece uma análise mais detalhada. Foi visto que das redes com os SSIDs 'TOPNET – DIEGO', 'VIVO-

6E08' e 'XIMENES' oferecem algum nível de interferência no canal 11, utilizado no projeto, porém somente a partir de -75 dBm.

Figura 16 - Análise de Interferência dos Canais Wi-Fi em 2,4 GHz.



Fonte: Autores.

Considerando a sensibilidade do sistema de radiofrequência de um ESP32 em -97 dBm (Espressif, 2019), o Quadro 4 nos apresenta as medições de cobertura Wi-Fi onde estão instalados na residência monitorada os três ESP32 coordenadores dos clusters de sensores. Foram realizadas duas medições em cada cluster, uma com a porta do ambiente aberta e outra com a porta fechada, a fim de avaliar a perda de sinal em cada situação. Pelas medições realizadas, foi visto em todas as situações que o nível de sinal em dBm foi maior que o nível de interferência das redes adjacentes (Figura 47). As medidas reais também corresponderam aos níveis apresentados no mapa de calor na Figura 15.

Quadro 4 - Medições de Sinal Wi-Fi - Clusters de Sensores.

Cluster	Frequência (Mhz)	Canal	Sinal Medido (dBm) Porta Aberta	Sinal Medido (dBm) Porta Fechada
Banheiro Suíte	2462	11	-42	-43
Banheiro Social			-43	-48
Área de Serviço			-65	-70

Fonte: Autores.

3.6. Construção da base de dados

A construção da base de dados off-line para o projeto adota uma rotina mensal de downloads da base de dados do Adafruit.io, cujo período máximo de armazenamento de informações online é de 30 dias.

O Quadro 5 apresenta em linhas gerais as características da base de dados gerada a partir da coleta dos 9 sensores.

Quadro 5 - Informações sobre Base de Dados Gerada pelo Projeto.

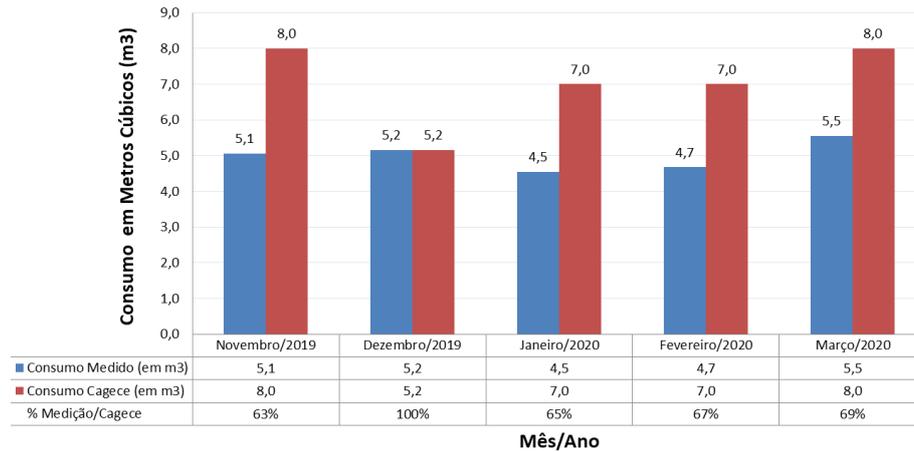
Tipo de informação	Detalhamento
Período de coleta de dados	01/11/2019 a 31/07/2020 (9 meses)
Volume de minutos coletados	2.025.723 minutos
Volume de dados coletados	134,46 Mbytes
Quantidade de arquivos gerados	81
Formato dos arquivos gerados	.CSV (separados por vírgula)
Fonte de Coleta	Servidor Adafruit.io

Fonte: Autores.

3.6.1. Consolidado geral

A residência monitorada neste trabalho possui um total de treze pontos consumidores de água, dos quais nove foram monitorados (69 % do total). A Figura 17 nos apresenta um gráfico consolidado do consumo de água residencial em metros cúbicos (m³) monitorado por todos os sensores ao longo dos 5 meses, confrontando com a medição oficial da CAGECE (Companhia de água e esgoto do Ceará). Em relação aos cômodos monitorados, o gráfico da Figura 18 nos apresenta um comparativo mensal do consumo de água entre cada um deles.

Figura 17 - Consolidado geral do consumo (em m³).



Fonte: Autores.

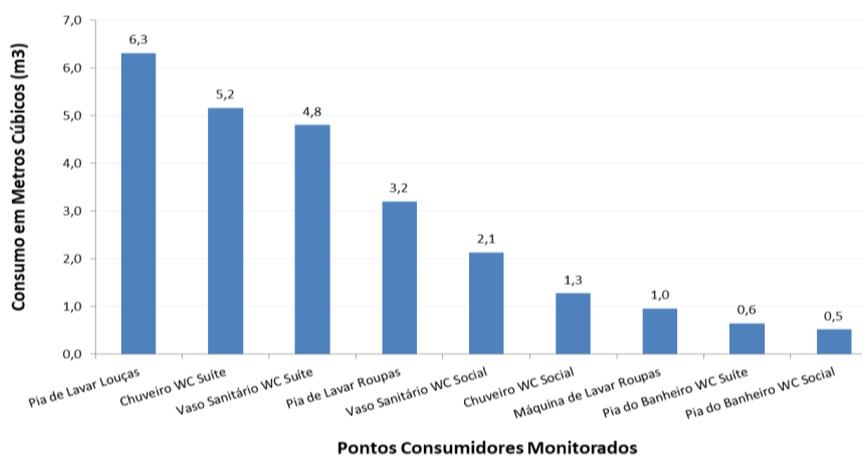
Figura 18 - Detalhamento do consumo geral por cômodo (em m³).



Fonte: Autores.

Através da Figura 19, podemos identificar, no ranking consolidado dos pontos monitorados, quais os maiores consumidores ao longo dos cinco meses de coleta de dados. O Quadro 6 apresenta um resumo das características mais relevantes de perfil de consumo medidas pelos nove sensores.

Figura 19 - Ranking dos pontos consumidores (em m³).



Fonte: Autores.

Quadro 6 - Resumo com as principais características das medições de cada sensor.

Sensor	Resumo
Sensor 1 – Chuveiro – Banheiro Suíte	Horários de uso sequeem uma lógica de sazonalidade adequada aos moradores da residência. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia.
Sensor 2 – Vaso Sanitário – Banheiro Suíte	Horários de uso sequeem uma lógica de sazonalidade adequada aos moradores da residência.
Sensor 3 – Pia – Banheiro Suíte	Foram detectados diversos perfis de uso, como escovação de dente, lavar as mãos e barbear. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia.
Sensor 4 – Chuveiro – Banheiro Social	Horários de uso sequeem uma lógica de sazonalidade adequada aos moradores da residência. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia. Detectado vazamento no mês de março/2020.
Sensor 5 – Vaso Sanitário – Banheiro Social	Deteccção de importante vazamento, detectado em março/2020, graças as medições do projeto.
Sensor 6 – Pia – Banheiro Social	Foram detectados diversos perfis de uso, como escovação de dente, lavar as mãos e barbear. Destaque para o aumento de uso em março/2020 em função da pandemia.
Sensor 7 – Pia (Lavar Pratos) – Área de Serviço	Foi detectada importante redução de consumo em março/2020, com o início do período da pandemia.
Sensor 8 – Pia (Lavar Roupas) – Área de Serviço	Medições influenciadas pela sazonalidade das chuvas e pelo início do período da pandemia.

Sensor 9 – Máquina de Lavar – Área de Serviço	Medições influenciadas pela sazonalidade das chuvas e pelo início do período da pandemia.
---	---

Fonte: Autores.

3.7. Comparativo com estudos precursores

No Quadro 7 apresenta um paralelo entre este trabalho e estudos precursores publicados com o intuito de monitoramento do consumo residencial.

Quadro 7 - Comparativo - Estudos Predecessores.

Fonte	Abrangência	Principais Resultados
Autor	Nove sensores coletando dados reais em nove pontos de uma residência entre novembro/2019 e julho/2020, conectado em nuvem e com <i>reports</i> via web de consumo de água. Fonte de energia - rede elétrica residencial.	Geração de Base de dados com mapeamento e medição de nove usos distintos de consumo de água dentro da residência, bem como a identificação dos perfis de consumo e sazonalidade do mesmo dentro do período de observação. Análise do desempenho da rede sem fio construída.
Ray & Goswami (2020)	Dois sensores instalados em ambiente controlado, conectados em nuvem, com <i>reports</i> de consumo via aplicativo em smartphone e modelo de <i>machine learning</i> . Projeto idealizado originalmente para otimização de recursos hídricos na Índia. Fonte de energia - solar.	Geração de base dados de consumo e alimentação o modelo de <i>machine learning</i> a fim de identificar padrões de uso e disparar ações de mitigação de consumo excessivo. Identificação de riscos e problemas operacionais futuros com o sistema em operação comercial.
Alves et al. (2019)	Um sensor em ambiente controlado, ligado via protocolo <i>ZigBee</i> ao nó coordenador há 8,5 metros de distância. Fonte de energia - baterias	Testes de conectividade entre o sensor e o nó coordenador realizados com sucesso, com detalhamento dos aspectos de rádio frequência e tráfego de pacotes de dados na rede sem fio construída. Testes de funcionalidade do aplicativo bem sucedidos, com report do consumo de água monitorado pelo sensor. Não foi informado se houve geração de base dados .
Luciani et al. (2018)	292 usuários conectados na alimentação geral de água dos imóveis via módulo de	Geração de Base de Dados de Consumo geral das residências, , para efeito de geração de cobrança e estudos futuros

	rádio ISM, coletando dados de uso geral de água entre junho/2016 e setembro/2017. Fonte de energia - não informado	envolvendo sazonalidades e vazamentos.
--	--	--

Fontes - Autor; (Ray & Goswami, 2020); (Alves et al., 2019); (Luciani et al., 2018).

4. Considerações Finais

Em comparação com trabalhos anteriores, este trabalho estabeleceu e aplicou uma metodologia pioneira de monitoramento do consumo interno de água, com a utilização de microprocessadores ESP32 combinado com a servidor em nuvem do Adafruit.io, construindo uma considerável base de dados que revela bastante do comportamento de típicos moradores de um bairro da periferia da cidade de Fortaleza, Ceará, apesar dos desafios encontrados em relação a instabilidade da conexão Wi-Fi da residência e de algumas quedas de energia ao longo do período de medição.

Em termos de dados existentes sobre o perfil do consumo e usos finais da água, verificou-se que ainda não há muitos dados locais disponíveis sobre o assunto. A pesquisa realizada representa, até o presente momento, um avanço no conhecimento sobre o tema e que os resultados obtidos se constituem como valores de referência para estudos futuros sobre o comportamento dos usuários desta região.

Os resultados apresentados, mesmo que ainda não tenham sido monitoradas outras residências do bairro, demonstram que o trabalho realizado contribuiu para ampliar o conhecimento sobre as necessidades metodológicas e aplicadas no levantamento do perfil do consumo e usos finais da água, permitindo à academia e aos órgãos governamentais a atualização dos valores do perfil de consumo e usos finais da água em residências com este mesmo perfil socioeconômico.

Tanto a base de dados gerada quanto o sistema de monitoramento e armazenamento de dados podem ser explorados para novos estudos, bem como melhoramentos tecnológicos que aumentem sua acurácia, a saber:

- a) Adição de dispositivo de reconhecimento individual para precisar especificamente qual usuário faz uso da água em cada instante;
- b) Incremento do módulo de alimentação individual por baterias de lítio ou solares;
- c) Incremento de válvulas solenoides para implementação sistema de controle por

metas de consumo por ponto consumidor preditivamente estimadas por machine learning.

Referências

Alves, A. J. R., Manera, L. T., & Campos, M. V. (2019). Low-cost wireless sensor network applied to real-time monitoring and control of water consumption in residences. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136>

ANA. (2017). *Conjuntura Dos Recursos Do Brasil*. http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel.pdf

CERP-IoT. (2009). Internet of Things Authentication: A Blockchain solution using SRAM Physical Unclonable Functions. *Guardtime*, 1–50. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23585-1_2

Espressif. (2019). *ESP32 Series - Datasheet*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

Faccioni Filho, M. (2016). Internet das coisas: livro digital. In *GV-executivo* (1a ed.). UnisulVirtual. <https://doi.org/10.12660/gvexec.v5n1.2006.34372>

Governo do Estado do Ceará. (2018). *Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará*. Recuperado de https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/PLANO-DE-ACOES-ESTRATEGICAS-DE-RECURSOS-HIDRICOS-CE_2018.pdf

Harwood, T. (2019). *IoT Overview Handbook*. General Overview. Recuperado de <https://www.postscapes.com/iot/>

Höller, J., Tsiatsis, V., Mulligan, C., Karnouskos, S., Avesand, S., & Boyle, D. (2014). M2M to IoT – An Architectural Overview. In A. Press (Ed.), *From Machine-To-Machine to the Internet of Things* (1st ed., pp. 61–77). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407684-6.00004-8>

Lu, W., Fan, F., Chu, J., Jing, P., & Yuting, S. (2019). Wearable computing for internet of things: A discriminant approach for human activity recognition. *IEEE Internet of Things*

Journal, 6(2), 2749–2759. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2873594>

Luciani, C., Casellato, F., Alvisi, S., & Franchini, M. (2018). From Water Consumption Smart Metering to Leakage Characterization at District and User Level: The GST4Water Project. *Proceedings*, 2(11), 675. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110675>

Oliveira, S. de. (2017). *Internet das Coisas com Esp8266, Arduino e Raspberry Pi* (1ª). Novatec.

Popli, S., Jha, R. K., & Jain, S. (2020). A Survey on Energy Efficient Narrowband Internet of Things (NB-IoT): Architecture , Application and Challenges. *IEEE Access*, 7, 16739–16776. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2881533>

Ray, A., & Goswami, S. (2020). IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System. *2020 International Conference on Power Electronics and IoT Applications in Renewable Energy and Its Control, PARC 2020*, 308–313. <https://doi.org/10.1109/PARC49193.2020.236616>

Unesco. (2012). *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4)*. Recuperado de <http://www.unesco.org/water/wwap>

Vasseur, J.-P., & Dunkels, A. (2010). Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet. In *Morgan Kaufmann*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375165-2.00022-3>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Kilbert Amorim Maciel – 50%

David Martins Leite – 30%

José Wally Mendonça Menezes – 20%