DOI: 10.5748/18CONTECSI/TIN/ESD/6880

WATER CONSUMPTION MONITORING SYSTEM USING TELEMETRY

Gilberto Topanotti Júnior - UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE (UNESC) – CRICIÚMA – SC - Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9482-3515

Sérgio Coral - UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE (UNESC) – CRICIÚMA – SC - Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8657-0973

This work presents a project to implement a prototype for monitoring and measuring the consumption of residential water resources. This research aims to apply the concept of Internet of Things using recent technologies to carry out the communication and sending of data registered by the prototype. The processing of the collected data is performed by a web server that is consumed by a web and mobile software by suppliers and consumers to monitor consumption and usage in detail with records and graphs. The feasibility of the water measurement and reading project was confirmed by the correct operation of reading, sending and processing of prototype information.

Keywords: monitoring system, Water consumption, telemetry, residential water resources, Prototype

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ÁGUA UTILIZANDO TELEMETRIA

Este trabalho apresenta um projeto de implementação de um protótipo para o monitoramento e medição do consumo de recursos hídricos residenciais. Esta pesquisa tem como objetivo aplicar o conceito de Internet das Coisas utilizando tecnologias de telemetria para realizar a comunicação e envio dos dados registrados pelo protótipo. O processamento dos dados coletados é realizado por um servidor web que são consumidos por um software web e mobile por fornecedores e consumidores para realizar o acompanhamento do consumo e da utilização de forma detalhada com registros e gráficos. A viabilidade do projeto de medição e leitura de água foi confirmada pelo correto funcionamento de leitura, envio e processamento das informações do protótipo

Palavras-chave: Sistema de monitoramento, consumo de água, telemetria, recursos hídricos residenciais, Protótipo

Sistema de monitoramento de consumo de água utilizando telemetria

Gilberto Topanotti Júnior[1], Sérgio Coral[1]

1Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) Av. Universitária, 1105 - CEP: 88806-000 – Criciúma – SC – Brasil

juniortopanotti@gmail.com, sergiocoral@unesc.net

Abstract. *This work presents a project to implement a prototype for monitoring and measuring the consumption of residential water resources. This research aims to apply the concept of Internet of Things using recent technologies to carry out the communication and sending of data registered by the prototype. The processing of the collected data is performed by a web server that is consumed by a web and mobile software by suppliers and consumers to monitor consumption and usage in detail with records and graphs. The feasibility of the water measurement and reading project was confirmed by the correct operation of reading, sending and processing of prototype information.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um projeto de implementação de um protótipo para o monitoramento e medição do consumo de recursos hídricos residenciais. Esta pesquisa tem como objetivo aplicar o conceito de Internet das Coisas utilizando tecnologias de telemetria para realizar a comunicação e envio dos dados registrados pelo protótipo. O processamento dos dados coletados é realizado por um servidor web que são consumidos por um software web e mobile por fornecedores e consumidores para realizar o acompanhamento do consumo e da utilização de forma detalhada com registros e gráficos. A viabilidade do projeto de medição e leitura de água foi confirmada pelo correto funcionamento de leitura, envio e processamento das informações do protótipo.*

1. Introdução

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 77,76% de domicílios existentes no Brasil possuem acesso à alguma rede de abastecimento de água [IBGE 2017]. Desses domicílios, todos, obrigatoriamente, utilizam do hidrômetro como meio de monitoramento e fiscalização do consumo de água. O hidrômetro é um dispositivo mecânico que tem como funcionalidade principal realizar o aferimento da utilização da água através do volume de água que passa por uma determinada tubulação, atualizando em tempo real o valor aferido em um contador chamado de relógio.

O processo de monitoramento do consumo de cada residência é totalmente manual. As companhias de abastecimento de água contratam funcionários com cargos de leituristas a qual a função principal é visitar residências para a leitura dos hidrômetros. O meio de leitura realizado em tempos atuais é muito arcaico e suscetível a falhas tanto para o consumidor quanto para a companhia de abastecimento tais como impossibilidade de acesso ao hidrômetro em tempo hábil, leitura de forma incorreta gerando uma cobrança indevida e dificuldade para o consumidor em saber seu consumo diário. Conforme Carvalho [2010] é comum que leituristas não consigam acesso ao hidrômetro por conta

da ausência do responsável pelo domicílio fazendo com que seja necessário o retorno do leiturista ao local ou a cobrança por meio de estimativas.

Dados extraídos do portal de notícias da prefeitura de Porto Alegre apontam que no ano de 2019 foi contratado cerca de 60 funcionários para exercer a função de Leituristas [DMAE 2019], onde a média salarial da profissão atinge o valor de R$1.069,45 nos quais somados gera um custo de aproximadamente R$64.167,00, a qual esse valor poderia ser economizado e reinvestido em outras áreas se houvesse a existência de um sistema automatizado.

A tecnologia também pode ser utilizada como solução para outros problemas em residências, estabelecimentos e qualquer outro local que faz a utilização do sistema de abastecimento de água [Nascimento e Heller 2005].

A estimativa de perda físicas nos sistemas de abastecimento brasileiro é de 18% do volume captado [Costa 2003]. Em uma pesquisa realizada com 79 edifícios residenciais, foi constatado perdas de água em 56 edifícios e 238 apartamentos por meio de vazamentos nas instalações hidráulicas. Essas perdas físicas juntamente com a utilização irracional da água representam um valor significativo que é desperdiçado [Dantas e Moraes 2015]. Perdas físicas significam toda água que é subtraída do sistema e que não é consumida pelo cliente final [SENAI 2008].

O desenvolvimento tecnológico na área de micro e a macromedição são necessários. A utilização dessa área no controle de perdas está relacionada ao desenvolvimento e aprimoramento de instrumentos medidores e esforços em modernização tecnológica, como exemplo a utilização da telemetria para a macromedição. Essa modernização trás efeitos diretos as perdas de faturamento fazendo que o usuário tenha uma redução no consumo de água apenas utilizando informações provenientes da macromedição tendo impacto na racionalização da utilização da água [Nascimento e Heller 2005].

A Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), é a expressão utilizada para todo e qualquer dispositivo que tem a capacidade de computação e a possibilidade de comunicação e interação com outros dispositivos através da internet ou de meios sem fio. Essa capacidade de comunicação entre dispositivos e com a rede de internet possibilita o controle de outros dispositivos conectados na rede, extração de dados de sensores atrelados a esses dispositivos e que sejam utilizados como provedores de algum serviço [Santos 2016].

A internet das coisas é um paradigma que envolve um futuro recente onde qualquer objeto utilizado no dia a dia será equipado com microcontroladores, protocolos de comunicação e comunicação sem fio que serão utilizados para conectar uns com os outros tornando-se parte da internet [Zanella, Bui, Castellani, Vangelista e Zorzi 2014].

Padrões de comunicação são necessários para que haja a comunicação e o tráfego de dados entre dois dispositivos. A fim de realizar a padronização da comunicação entre diferentes tipos de dispositivos foram criados diversos protocolos com a intenção de facilitar o envio, recebimento e interpretação de informações. Isso é possível pois os protocolos implementam um conjunto de regras, convenções e padrões [Koneski 2018].

O monitoramento do consumo hídrico pelas empresas de distribuição é realizado de forma totalmente manual. Utiliza-se recursos humanos para ir até cada ponto de

consumo de água a fim de que seja extraído os dados de micromedições registrados pelos equipamentos [Vieira 2012].

Esse formato de monitoramento por sua vez possuí alguns problemas, ausência do consumidor, as vezes impossibilitando o acesso ao equipamento de monitoramento, falhas na hora da leitura e tempo hábil para monitorar todos os pontos de consumo em grandes cidades [Carvalho 2010].

Todas as residências possuem um instrumento que é utilizado para a realização da medição do volume de água utilizado. O hidrômetro, como é chamado esse dispositivo, é utilizado para a medição e indicação continuada de todo o volume de água que o atravessa. Para que seja calculado um valor a ser pago pelo consumidor ao final do mês, é necessário que seja feia a leitura desse dispositivo [Silva 2015].

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo de micromedição para reduzir os custos das empresas de distribuição de água com mão de obra para leitura e cobrança, falhas nas leituras e em alguns casos impossibilidade de leitura. Também auxiliará o usuário permitindo que monitore o consumo da água diariamente por meios tecnológicos podendo identificar possíveis anomalias de consumo em seu sistema hídrico. Os objetivos específicos desse trabalho consistem em: estudar tecnologias de transmissão de dados de baixo custo; estudar plataformas de Internet das Coisas para criação do protótipo; analisar, identificar e estudar plataformas web e móvel para a criação do monitoramento das informações do protótipo; identificar melhor meio tecnológico para o controle a distância do protótipo.

2. Trabalhos relacionados

No estudo de implementações tecnológicas na área de macro e micromedição de consumo de recursos hídricos existem nacionais relacionados a esse tema, dentre estes, pode-se citar Maestreli (2014) que desenvolveu um dispositivo utilizando um microcontrolador ATmega 1280 utilizando a plataforma de prototipação Arduino Mega. O dispositivo funciona com a utilização de créditos que são inseridos pela comunicação *blueetooth* por um aplicativo móvel. Esses créditos determinam se o dispositivo pode ou não consumir água, realizando um bloqueio do dispositivo caso esteja sem créditos. O dispositivo calcula o consumo utilizando uma válvula para controle do fluxo de água que possui um sensor do tipo rotor. Para identificação do consumo dos créditos é utilizado leds que indicam se o dispositivo necessita de recarga. Todo esse sistema funciona com uma alimentação de energia externa utilizando uma fonte. O sistema apresentou a medição correta dentro da margem de erro informada pela fabricante do dispositivo de medição.

Aveiro, Passos e Quadros (2015) desenvolveram um sistema que utiliza a telemetria para obtenção de dados do consumo de um hidrômetro residencial com o objetivo de reduzir erros na leitura. O sistema é dividido em dois dispositivos, um que é acoplado no hidrômetro convencional e um dispositivo móvel que é utilizado como ferramenta para realizar a leitura do hidrômetro pelos leituristas e fazer o envio dos dados coletados a um servidor. O dispositivo acoplado ao hidrômetro utiliza um kit de desenvolvimento chamado STM32VLDISCOVERY que possui um microcontrolador STM32F100RTB6B. O responsável pela comunicação e transmissão dos dados é módulo *ZigBee*. O sistema funciona conectado a uma fonte de energia externa e possui uma Power Bank como alimentação reserva. O dispositivo móvel é desenvolvido utilizando o mesmo kit e microcontrolador do primeiro, acoplado a ele uma tela LCD, um dispositivo de

leitura SD e um módulo de comunicação *ZigBee*. O sistema desenvolvido satisfez os objetivos propostos, o sistema embarcado realizou a leitura dos pulsos gerados pelo hidrômetro, o sistema embarcado móvel coletou os dados do dispositivo embarcado salvando em um SD, registrando na base de dados, e o servidor web exibiu as informações aos consumidores.

3. Materiais e Métodos

Esta pesquisa é caracterizada aplicada de base tecnológica e explicativa. Desenvolveu-se um protótipo utilizando conceitos de IoT para monitorar o consumo dos recursos hídricos residências e industriais, realizar o acompanhamento do consumo utilizando um sistema web para gerenciamento e acompanhamento dos dispositivos e consumidores e um sistema móvel para monitoramento por parte do consumidor. Este projeto é constituído por quatro módulos, são eles: sensor, servidor, sistema web e móvel (Figura 1).

O modulo sensor é constituído por um protótipo que realiza a leitura do consumo hídrico e faz o envio dos dados utilizando a rede GPRS e o protocolo de comunicação MQTT, o protótipo funciona com utilização de baterias de lítio. O módulo servidor é responsável por processar os dados enviados pelo protótipo e gerenciar os usuários e protótipos de medição, armazenando em tempo real em bancos de dados relacionais e não relacionais as informações recebidas. O módulo de sistema web é composto por um site destinado às companhias de distribuição de recursos hídricos para gerenciar os consumidores e protótipos cadastrados e fazer o monitoramento do consumo geral e detalhado de cada protótipo e consumidor utilizando gráficos. O módulo móvel é um aplicativo destinado aos consumidores para monitoramento dos protótipos vinculados ao consumidor podendo ver de forma detalhada as medições informadas pelo dispositivo utilizando gráficos.

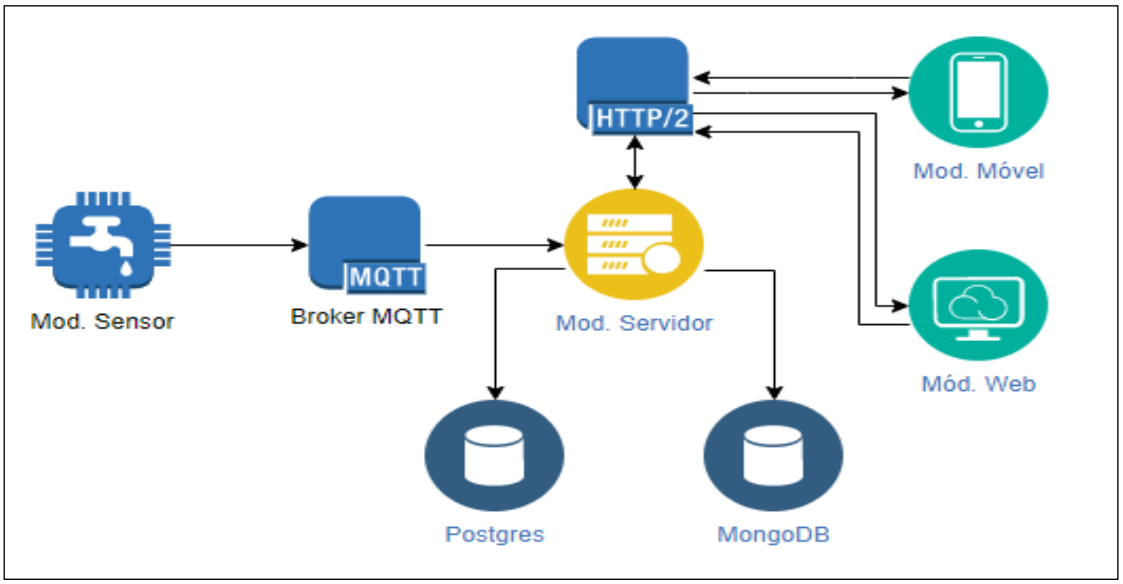

Figura 1. Arquitetura do projeto

O broker MQTT, o módulo servidor e o módulo web, foram hospedados em uma máquina virtual privada contratada pela empresa OVH. A máquina conta com 2GB de memória ram, armazenamento de 20GB, uma conexão de internet de 100Mb/s e um poder de processamento de 1vCPU de 2.4GHz. O sistema operacional utilizado foi o Ubuntu,

um sistema operacional open source construído a partir do núcleo Linux, em sua versão 18.04.

3.1. Desenvolvimento do Módulo Servidor.

A linguagem utilizada no desenvolvimento foi o super conjunto de JavaScript (JS) o TypesScript (TS) utilizando o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Code versão 1.56.2. O código é executado pelo Node.js versão 10.4.2 que é um ambiente de execução JavaScript a nível de servidor. Quando executado pelo Node.js a aplicação o serviço é iniciado utilizando o framework de desenvolvimento web Express.js disponibilizando a aplicação na porta configurada 3333 prontas para ser acessada utilizando os protocolos HTTP e HTTPS.

O modulo servidor é integrado à dois bancos de dados, um relacional e outro não relacional. O banco de dados relacional Postgres versão 8 é utilizado para o cadastro dos administradores, consumidores e protótipos, conforme Figura 2. O banco de dados relacional utilizado nesse cadastro foi necessário pelo relacionamento forte entre as tabelas de usuários e protótipos (Figura 2). O cadastro de administradores e usuários é necessário para que possam se autenticar nos sistemas para monitorar os dados enviados dos protótipos. No cadastro de administradores e usuários, é cadastrada uma senha e criptografada utilizando a biblioteca bcrypt desenvolvida para JavaScript e disponibilizada pelo gerenciador de pacotes do node chamado Node Package Manager (NPM).

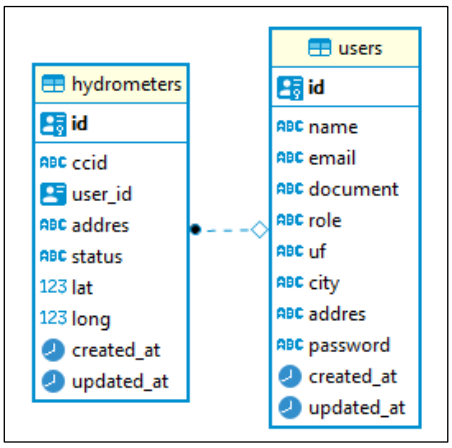

Figura 2. Relacionamento do banco

O banco de dados não relacional MongoDB versão 4.4 é utilizado para o armazenamento dos dados em formato de objetos, enviados pelo protótipo, pelo alto volume de dados enviados e pela necessidade do consumo dos dados com velocidade e em tempo real.

A integração com os dados do protótipo e o servidor é realizada utilizando o protocolo MQTT. Para que a comunicação sobre o protocolo MQTT aconteça é necessário a criação do chamado broker, responsável por criar os tópicos que são utilizados para se inscrever e publicar mensagens. O broker utilizado na implementação foi o projeto de código aberto Eclipse Mosquitto na versão 5.0. O protótipo assina o tópico do broker como um publicador e envia as mensagens pelo protocolo, ao receber essa mensagem, o broker emite um evento para todos os assinantes do tópico, o servidor recebe essa mensagem contendo os detalhes da medição com data, hora, consumo e o

identificador do protótipo, processa e armazena no banco de dados não relacional MongoDB. Esses dados são utilizados para consumo por parte do módulo web e do módulo móvel.

3.2. Desenvolvimento do Módulo Sensor

O desenvolvimento do protótipo fora realizados estudos envolvendo *hardware,* para elaborar a montagem do circuito do protótipo, e *software* para poder realizar a manipulação e controle dos dados captados e transmitidos via *hardware*. O módulo de hardware teve um desenvolvimento mais longo por conta da sua complexidade de alimentação, comunicação com o servidor utilizando a rede GPRS/GSM e calibração dos sensores para identificar o corretamente o fluxo de água

3.2.1. Montagem do Circuito

A plataforma de prototipagem utilizada para a montagem e gerenciamento dos dispositivos do circuito foi a placa NodeMCU ESP32 por conter uma série de microcontroladores de baixo custo e baixo consumo de energia. Esse dispositivo conta com diversas 30 portas seriais para realizar a comunicação com outros dispositivos eletrônicos. A tensão de operação do NodeMCU Esp32 é de 3.3V. A placa já possuí um regulador de tensão embutido podendo ser alimentado com até 12V.

A leitura do fluxo hídrico foi utilizada o dispositivo YF-B2. Esse dispositivo é um hidrômetro do tipo velocímetro, sua medição é baseada em um mecanismo de hélice que é acionado conforme o fluxo de água gerando impulsos elétricos a cada rotação completa. Sua vazão é de 1~25L/m com margem de erro de 3%. Construído em um corpo de cobre que apresenta maior durabilidade contra sensores construídos de plástico. A tensão de operação mínima desse dispositivo é de 5V e máxima de 15V. O dispositivo foi conectado ao pino GPIO 14 da placa de prototipagem, os pinos VCC e GND foram conectados diretamente à saída da bateria.

A comunicação do protótipo com o módulo servidor foi utilizada o módulo GSM/GPRS SIM800L. Esse dispositivo utiliza-se da rede GSM/GPRSM para o tráfego de dados. O módulo SIM800L opera nas frequências EGSM900, DCS1800, GSM850 e PCS1900 e sua velocidade de comunicação é de no máximo 85.6 Kb/s. Sua tensão de operação é de 4.1V a 5V. Para que esse dispositivo funcione é necessário a utilização de um chip GSM. A operadora escolhida para utilizar e trafegar as informações foi a empresa de telefonia brasileira TIM. A comunicação da placa de prototipagem com o SIM800L foi feita nos pinos TX2, RX2 e TXD e RXD do módulo. Os pinos VCC e GND foram conectados à saída do regulador de tensão LM2596. A esquemática de todo o circuito pode ser observado na Figura 3.

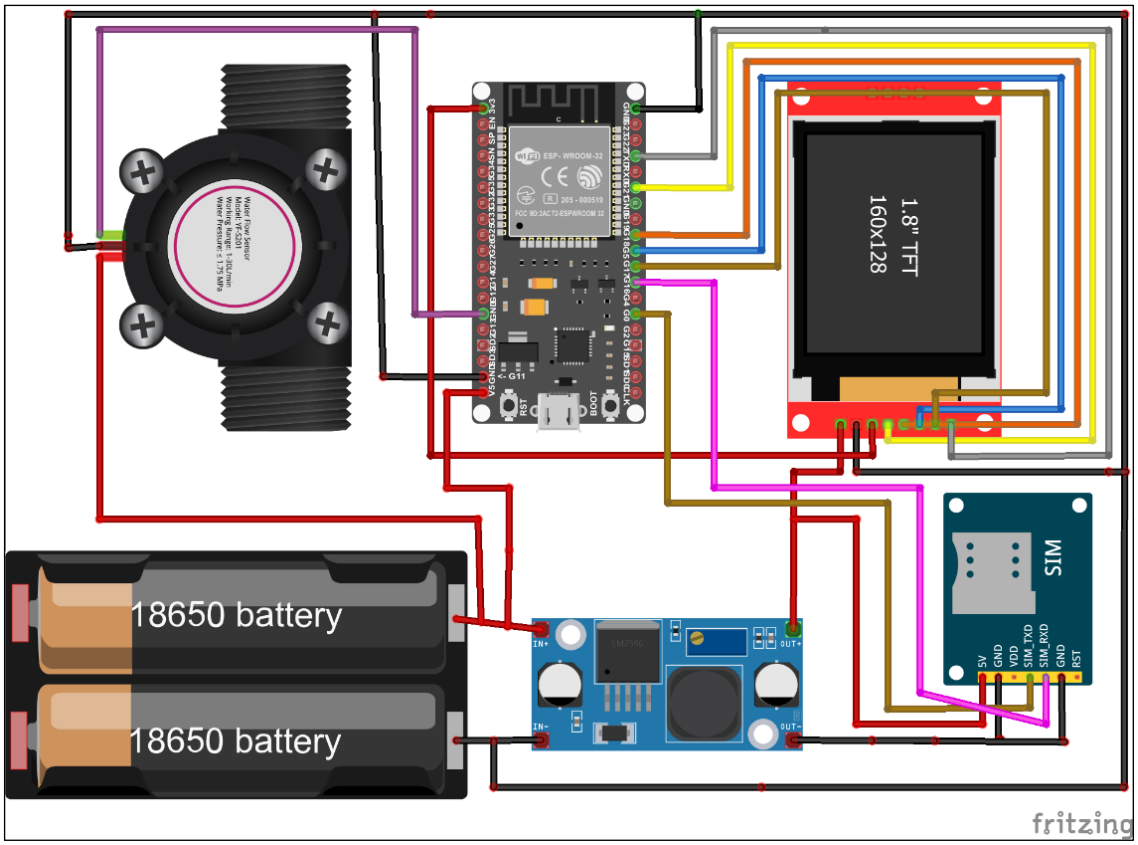

Figura 3. Circuito do modulo sensor

Duas baterias de lítio 18650 conectadas em série com tensão de 3.7V cada e capacidade de 3600mAh são responsáveis por alimentar e fornecer 7.4V de tensão para todo o circuito. O NodeMCU ESP32 é alimentado diretamente da bateria com uma tensão de 7.4V no pino de entrada 5V. Esse pino conta com um regulador de tensão que controla a tensão de entrada reduzindo-a para a tensão de operação de 3.3V do microchip. Para poder alimentar os outros componentes eletrônicos que exigem uma tensão máxima de 5V foi necessário utilizar um conversor do tipo *Step Down* LM2596 para regular a tensão das baterias de 7.4V para 5V. Esse regulador suporta tensões de entrada de 3,2V até 40V oferecendo em sua saída tensões de 1.5V à 35V. A corrente de saída nominal é de 2A e a máxima de 3A.

Para a visualização do funcionamento do dispositivo e o status de conexão com a rede GPRS/GSM e com o servidor, além de também visualizar o consumo e a vazão atual, foi utilizado um Display LCD TFT de 1.7”, como demonstrado na Figura 4, com tensão de operação de 5V e 3.3V. Nesse display também é possível acompanhar o status de cada dispositivo assim que o sistema é ligado e conferir o status de envio dos dados capturados pelo dispositivo.

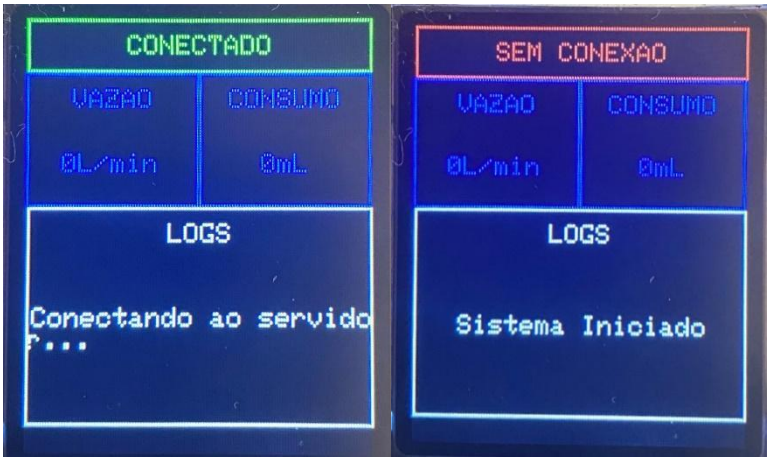

Figura 4. Display do protótipo

Para acabamento do circuito foi utilizado uma caixa plástica do tipo patola com dimensões 19 x 10 x 3 centímetros como demonstrado na Figura 5. Nela foi instalado um interruptor para ligar e desligar todo o circuito, a antena do módulo GPS/GPRS SIM800L. O dispositivo de medição hídrico é encaixado por plugs sendo possível instalar onde houver necessidade sem precisar ficar próximo a central de envio de dados.

Figura 5. Protótipo pronto

3.2.2. Desenvolvimento do Software para o NodeMCU Esp32

O software foi desenvolvido utilizando a linguagem C++. Para facilitar o desenvolvimento foi utilizado a IDE Arduino na versão 1.8.12. Para utilizar os dispositivos, foi necessária a utilização das suas respectivas bibliotecas. As bibliotecas

utilizadas foram TinyGSM na versão 0.10.9, PubSubClient na versão 2.8.0, Adafruit, SPI e Wire.

A biblioteca TinyGSM foi responsável por fornecer as ferramentas necessárias para o controle total do dispositivo SIM800L e sua configuração de rede e provedor, assim como conexão na rede GPRS/GSM e extração do identificador único global ICCID utilizado como identificar do protótipo e vinculado ao consumidor. O ICCID *Integrated Circuit Card ID* é um identificador único em todo o mundo, todo e qualquer cartão SIM possui um único ICCID. Para identificação do protótipo e pensando em ser um dispositivo transferível e de fácil configuração foi utilizado o ICCID, isso garante a autenticidade do protótipo que está se comunicando o servidor.

A comunicação com o *broker* MQTT foi possível utilizando a biblioteca PubSubClient. Nela é disponibilizado uma série de funções para conexão aos tópicos do *broker* e para o despacho de mensagens de forma facilitada para o *broker*. Adafruit foi utilizado para fazer a interface gráfica, essa biblioteca contém diversos recursos para impressão de textos, linhas e formas geométricas apenas passando coordenadas de posições x e y. A bibliotecaWire foi necessário para a comunicação I2C com a placa de prototipagem NodeMCU Esp32.

O sensor de fluxo de água foi utilizado em um pino GPIO que permite que seja programado como modo de interrupção externa. Esse dispositivo, exige que seja processado em tempo real e sem interrupções o fluxo de água que passa para que a informação coletada seja precisa e real. Para que seja possível seu funcionamento em tempo real, é necessário que a porta que coleta os dados enviados pelo dispositivo seja do tipo *attachInterrupt* essa funcionalidade permite que seja definido uma função, que será acionada toda vez que o sensor emitir um pulso elétrico. Quando emitido um pulso elétrico, o Esp32 identifica, e da prioridade de execução para a função configurada, pausando todo e qualquer processamento que estiver ocorrendo no momento do impulso elétrico. Dessa maneira, garante-se que todo o pulso elétrico enviado pelo sensor não vai se perder e será processado em tempo real, dando precisão no cálculo do consumo da água.

Para garantir que os dados não se percam casa haja um desligamento do dispositivo ou reinicialização, os dados são armazenados na memória *Flash* do Esp32. A capacidade de armazenamento da memória é de 512 bytes, sendo mais que suficiente para armazenar o dado gerado pelo dispositivo, visto que ele sempre sobrescreve o dado anterior para que não haja um acúmulo de registros.

3.3. Desenvolvimento do Módulo Web

A linguagem utilizada no desenvolvimento foi o super conjunto de JavaScript (JS) o TypesScript (TS) utilizando o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Code versão 1.56.2. Foi utilizado um *framework* javascript chamado Angular na sua versão 5 por conter um conjunto de ferramentas destinado a criação e manutenção de sistemas utilizando JavaScript. Para a criação dos gráficos foi utilizado a biblioteca Chart.js na sua versão 2.8.0. Toda interface foi desenvolvida utilizando o framework para desenvolvimento de interfaces de aplicações web Bootstrap na versão 3.

O desenvolvimento da plataforma web foi destinado para o gerenciamento e controle de consumidores e dispositivos. Nele é possível fazer o cadastramento dos consumidores, dispositivos e outros usuários administradores. O módulo permite o

acompanhamento dos consumidores ativos e inativos, do consumo geral de todos os dispositivos e do consumo geral individual, provendo informações do consumo em listas e gráficos.

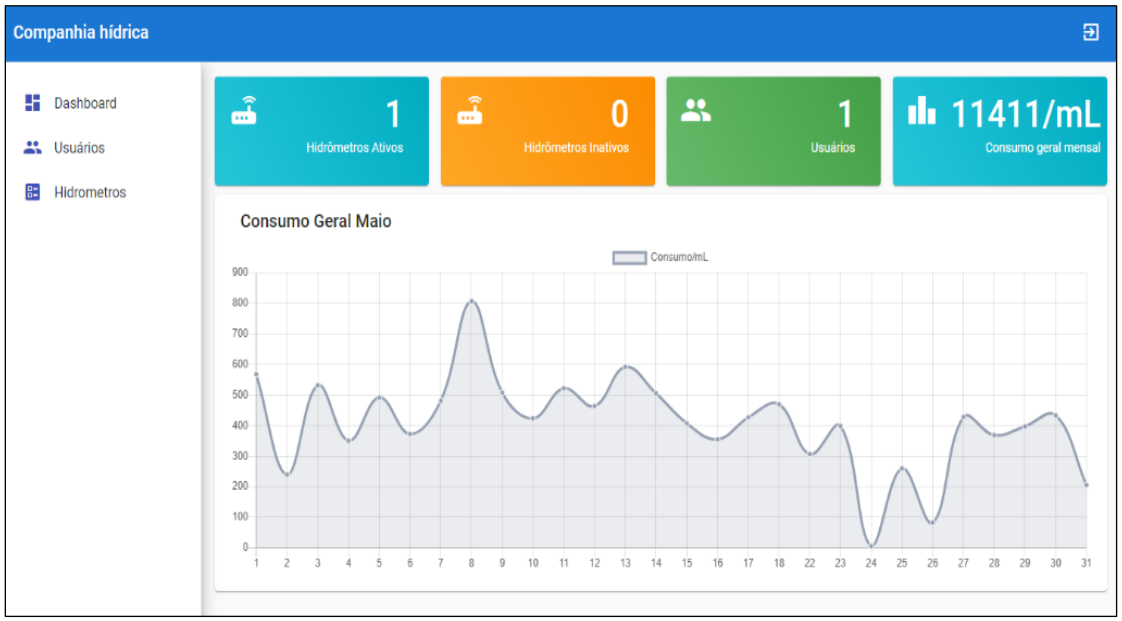

Figura 6. Tela inicial

No desenvolvimento do módulo foi criado uma tela de autenticação básica onde é necessário informar o documento do usuário e a senha para poder acessar o sistema, sendo possível somente acessar usuários com o privilégio administrativo. Logo após a autenticação, o usuário é levado até a tela inicial do sistema, um painel que contêm as informações do consumo total de todos os dispositivos durante o mês atual, a quantidade de usuários ativos, inativos e a quantidade de dispositivos ativos.

Na tela inicial, possui um menu que leva às telas de usuários e dispositivos. Na tela de usuários é possível visualizar a lista de usuários cadastrados em uma tabela onde pode-se navegar por páginas e conferir nome, documento, tipo e cidade. Nessa tela também é possível realizar o cadastro de um novo usuário, inserindo informações básicas como nome, cidade, estado, e-mail, documento, tipo do usuário e senha. Na tela de hidrômetros é possível listar todos os hidrômetros em uma tabela que mostra o código ICCID identificador do hidrômetro e o consumidor a qual aquele dispositivo pertence. Nessa tela de hidrômetro é possível realizar o cadastro de um novo hidrômetro informando o código ICCID, o documento do consumidor, endereço de forma corrida e as coordenadas geográficas.

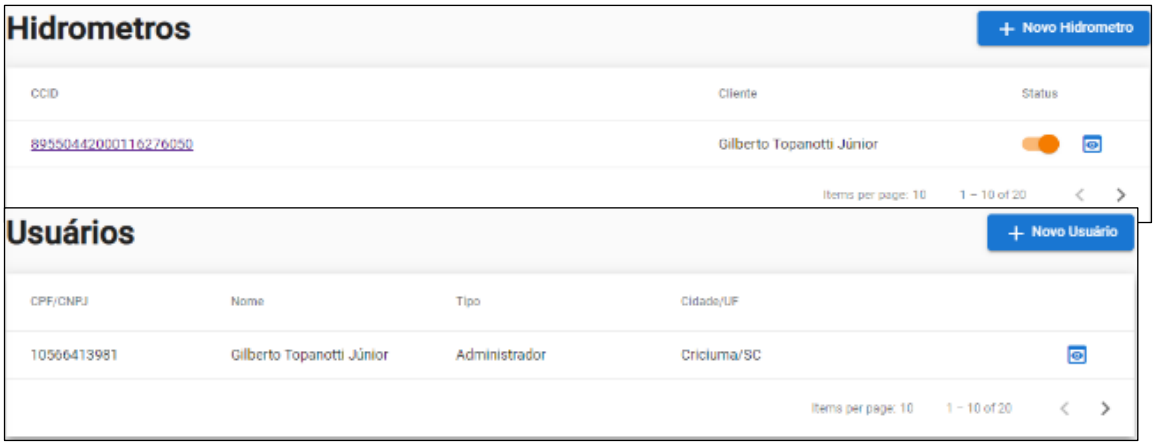

Figura 7. Listagens de usuários e hidrômetros

O módulo web permite que seja consultado individualmente o consumo de cada dispositivo utilizando uma lista e gráficos. O módulo permite três tipos de filtros na consulta do consumo, sendo eles diário, mensal e anual. No filtro diário os dados são exibidos por intervalos de uma hora. No filtro mensal, os dados são exibidos em intervalo de dias e no gráfico anual os dados são exibidos em intervalos de meses. O modo de exibição dos registros para os filtros é o mesmo, sendo possível conferir o consumo por uma lista e visualmente por gráficos dando uma resposta melhor na leitura de picos de consumo.

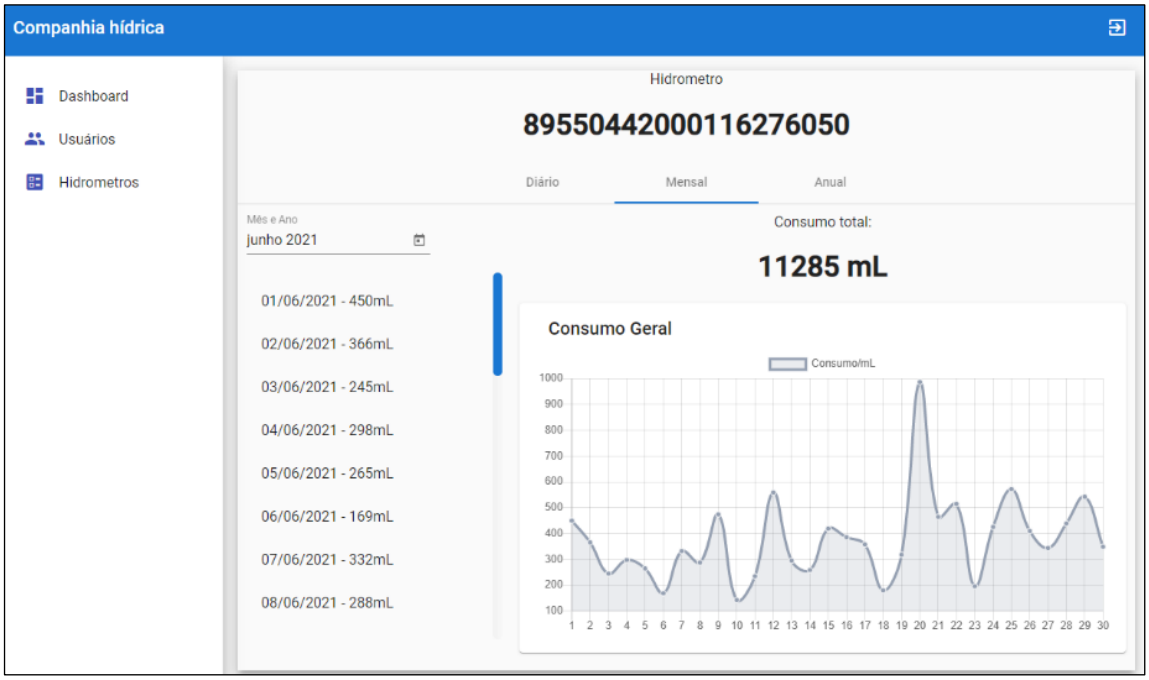

Figura 8. Consulta individual de consumo por hidrômetro

Os dados consumidos pelo módulo web são provenientes do módulo servidor, responsável por processar e armazenar os dados nos dois bancos disponíveis e disponibilizar esses dados para consumo.

3.4. Desenvolvimento do Módulo Móvel

A linguagem utilizada no desenvolvimento foi o super conjunto de JavaScript (JS) o TypesScript (TS) utilizando o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Code versão 1.56.2, essa linguagem foi aliada ao *framework* de desenvolvimento web Angular na versão 5. Foi utilizado um *framework* de desenvolvimento chamado Ionic na sua versão 3, essa ferramenta disponibiliza um conjunto de interfaces gráficas voltado para o desenvolvimento de aplicações web e móvel, com recursos que se adaptam em diferentes tipos de telas. O módulo foi desenvolvido de forma híbrida utilizando o *framework* de aplicações móveis multiplataforma Apache Cordova, permitindo que seja criado aplicativos utilizando tecnologias de desenvolvimento web para Android e para iOS.

No desenvolvimento do módulo, foi criado uma tela de autenticação que permite que usuários consumidores e administradores realizem login. Após feita a autenticação o usuário é redirecionado a tela principal da aplicação, que contém informações como total de hidrômetros do usuário, consumo total de todos os dispositivos no mês atual, gráfico do consumo por dia do mês atual e um menu que dá acesso à listagem dos hidrômetros do usuário.

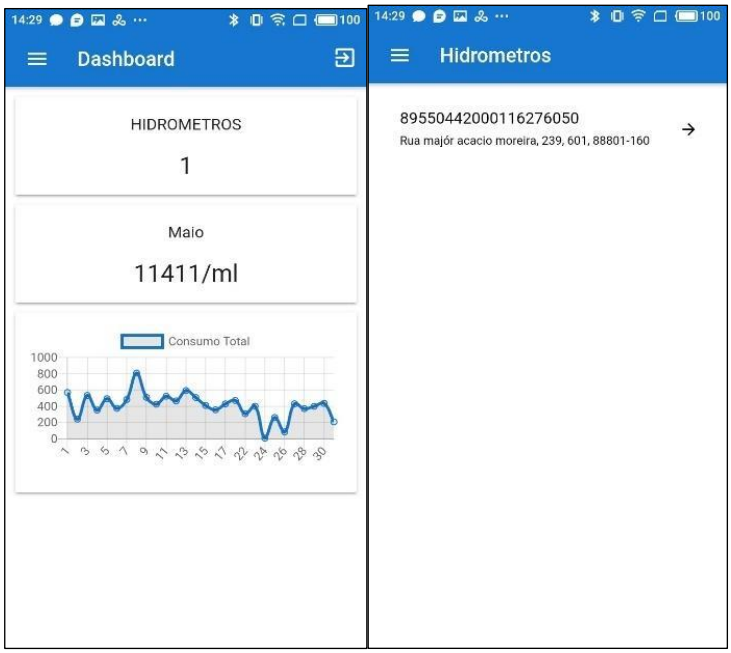

Figura 9. Tela inicial e listagem de hidrômetros

Na listagem de dispositivos do usuário é possível ver as informações como o código identificado ICCID do hidrômetro, o endereço a qual o hidrômetro está vinculado. Nessa lista ao selecionar um hidrômetro o usuário é redirecionado a uma tela que permite filtrar e visualizar o consumo do hidrômetro por dia, mês e ano. O módulo permite três tipos de filtros na consulta do consumo, sendo eles diário, mensal e anual. No filtro diário os dados são exibidos por intervalos de uma hora. No filtro mensal, os dados são exibidos em intervalo de dias e no gráfico anual os dados são exibidos em intervalos de meses. O modo de exibição dos registros para os filtros é o mesmo, sendo possível conferir o consumo por uma lista e visualmente por gráficos dando uma resposta melhor na leitura de picos de consumo.

Figura 10. Consulta individual de consumo por hidrômetro

3.5. Calibração do sensor de fluxo de água

O cálculo da vazão e fluxo de água que passa pelo sensor é resultado de uma equação, como demonstrado na fórmula 1, que leva em consideração a frequência de rotação do sensor. A cada rotação completa é gerado um pulso elétrico que é acumulado dentro de um contador no software do protótipo. Esse contador é multiplicado pela constante Y extraído na calibração.

$$consumo = contador * Y \quad (1)$$

Foi necessário o desenvolvimento de um software para realização de testes práticos utilizando o sensor a fim de se obter a constante Y utilizada na equação. Para o teste prático foi utilizado uma bomba submersa de aquário com vazão de 3000L/m, inserida dentro de uma bacia e conectada ao sensor por uma mangueira. Quando acionada a bomba, a água que passa pelo sensor é despejada em um outro recipiente contendo marcações em mililitros e o software é responsável pelo registro dos pulsos elétricos gerados.

Figura 11. Estrutura dos testes práticos

Foram feitos dez testes para que fosse possível ter uma maior precisão na medição do fluxo de água. Ao final dos testes, os dados coletados foram dispostos em uma tabela e para cada teste o total de água transportada pelo sensor foi dividido pelo número de pulsos gerados, se obtendo então a relação de rotação por ml. Após a obtenção de rotação por ml de cada dispositivo foi feito então a média desse resultado para finalmente se obter a constante Y utilizada na equação acima que é o valor de 1,8434ml/rotação.

Tabela 1. Resultado dos testes práticos

Total de água no recipiente	Contador (pulsos)	ml/rotação
4881	2636	1,8516
4723	2540	1,8594
4785	2657	1,8159
4825	2657	1,8159
4791	2612	1,8342
4678	2567	1,8749
4913	2667	1,8421
4754	2575	1,8462
4813	2613	1,8419
4980	2689	1,8519

Para o cálculo da vazão de litros por minuto no sensor, foi elaborada outra equação a fim de se obter a constante Z, que representa a quantidade necessária de rotações para se obter 1000 ml de água. Para isso, foi aplicada uma equação para dividir o total de 1000 ml pela constante Y resultando em 542 rotações para cada litro de água. Após a obtenção da constante Z foi aplicada uma equação para determinar a vazão em litros da água por minuto.

$$vazão = \frac{pulsos}{tempo\ decorrido} * \frac{60}{Z} \qquad (2)$$

Na fórmula 2, é dividido o número de pulsos acumulados no contador pelo tempo decorrido em segundos desde a última medição realizada ou início, multiplicados por 60 que representa a quantidade de segundos dentro de um minuto divido pela constante Z.

4. Resultados e discussões

Neste trabalho a operação e eficiência de todo o protótipo foi analisado partindo de testes experimentais práticos em um sistema simulado de consumo. Para a simulação foi necessária uma tubulação conectada por duas mangueiras, uma bomba hidráulica com vazão de 3000 litros de água por hora e um recipiente com água para o bombeamento e retorno da água formando um *loop*.

A plataforma de prototipagem escolhida foi o NodeMCU Esp32 que operou durante todo o período em que esteve ligado sem travar ou reiniciar. Foi identificado durante o desenvolvimento que a comunicação com a rede GSM e GPRS nem sempre era estável e poderiam ocorrer falhas e perca de sinais de forma aleatória, acarretando falhas nas comunicações de envio de dados para o servidor. Tendo em vista esses problemas, foram feitas tratativas a nível de programação na plataforma de prototipagem e assim que acontecia, o sistema conseguia automaticamente reiniciar apenas os componentes responsáveis e reestabelecer as conexões para reenvio dos dados que falharam.

O protótipo foi conectado na rede e operou em total funcionamento pelo tempo de aproximadamente 27 horas até a bateria se esgotar por completo. Não é considerado um resultado satisfatório pois o ideal seria que o dispositivo operasse com uma fonte de alimentação constante e autossuficiente, sendo alimentada por turbinas hidroelétricas ou por painéis solares, ou seja, sempre ligado sem precisar haver recarga ou substituição das baterias de forma manual.

O módulo servidor se mostrou eficiente, não apresentando nenhuma falha no recebimento de informações do protótipo utilizando o protocolo escolhido. Todos os envios realizados pelo protótipo foram feitos de forma consistente com suas informações, apresentando sempre a data e hora correta do envio, assim como a informação precisa registrada pelo protótipo. Os dados recebidos no servidor foram processados e armazenados sem ocorrer nenhuma falha no banco de dados não relacional. O banco de dados não relacional operou de forma rápida nas consultas de consumo realizadas pelos módulos *web* e móvel. O aplicativo demonstrou corretamente todos os dados enviados pelo protótipo e de forma segura demonstrando apenas os dados relacionados ao usuário logado. Os filtros por dia, mês e ano apresentaram corretamente os valores cadastrados somente no período selecionado no filtro. O gerenciamento de usuários funcionou corretamente, não permitindo o cadastro de usuários com os mesmos números de documento e não permitindo que fosse cadastro dispositivos utilizando os mesmos identificadores. Os gráficos utilizados no módulo web e módulo móvel funcionaram corretamente demonstrando visualmente o consumo referente ao período filtrado.

5. Conclusão

O protótipo demonstrou ser uma forma eficiente e prática de realizar o monitoramento do consumo dos recursos hídricos. A utilização do microcontrolador Esp32 demonstrou ser eficiente no gerenciamento dos dispositivos de comunicação e de monitoramento do consumo. O microcontrolador foi um excelente aliado na elaboração do protótipo por conta do seu custo-benefício. Seu alto processamento, a integração com a plataforma de desenvolvimento Arduino e todas a bibliotecas disponíveis para utilização na codificação para controle dos sensores utilizados foram fundamentais para a construção e o resultado proposto do trabalho.

A comunicação por telemetria é a peça-chave fundamental para o futuro da Internet das Coisas. A possibilidade de utilizar a rede GSM e GPRS, a qual é uma rede com grande abrangência de sinal em rede nacional e internacional, potencializa cada vez mais a criação de sistemas inteligentes conectados.

A utilização da telemetria neste trabalho trouxe benefícios como comodidade e facilidade a acesso a informações que no modelo padrão de monitoramento necessitaria de pessoas capacitadas para a coleta e manipulação desses dados. Para as companhias de recursos hídricos a telemetria trás como benefícios a longo e curto prazo a redução de custos com mão de obra especializada, a rápida coleta da informação e precisão da informação. Já na outra ponta, o consumidor que antes dependia da fatura para poder acompanhar consumo, a telemetria possibilitou que esse acompanhe diariamente seus gastos hídricos podendo fazer assim um uso mais racional da água além de poder identificar possíveis vazamentos e anomalias.

Na Internet das Coisas, é indispensável ferramentas para realizar o controle e monitoramento dos dados coletados pelos dispositivos. Essa ferramenta necessita ser concisa, e de fácil uso para que qualquer tipo de pessoa possa utilizar, desde as menos até as mais experientes com tecnologia. Os *smartphones* são ferramentas poderosas e amplamente difundidas, possibilitando que a humanidade acompanhe o avanço tecnológico seja por uma atualização do seu sistema operacional com novos recursos ou com novos aplicativos cada vez mais inteligentes. O aplicativo para controle e monitoramento desenvolvido para o sistema operacional Android foi construído com uma interface prática e amigável, todas as funcionalidades implementadas como os gráficos, filtros para consultas e a listagem de dispositivos possibilitam que o usuário extraia ao máximo toda informação necessária para tomada de decisão em relação ao uso da água, sendo uma ferramenta de fácil acesso e manuseio.

Com inúmeros dispositivos é indispensável que as companhias de recursos hídricos possuam uma plataforma onde possam gerenciar todos os consumidores e dispositivos ativos. A plataforma web desenvolvida é uma ferramenta essencial para que se haja controle do consumo de toda a rede. É ela responsável pelo cadastramento dos consumidores e dos dispositivos. As informações dispostas são informações práticas de fácil acesso e manuseio.

Um problema identificado no desenvolvimento do protótipo foi a alimentação do dispositivo. Nos testes realizados o tempo de duração do protótipo com uma carga de bateria completa foi de 27 horas ininterruptas. O protótipo necessita de uma alimentação constante para que ele fique ligado o tempo todo e não haja a necessidade de intervenção humana para a substituição das baterias ou da recarga.

Como trabalhos futuros, sugere-se: utilizar de um sistema autossuficiente como um gerador de energia hidroelétrico que utiliza a própria força da água que circula no dispositivo para gerar energia, ou um sistema de placas fotovoltaicas.

Todo o conjunto de ferramentas tanto como hardware e software se mostraram ser excelentes na construção do protótipo. O projeto desenvolvido se mostrou eficiente cumprindo com os objetivos que foram propostos. A criação de um módulo de geração de energia para alimentação do protótipo será necessária para que o projeto atinja um resultado muito mais satisfatório.

Referências

A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista and M. Zorzi**, "Internet of Things for Smart Cities," in *IEEE Internet of Things Journal***, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, Feb. 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.

DMAE tem nova empresa para leitura de hidrômetros. Prefeitura de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, p. 1, 24 out. 2019. Disponível em: https://www.prefeitura.poa.br/dmae/noticias/dmae-tem-nova-empresa-para-leitura-de-hidrometros. Acesso em: 5 jul. 2020.

DOS PASSOS, Ivan; DE QUADROS, Murilo Augusto Castagnoli; DE AVEIRO, Tiago Gregio. **Sistema de Telemetria de Hidrômetro Residencial**. 2015. *[S. l.]*, 2015.

KONESKI, Eduardo de Meireles. Ambiente de comunicação segura de Internet das Coisas com a utilização do MQTT e TLS. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**, *[S. l.]*, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/192153/TCC-Eduardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MAESTRELLI, LUIGI. **Sistema de Controle do Abastecimento de Água para Cobrança Via Compra de Créditos Pré-Pagos por Dispositivos Móveis**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Faculdade de Ciências da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense, [*S. l.*], 2014. Disponível em: http://tcc.kironunesc.net.br/?id=606&proj=387. Acesso em: 3 abr. 2020.

Medição individualizada de água em apartamentos: Weber de Freitas Carvalho. Orientador: Doutor Aldo Giuntini de Magalhães. 2010. Tese (ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL) - Escola de Engenharia , Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AAKEP/1/monografia_weber.pdf. Acesso em: 19 jun. 2020.

Medição individualizada de água em apartamentos: Weber de Freitas Carvalho. Orientador: Doutor Aldo Giuntini de Magalhães. 2010. Tese (ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL) - Escola de Engenharia , Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AAKEP/1/monografia_weber.pdf. Acesso em: 19 jun. 2020.

MENDES DANTAS, Antoni; SANTOS MORAES, Luiz Roberto**. Análise do desperdício de água tratada por meio de vazamentos nas instalações hidráulico-sanitárias em edifícios residências: um estudo em Salvador, Bahia**., [s. l.], 2016. Disponível em: http://servicos.semasa.sp.gov.br/Old/admin/biblioteca/docs/PDF/35Assemae005.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.

NASCIMENTO, N. DE O.; HELLER, L. **Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento**. Eng. Sanit. Ambient, v. 10, p. 36–48, 2005.

SANTOS, Bruno P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos.**, *[S. l.]*, p. 50, 2016. Disponível em: https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf.

SENAI. **Medidas de Combate às Perdas de Água**. 2008. Disponível em:

https://www.sc.senai.br/senaivirtual/sistema/webensino/aulas/21008_3330/desafio2.pdf.

VIEIRA, Abel Silva. Rational use of water in social housing as an energy conservation strategy in Florianópolis, Santa Catarina [in portuguese]. Federal University of Santa Catarina. **abntMaster's dissertation**, *[S. l.]*, p. 172 pages, 2012. Disponível em: www.labeee.ufsc.br/.../DISSERTACAO_abel.pdf.

VIEIRA, Alexandre M. Dispositivo para micromedição remota de consumo de água. *[S. l.]*, p. 84, 2014. Disponível em: https://www.professorpetry.com.br/Ensino/Defesas_Pos_Graduacao/Defesa 50_Alexandre Marcos Veira_Dispositivo Para Micromedicao Remota de Consumo de Agua.pdf.