

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM INTERNET DAS COISAS

THIAGO SIMIONATO DOS SANTOS

SISTEMA INTELIGENTE DE MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2019

THIAGO SIMIONATO DOS SANTOS

SISTEMA INTELIGENTE DE MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Internet das Coisas, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M. Sc. Leonardo Faix Pordeus

CURITIBA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Internet das Coisas



TERMO DE APROVAÇÃO

SISTEMA INTELIGENTE DE MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA

por

THIAGO SIMIONATO DOS SANTOS

Esta monografia foi apresentada em 25 de Novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Internet das Coisas. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M. Sc. Leonardo Faix Pordeus
Orientador

Prof. M. Sc. Danillo Leal Belmonte
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus professores e também colegas de curso por toda contribuição agregada aos estudos durante as aulas.

Agradeço ao meu orientador Prof. Leonardo Faix Pordeus, por me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço minha esposa por me auxiliar e incentivar durante toda a jornada do curso.

RESUMO

SANTOS, Thiago S. **Sistema inteligente de medição de consumo de água**. 2019. 30 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

No Brasil, a cada ano nota-se um crescente aumento no índice de desperdício de recursos hídricos relacionado a distribuição residencial. Em paralelo, observa-se o avanço da tecnologia permitindo a conectividade a internet de dispositivos e serviços comuns a população. Nesse sentido, serviços como o de distribuição de água estão como grandes candidatos a se atualizarem. A criação de um sistema capaz de coletar dados, controlar e gerenciar remotamente é o próximo passo para a melhoria da qualidade de vida de seus usuários. Além disso, tais melhorias beneficiam não só a população como o meio ambiente. O estudo deste trabalho se foca em propor criação modelo de um sistema para medidores inteligentes no consumo de água e indicar os benefícios que poderiam ser entregues a população pelo uso deste sistema.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Medidores Inteligentes de Fluxo. Meio Ambiente. Sistema.

ABSTRACT

SANTOS, Thiago S. **Smart Water Metering System**. 2019. 30 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Every year in Brazil, there is a growing increase in the rate of waste of water resources related to residential distribution. In parallel, the technology is evolving, allowing connectivity to the Internet of devices and services common to the population. In this sense, services such as water distribution are great candidates for updating. The creation of a system capable of collect data, manage and control all remotely is the next step to improve improving the quality of life of its users. Also, such improvements benefit not only the population but the environment. The study of this work focuses on proposing the creation of a system for smart meters in water consumption and indicating the benefits that could be delivered to the population using this system.

Keywords: Internet of Things. Smart Flow Meters. Environment. System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de funcionamento do sistema.....	16
Figura 2 - Diagrama de blocos do medidor de fluxo.....	17
Figura 3 - Rede Mesh.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidores de fluxo automatizados existentes.....	17
Tabela 2 - Tempo de vida da bateria (em anos).....	22

LISTA DE ABREVIATURAS

6LoWPAN	<i>IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks</i>
DNS	<i>Domain Name System</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
mDNS	<i>Multicast DNS</i>
MQTT-SN	<i>Message Queuing for Telemetry Transport for Sensor Networks</i>
RPL	<i>Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks</i>

LISTA DE SIGLAS

GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineer</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IWA	<i>International Water Association</i>
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

LISTA DE SÍMBOLOS

μA	Microampere
mAh	Miliampere hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivo Geral	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 CONSUMO DE ÁGUA.....	12
2.2 PERDAS E DESVIOS	13
2.3 MODELO DE MEDIÇÃO	13
3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INTELIGENTE DE MEDIÇÃO.....	15
3.1 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA.....	15
3.1.1 Conceito Geral	15
3.1.2 Equipamentos	16
3.1.3 Tecnologias	18
3.1.4 Infraestrutura	19
3.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.....	21
4 RESULTADOS ESPERADOS	23
5 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Petrov (2019), a evolução da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) é cada vez mais evidente e com isso mais e mais serviços cotidianos estão se tornando automatizados e de fácil acesso. Atualmente existem aplicações inteligentes e conectadas nas mais diversas áreas, das quais pode-se citar exemplos como *smart home* (BROWN; CRIST, 2019), *smart cities* (BUNTZ, 2016), *smart farms* (DESMOND, 2016), entre outros.

No campo de *smart cities*, aplicações inteligentes são desenvolvidas para facilitar a vida do habitante das grandes cidades. Controle de tráfego, segurança pública, qualidade do ar, eficiência energética, são os principais focos para o desenvolvimento de serviços que beneficiem a cidade e seus habitantes. Dentre as possibilidades de aplicações ainda nessa área temos os *smart meters* que são aplicados para medições de controle de fluxo de gás, energético ou de fluxo de água, e é este último item que será abordado neste trabalho.

Segundo o IBGE (2008), a disponibilidade de água tratada e encanada é algo que está na casa de quase todos os brasileiros, no entanto, este é um recurso que embora seja abundante ao mesmo tempo é finito e por isso sua utilização deve ser dada de forma consciente. Antes mesmo de chegar ao consumidor final, cerca de 38% do volume de água são perdidos, o que, além do problema ambiental, implica num prejuízo anual de 10 bilhões de reais, segundo o instituto Trata Brasil (2018). Fica evidente que qualquer medida para mitigar estes efeitos seriam benéficos para toda a população.

Por esta razão, há três motivações que incentivaram este estudo. O primeiro motivo vem do campo ambiental: reduzir e controlar as perdas de volume de água entregues ao consumidor final, melhorando a eficiência no serviço e no respeito ao recurso explorado. O segundo motivo vem no âmbito financeiro: gerar uma economia ao estado e ao cidadão com o controle de perdas por parte da prestadora de serviço e o acompanhamento do consumo por parte do cidadão. Como terceiro e último motivo, o interesse pessoal em ver a tecnologia avançando no dia a dia na vida do cidadão

comum e sendo amplamente utilizado em serviços básicos, além de contribuir para gerar uma conscientização do consumo do recurso.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é propor um modelo para um *sistema de smart water meter*, cujo objeto é a coleta de informações do consumo de água residencial e como este traria benefício para as empresas de saneamento e para o estado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para isso os seguintes objetivos específicos deverão fazer parte no desenvolvimento deste trabalho:

- 1) Propor um sistema inteligente que consiga monitorar os níveis de consumo em tempo real.
- 2) Propor um método para fornecer as informações coletadas para a companhia de saneamento e para o consumidor.
- 3) Propor mecanismos que possam identificar possíveis falhas e desvios na entrega de água e ainda facilitar as tomadas de decisões, agilizando o atendimento para sanar os problemas assim que identificados, gerando economia para o estado e facilidade para o consumidor.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Por questões práticas e de maior facilidade ao acesso de informações sobre saneamento, este estudo se apoiará no modelo entregue pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), podendo ser mais específico em situações na cidade de Curitiba. Em tempo, deve ser lembrado que a aplicação do modelo não será o foco deste trabalho.

A seção a seguir apresentará com maior detalhamento a fundamentação da problemática deste tema com base nos dados disponibilizados pela própria empresa de saneamento, assim como dados a nível nacional. Os hardwares, sensores e

tecnologias utilizadas serão apresentados na terceira seção para um melhor entendimento de como sistema será formado. E então, na quarta seção, será apresentado como o sistema funcionará. A seção final, levantará quais os possíveis benefícios da aplicação deste sistema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, aborda-se as bases teóricas pelas quais se baseia esta pesquisa. A ideia é apresentar dados que corroboram com o motivo pelo qual se faz necessário a implementação de um sistema inteligente de medição de consumo de água. Ainda, a fundamentação usará na sua grande maioria dados referentes ao estado do Paraná, tendo este como modelo de caso de uso.

2.1 CONSUMO DE ÁGUA

Atualmente segundo dados disponibilizados pela SANEPAR, existem 3.923.428 economias de águas ativas no estado (SANEPAR, 2019a). Isso representa, ainda segundo a companhia, uma abrangência de cem por cento dos lares paranaenses com atendimento a água tratada. Em relatório divulgado pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), o consumo *per capita*, ou seja, o consumo médio estimado de um habitante no estado do Paraná em 2017 foi de 139,7 litros de água por dia, representando um aumento de 1,4% a mais em comparação ao ano anterior (SNIS, 2019). Em contrapartida, de acordo com relatório disponibilizado pela SANEPAR (2019b), entre os anos de 2017 e 2018 o volume de água produzido teve um aumento de apenas 0,5%.

A partir dos dados apresentados no parágrafo anterior, é possível observar que com o passar dos anos o consumo de água vem aumentando enquanto a produção não tem acompanhado o volume consumido. Esse aumento no consumo ocasiona em falta de água no atendimento a população de algumas regiões, principalmente em certas épocas do ano, como exemplo do que acontece no litoral paranaense, que no verão o consumo de água aumenta (SANEPAR, 2013).

Apesar da existência de campanhas de conscientização para o consumo racional do recurso, que anualmente são veiculadas. A população ainda tende a não se preocupar o suficiente com o problema. Diante disto, é imprescindível buscar outros meios para que a conscientização coletiva e individual aumente e com isso obtenha-se um melhor aproveitamento do recurso, diminuindo expressivamente o desperdício de água.

2.2 PERDAS E DESVIOS

Em geral, perdas e desvios são constantes que devem ser levadas em conta em qualquer tipo de negócio, seja na indústria ou prestação de serviços. No caso do fornecimento de água, estas perdas não envolvem apenas o desperdício do recurso natural, mas também estão ligadas aos custos e receitas da empresa.

Para entender melhor sobre os tipos de perdas decorrentes dos sistemas de abastecimento de água, algumas iniciativas como o *International Water Association* (IWA) dividiram os tipos de perda em dois grupos: perdas aparentes e perdas reais (VERMESH *et AL.*, 2016). As perdas aparentes ou perdas não físicas estão comumente vinculadas ao que é consumido pelo usuário final e de alguma forma não foi contabilizado ou medido. Estas perdas geralmente são associadas a erros de medição, ligações irregulares ou ilegais, fraudes, entre outros casos.

Por outro lado, as perdas reais são decorrentes das perdas físicas que ocorre no sistema de distribuição antes da chegada do recurso ao consumidor. Estas perdas geralmente ocorrem por problemas na qualidade dos materiais e/ou na qualidade da mão de obra prestada nas instalações do sistema de distribuição, sendo muitas vezes relacionadas a capacidade de pressão dos equipamentos. Entre alguns dos problemas podemos citar: vazamento da rede de distribuição, idade dos equipamentos, falta de manutenção, entre outros (TRATA BRASIL, 2018).

No Brasil, o índice de perdas encontra-se atualmente por volta dos 38% enquanto no estado do Paraná o índice encontra-se em 34,5% como aponta o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2017, realizado pelo SNIS. Este índice está muito longe do ideal, sendo que alguns países já conseguiram baixar para menos de 10% como citado no relatório.

2.3 MODELO DE MEDIÇÃO

O sistema atual para medição do consumo de água de cada economia ativa no estado do Paraná se faz em grande parte, por meio de profissionais chamados “Leituristas”. Estes, segundo matéria publicada em 2015 no portal Banda B, chegam a visitar cerca de 350 residências por dia, munidos de um equipamento de leitura chamado MC55A (SEQUINEL; OLIVEIRA, 2015). Segundo site da empresa (SANEPAR, 2012), este equipamento trata-se de um *smartphone* com tecnologia

GPRS e uma impressora portátil, que facilita a emissão da fatura e reduz a falha na criação do código de barras.

A utilização do sistema de medição com o MC55A iniciou no ano 2012 com estimativa de redução de custos na ordem de 1 milhão de reais por ano no entanto, ainda que seja uma evolução tecnológica este modelo continua a se apoiar em um técnico operador, contribuindo para maiores chances de falhas humanas e demora no processo de leitura, uma vez que é necessário a visita a cada residência pelo profissional leitorista.

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INTELIGENTE DE MEDIÇÃO

As seções anteriores apresentaram o que há atualmente como modelo de medição do consumo de água e o porquê do cuidado nesta área, tais como as perdas e o nível de consumo elevado que se tem tido. Além disso, foi visto também que atualmente a forma de mensurar o consumo do recurso se faz, em grande parte, de modo manual.

Esta seção apresentará um estudo na intenção de atualizar o modelo existente para um sistema que aplique o uso da tecnologia atualmente disponível, onde a automatização do processo de medição e as informações que se pode obter desta é o foco, tendo o auxílio de dispositivos conectados diretamente a internet (*Internet of Things - IoT*).

Espera-se com isso a melhoria no controle do consumo, onde tanto na unidade consumidora quanto a empresa prestadora do serviço possam ter fácil acesso ao que é consumido em tempo real, maior eficiência no serviço prestado e maior economia financeira tanto para o consumidor quanto para a empresa.

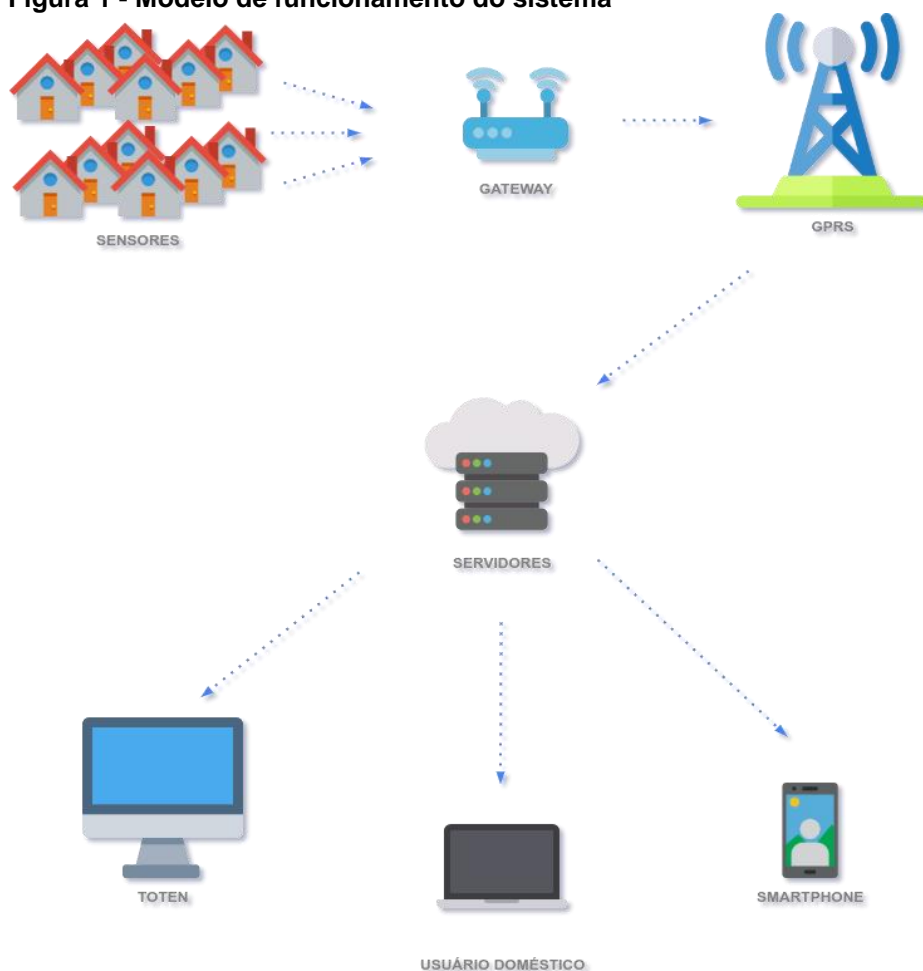
3.1 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA

Nesta seção, será descrito como a proposta de sistema para medição automatizada do consumo de água residencial com o auxílio de *IoT* poderia ser implementada.

3.1.1 Conceito Geral

O conceito do sistema utiliza uma série de sensores que regularmente seriam responsáveis por enviar dados para o *gateway* mais próximo. Responsável por condensar os dados recebidos de todos os sensores, o *gateway*, envia os dados através de rede de telefonia móvel para os servidores da companhia. Por sua vez, a companhia será responsável de tratar os dados coletados, gerando informações que seriam disponibilizadas através de interfaces para o usuário final. A Figura 1 apresenta o conceito arquitetural do modelo proposto.

Figura 1 - Modelo de funcionamento do sistema



Fonte: Autoria própria.

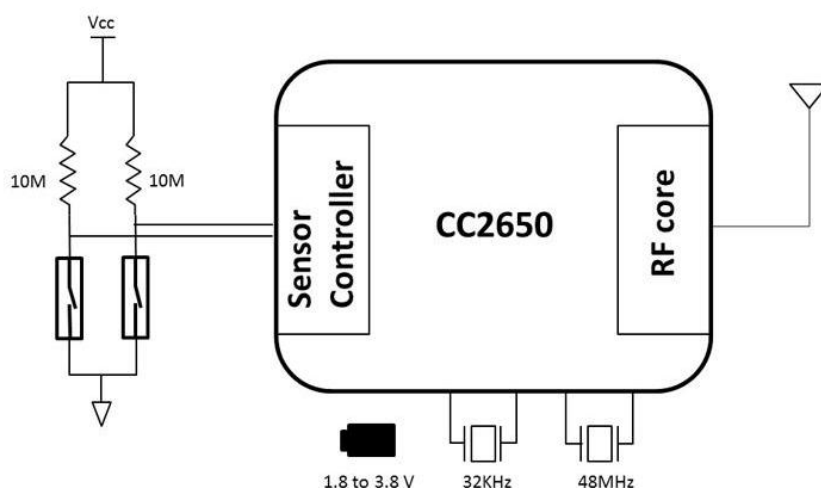
Tendo em mente a estrutura que na qual se espera chegar, será abordado a seguir os equipamentos, infraestrutura e tecnologias disponíveis que permitiria implementar o sistema proposto.

3.1.2 Equipamentos

Tendo em vista a proposta do sistema, o equipamento primário necessário para a implementação seria o medidor de fluxo de água. De forma geral, estes medidores inteligentes são compostos por: um sensor de fluxo, utilizado para medir fluxo de gases e líquidos; o controlador do sensor, responsável por interpretar as informações obtidas do sensor de fluxo; e por fim um módulo transmissor de rádio frequência, responsável por repassar os dados para um dispositivo *smartphone* ou computador. Baseando-se num modelo fornecido pela Texas Instrument (2015). A Figura 2 apresenta um

diagrama que faz uso do microcontrolador modelo CC2650 para a criação de um medidor de fluxo.

Figura 2 - Diagrama de blocos do medidor de fluxo



Fonte: Texas Instrument (2015).

Explicando de forma simplificada, o sensor de fluxo é um componente externo contendo um ímã que gira de acordo com o fluxo que passa. Este ímã aciona um contador que envia os sinais a dois interruptores externos ligados ao controlador e então é feita a contagem do fluxo detectando a direção da rotação do ímã.

Atualmente no mercado já existem algumas soluções do conjunto do hardware medidor do fluxo de água integrado ao hidrômetro, o que facilita a adoção e instalação do equipamento, no entanto para motivos acadêmicos a solução proposta não irá utilizar nenhum dos hardwares já existentes, focando no modelo proposto acima. Na Tabela 1 pode-se observar os principais produtos encontrados atualmente.

Tabela 1 - Medidores de fluxo automatizados existentes

Empresa	Dispositivo	País de origem	Website
GWF	MTK Coder	Suíça	gwf.ch
Neptune	T-10 + E-Coder	Estados Unidos	neptunetg.com
Sensus/Xylem Inc	640C/640MC	Estados Unidos	sensus.com
Kamstrup	flowIQ 2100	Dinamarca	kamstrup.com
Sagemcom	SiConia Water	França	sagemcom.com
Water Group	NUMeter	Austrália	watergroup.com.au

Fonte: Autoria própria.

Além do equipamento medidor, são necessários para a composição do sistema equipamentos capazes de receber os sinais enviados por estes medidores e repassá-los aos dispositivos com maior poder computacional, para então enviá-los para servidores e distribuir a informação através de uma interface amigável com o usuário. Neste sentido é que entra o papel do *gateway*, que é responsável por coletar os dados enviados pelos sensores e repassá-los aos servidores com maior poder computacional. Para este sistema será utilizado um Raspberry Pi 3 Model B (RASPBERRY, 2019) como dispositivo de *gateway*.

Por fim, tem-se o papel do Totem, este pode ser disponibilizado tanto utilizando um *tablet* de baixo custo, como também é possível utilizar um Raspberry Pi 3 Model B que estará ligado a um display LED/LCD. Isso para que possa fornecer fácil acesso da comunidade as informações coletadas nos sensores. Este dispositivo representa uma das partes final do sistema. Para este trabalho será limitado ao escopo da solução por meio de *tablet*.

3.1.3 Tecnologias

Todos os componentes citados na seção anterior devem possuir formas de se comunicar entre si e prover uma forma para os dados chegarem até o usuário final. Para que isso ocorra é preciso entender como o dispositivo medidor de cada residência enviará os dados, com qual protocolo de comunicação ele trabalha, quais são os limites da área de comunicação e como essa informação chegará ao usuário final.

Começando pelo equipamento responsável por executar a medição do fluxo de água, o *water meter*, deve utilizar tecnologia *wireless* (sem fio) para poder enviar os dados coletados. No modelo fornecido pela Texas Instrument por exemplo, utiliza-se a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE). Esta tecnologia proprietária é uma evolução do padrão *bluetooth* (IEEE, 2011) e permite a troca de informações entre dispositivos a uma curta distância levando em conta a menor utilização de energia possível (WOOLLEY, 2019). No entanto será utilizado o padrão 802.15.4 utilizando *6LoWPAN* (SHELBY *et al.*, 2012), que permite criar estrutura de redes mais complexas, o que é de extrema importância para a composição do sistema.

Para o gerenciamento e coordenação da rede serão usados *Border Routers* e o protocolo *RPL* (WINTER *et al.*, 2012), que serão o ponto de acesso em comum de cada nó (ou dispositivo de medição de fluxo de água) conectado na rede. A princípio o

Border Router não exige uma configuração de hardware muito complexa, podendo este ser baseado em um Raspberry Pi 3 Model B.

Estes dispositivos também serão o *Gateway*, criando a conexão com a internet para enviar os dados coletados para um servidor, seja ele na nuvem ou proprietário. Para isso, será necessário um módulo GSM/GPRS (GSM, 2019) capaz de enviar dados via rede celular ou se possível, uma conexão direta via *Ethernet* ou *WiFi* para o envio de dados.

Até aqui, foram apresentadas as tecnologias necessárias para o fluxo de coleta de informações, agora os dados coletados deverão ser retornados para interface de usuário que usarão tecnologias de software e que podem variar de acordo com cada empresa.

Para finalizar, a estrutura do sistema oferece um Totem para acesso da comunidade que não possui acesso fácil a internet ou a um smartphone, permitindo assim que todos tenham acesso a suas informações de consumo de água. Tal equipamento pode também ser composto por um dispositivo Raspberry Pi 3 Model B com acesso a rede de internet por meio de módulo GSM/GPRS e um display LCD/LED ou um *tablet* de baixo custo.

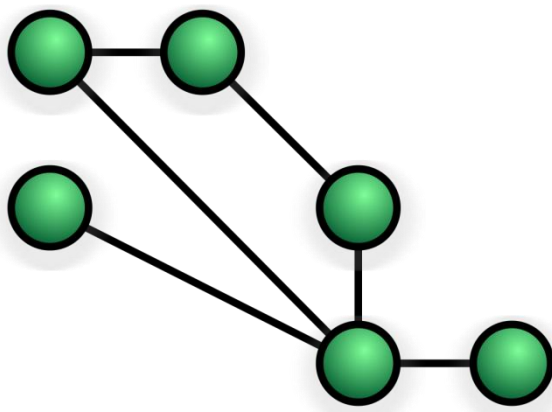
3.1.4 Infraestrutura

Para que todo o sistema funcione será necessário a adequação da infraestrutura e isto envolve adaptações na rede, criação de brokers, servidores e interfaces.

A começar pelo dispositivo medidor, este deverá possuir um endereçamento baseado em IPv6, para a comunicação entre dispositivos IPv6 sobre o padrão IEEE 802.15.4 (IEEE, 2011) e será utilizado o *6LoWPAN*. Este é um padrão desenvolvido pelo grupo IETF, que define uma camada intermediária entre as camadas física e de enlace aplicado a dispositivos de capacidade limitada que permite a compactação do cabeçalho IPv6 e demais pacotes das camadas acima. Além disso é possível aplicar diversas topologias de rede utilizando este padrão.

A topologia escolhida a ser aplicada neste caso será a *Mesh*. Nesta topologia, o conceito de “Nó” será dado a cada dispositivo medidor, com isso será criada uma rede que conecta cada dispositivo vizinho e assim, com os nós cooperando entre si os dados são enviados até o *gateway*. Para se ter uma melhor noção da topologia, a Figura 3, apresenta como é distribuída a rede *Mesh*.

Figura 3 - Rede Mesh



Fonte: Autoria própria.

Para orquestrar esta comunicação deverá ser aplicado um protocolo de roteamento, neste caso o protocolo escolhido será o *RPL*. A escolha deste protocolo ocorre porque é um protocolo para redes de sensores sem fio IPv6 com baixo consumo de energia o que o torna ideal para este caso.

Neste ponto entram os Raspberry Pi 3 Model B, que serão configurados como *Border Routers* implementando o protocolo RPL e como gateway, responsáveis por repassar os dados dos sensores para o servidor da companhia através da internet.

Os servidores por sua vez poderão ser na nuvem ou particulares, contanto que implementem o protocolo de comunicação MQTT-SN. Este protocolo é responsável por efetivamente enviar as informações entre os dispositivos e o servidor e vice-versa (STANFORD-CLARK; TRUONG, 2013).

Para o armazenamento das informações sugere-se a adoção de dois tipos base de dados. Podem ser utilizado bases relacionais para dados estruturados, como informações sobre cada cliente, enquanto para o armazenamento dos dados enviados pelos dispositivos sugere-se utilizar base de dados não relacionais. No entanto, a escolha do tipo de base de dados estará ligada a arquitetura de software escolhida para implementar a solução e pode sofrer alterações.

Por fim, será necessário disponibilizar um Totem para acesso da população, como mencionado no tópico anterior este sendo composto por um Tablet de baixo custo. O importante é que estes aparelhos estejam configurados com acesso a internet e localizados em pontos estratégicos de acesso fácil a população, como por exemplo em Curitiba: ruas da cidadania (que são pequenos polos de serviços municipais

localizados nos bairros da cidade) e terminais de ônibus. É importante que o equipamento esteja protegido contra ações externas.

3.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Nas seções anteriores foi apresentada a ideia geral do sistema, o motivo da importância do mesmo e o que é preciso para criá-lo. Agora será apresentado detalhes de como espera-se que seja o funcionamento do sistema, quais informações se pode obter, como se darão as interações entre as diversas partes que o compõe.

Como exemplificado na Figura 1 da seção anterior, os dispositivos medidores estarão conectados a uma rede *Mesh*, controlada por um dispositivo Raspberry Pi 3 Model B utilizando o protocolo RPL. Este por sua vez atuará como o *Border Router*, criando uma ponte de comunicação com a internet para os dispositivos. Já os dispositivos medidores deverão vir pré-configurado com as informações de rede na qual farão parte e utilizarão o protocolo *mDNS* (CHESHIRE; KROCHMAL, 2013) para se encontrarem e se conectarem a essa rede. Também deverão vir com pré configuração referente a comunicação MQTT-SN, que deverá possuir quais os tópicos serão inscritos e quais os tópicos publicarão, além da identificação de cada dispositivo. Podemos pegar o seguinte padrão como exemplo de tópico MQTT-SN: *companhia/hidrometro/<matricula_consumidor>/consumo*.

O modelo esquemático disponibilizado pela Texas Instrument a solução do medidor consome 11 μA em seu período ativo total, o que inclui leitura do fluxo e envio dos dados. Aliado a um conjunto de quatro baterias CR2032 é possível obter uma duração de 9 anos de funcionamento se o dispositivo ficar ligado durante uma hora direto uma vez ao dia. Isso significa que se preciso o dispositivo pode enviar diversas leituras durante o dia em pequenos intervalos de tempo e manter um consumo energético muito baixo. Na Tabela 2, são apresentados os dados de consumo da solução com as baterias CR2032.

Tabela 2 - Tempo de vida da bateria (em anos)

Número de Células CR2032	Número de horas funcionando em velocidade de rotação máxima por dia										
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2
2	4,7	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,5	2,3
3	6,9	6,6	6,0	5,5	5,1	4,7	4,4	4,1	3,9	3,7	3,5
4	9,2	8,7	7,9	7,3	6,7	6,3	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6

Fonte: Texas Instrument (2015).

Este trabalho propõe a alteração do modelo de bateria pelo CR2477X. Com apenas uma célula CR2477X se obtém 1000 mAh comparado aos 880 mAh obtido com quatro células CR2032 de acordo com especificação disponibilizada pela empresa *Murata Innovation in Electronics* (MURATA, 2019). Desta forma a solução se mantém viável do ponto de vista econômico e ganha mais longevidade de bateria. Uma alternativa possível, seria a instalação de baterias de *Ion Lithium* e pequenos painéis solares nos medidores permitindo a recarga da bateria e uma vida útil muito maior, tendo uma vida útil estimada de aproximadamente 20 anos como no caso da solução adotada pela cidade de Toronto (TORONTO, 2019a).

O objetivo principal do dispositivo se baseia em medir constantemente o consumo sempre que identificar um fluxo corrente. Como mencionado anteriormente o consumo médio identificado em 2017 é de 139,7 litros por habitante por dia, espera-se, portanto, que o dispositivo ficará ligado em sua total capacidade de leitura por um período de aproximadamente 6 horas por dia, sendo assim, com 2 baterias CR2477X por dispositivo medidor carga energética o bastante para aproximadamente 12 anos.

Após o término das medições o dispositivo deverá enviar via MQTT-SN as informações para o *broker*, contudo este envio não precisa necessariamente ser imediato, podendo ocorrer em momentos específicos e em momentos excepcionais caso detectado alguma anomalia na leitura. Uma outra aplicação deverá ser responsável pela interação com os tópicos do *broker*, efetuando a leitura e armazenamento na base de dados dos servidores da companhia.

Uma vez em posse das informações enviadas pelos dispositivos, estas poderão ser disponibilizadas através de aplicações para celulares ou internet, chegando ao fim do ciclo proposto.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Com a implementação do sistema, a companhia responsável pela distribuição de água irá receber os dados referentes a leitura do consumo de cada economia ativa, praticamente em tempo real. Espera-se então uma maior precisão e agilidade para o lançamento das faturas.

Além disso, com o acompanhamento em tempo real é possível criar alertas e avisos para desvios de padrões, sendo possível realizar uma ação mais rápida ao identificar um vazamento, rompimento ou desvio ilegal e assim poder mitigar o problema.

O consumidor também poderá acompanhar de perto o seu consumo (dependendo do caso com um certo atraso) e com isso tomar medidas para controlar melhor as suas despesas, além claro da facilidade para pagamento da fatura e ou reportar qualquer problema quanto ao seu medidor e consumo diretamente pelo aplicativo.

É esperado também uma economia financeira de médio a longo prazo em termos de recursos humanos, uma vez que elimina a necessidade de medição manual. Ainda, com a rapidez em detectar problemas é possível economizar não só recurso hídrico como financeiro ao conseguir tomar medidas rápidas para solucionar a situação alertada.

É possível imaginar que o custo para a implementação do sistema seja alto, por exemplo, segundo dados de cidades como Toronto no Canadá onde há um sistema similar em funcionamento o preço de instalação de um dispositivo de medição inteligente gira em torno de 100 dólares canadenses (TORONTO, 2019a). O projeto ao todo custou 180 milhões de dólares canadenses num período de 6 anos, onde substituiu cerca de 476 mil medidores manuais como aponta o caso de estudo da empresa Neptune (2018), responsável pela implementação.

No entanto, a solução proposta aqui a nível de estudo tem um custo muito mais acessível, em que uma unidade do microcontrolador CC2650 encontra-se na faixa de 4 dólares americanos. Há ainda fatores de compras em maiores quantidades o qual reduzem o valor do produto para até 2,45 dólares. Em tempo, o sistema aqui proposto pode necessitar de ajustes não só em termos de hardware como de infraestrutura e

isso se dará de acordo com cada empresa que for aplicar a solução o que dificulta um orçamento preciso.

O que fica claro no entanto, é que como aponta o caso de estudo de Toronto, a implantação de um sistema como este implica em um retorno anual do investimento muito grande, o que em de médio a longo prazo revela a vantagem na troca do sistema manual (TORONTO, 2019b). Isso pode-se de dizer, que também seria válido para um caso como o adotado por este estudo, o do Paraná. Começando com os custos com recursos humanos que poderiam ser diminuindo, uma vez que a operação manual não seria mais necessária. Isto no entanto, pode ser visto também de forma negativa, já que haveria a possibilidade de diminuição do quadro de colaboradores da empresa. Contudo, como mencionado anteriormente, a rapidez com que se tem os dados de consumo das economias ativas traz vantagem na detecção de problemas, fazendo com que a perda de recurso financeiro e hídrico seja muito menor, sendo possível até agir de forma preventiva.

5 CONCLUSÃO

Como pode ser visto há um grande desperdício de recurso hídrico no Brasil quando se trata de distribuição residencial de água tratada, não apenas isso, mas as empresas responsáveis pela distribuição e conseqüentemente o estado perde muito financeiramente com este problema. Para tentar melhorar esse quadro, foi discutido e apresentado uma forma de aliar a tecnologia emergente da Internet das Coisas para automatizar uma série de processos e entregar de maneira mais rápida e barata informações sobre o consumo de água residencial.

Para isso, foi demonstrado com base em um modelo de hardware proposto pela Texas Instrument, como este teria que interagir e quais as outras partes necessárias para se criar um sistema *Smart Water* brasileiro utilizando como base a cidade de Curitiba mas com o forte intuito de que o mesmo modelo possa ser distribuído para demais regiões do Brasil.

Com a companhia de saneamento/distribuição tendo acesso aos dados de forma mais rápida é possível pensar em formas de melhor conscientização dos seus usuários, pondo em prática medidas como alertas, ao identificar que este está tendo um consumo fora da média, criando assim uma forma de educá-lo na melhor utilização do nosso recurso hídrico e ao mesmo tempo controlar suas despesas.

Esta é uma pequena parte do que o sistema como um todo poderia proporcionar as cidades e ao estado. As aplicações e utilização dos dados podem ir muito além, outros serviços podem ser criados para funcionar junto a estrutura criada, novas automatizações, melhores controles e integrações entre as redes de distribuição até mesmo controles automáticos como o desligamento ou religamento remoto de uma unidade consumidora podem ser pensados e implementados futuramente.

Este parece ser o curso natural do futuro, muitas cidades já estão aplicando em prática sistemas como este. E com o avançar da tecnologia será visto muito mais serviços assim espalhados pelo mundo, que chegam para facilitar a vida dos cidadãos e ao mesmo tempo trazer benefícios que afetam indiretamente o cotidiano das pessoas.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros com base no modelo proposto, pode se pensar na implementação do modelo, a criação de um controle remoto das unidades consumidoras, para que seja possível o desligamento e ligamento sem a

necessidade de intervenção manual e também a gamificação do aplicativo consumidor, ajudando a incentivar o melhor consumo da água. Outros pontos de melhoria estariam ligados a infraestrutura criada, no qual poderia ser usada para a expansão do sistema abrangendo outros serviços oferecidos pela empresa e finalmente como explorar os dados coletados para extrair o máximo de informação estratégica.

REFERÊNCIAS

BROWN, R.; CRIST, R. **The Best smart home devices of 2019**: Here are the smart home products that are most worth your time this year. Copyright© CBS Interactive Inc. Artigo publicado em 02 jan. 2020. Disponível em: <<https://www.cnet.com/news/the-best-smart-home-devices-of-2019-amazon-alexa-google-assistant-apple-homekit-nest-hub-echo-show/>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BUNTZ, B. **The world's 5 smartest cities. IoT World Today**. Copyright© 2019 Informa PLC. Artigo publicado em: 18 mai. 2016. Disponível em: <<https://www.iotworldtoday.com/2016/05/18/world-s-5-smartest-cities>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

CHESHIRE, S; KROCHMAL, M. **Multicast DNS**. Internet Engineering Task Force (IETF), padrão publicado em: fev. 2013. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc6762>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

DESMOND, P. **Big data and IoT promise big changes to agriculture**. The Enterprisers Project. Copyright© 2019 Red Hat, Inc. Artigo publicado em: 22 ago. 2016. Disponível em: <<https://enterprisesproject.com/article/2016/8/big-data-and-iot-promise-big-changes-agriculture>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

GSM. **GSM Spec history**. Copyright© 3GPP 2019. Drafting and publication of GSM Specs. Disponível em: <[https://www.3gpp.org/specifications/gsm-history#outil_sommaire_0"%20class="spip](https://www.3gpp.org/specifications/gsm-history#outil_sommaire_0)>. Acesso em: 16 dez. 2019.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Meio Ambiente. 2008. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 20 set. 2019.

IEEE. **802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)**. Copyright© 2019 IEEE. Padrão *Institute of Electrical and Electronics Engineer* (IEEE), aprovado em: 02 fev. 2011. Disponível em: <https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2011.html>. Acesso em: 04 dez. 2019.

MURATA. **Introduction of operation stability for IoT devices (outdoor application) at high ambient temperature**. Copyright© 2019 Murata Manufacturing Co., Ltd. Disponível em: <https://www.murata.com/~/_/media/webrenewal/products/batteries/micro/appnote/appnote_outdoor_iot.ashx?la=en>. Acesso em: 12 nov. 2019.

NEPTUNE. **The City of Toronto water meter program**: Fixed network deployment leads to expansion in savings and revenue. Copyright© 2018 Neptune Technology Group Inc. Case Study: Toronto, Ontario, 2018. Disponível em: <https://www.neptunetg.com/globalassets/resources/case-studies/17-001349.cs_toronto_0118.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2019.

PETROV, C. **Internet of Things statistics**: The rise of IoT. Copyright© techjuri, artigo publicado em: 22 mar. de 2019. Disponível em: <<https://techjury.net/stats-about/internet-of-things-statistics/>>. Acesso em: 20 set. 2019.

RASPBERRY. **Raspberry Pi 3 Model B**. Copyright© RASPBERRY PI FOUNDATION. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

SANEPAR. **Central de Resultados- Resultados financeiros e operacionais da SANEPAR**: Resultados 2T19. Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Resultados publicados em: 12 ago. 2019a. Disponível em: <<http://ri.sanepar.com.br/divulgacao-e-resultados/central-de-resultados>>. Acesso em: 14 out. 2019.

SANEPAR. **Excesso de consumo e desperdício podem afetar abastecimento**. Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Notícia publicada em: 26 dez. 2013. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/excesso-de-consumo-e-desperdicio-podem-afetar-abastecimento>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

SANEPAR. **Novo sistema de emissão de contas reduz a zero erro no código de barras**. Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Notícia publicada em: 05 mar. 2012. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/novo-sistema-de-leitura-e-emissao-de-contas-reduz-zero-erro-no-codigo-de-barras>>. Acesso em: 16 out. 2019.

SANEPAR. **Sanepar em números**. Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Resultados publicados em: out. 2019b. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/sanepar-em-numeros>>. Acesso em: 11 out. 2019.

SEQUINEL, M.; OLIVEIRA, L. H. **Leiturista da Sanepar conta que visita 350 casas por dia e precisa enfrentar “inimigos de trabalho”**. Portal Banda B, matéria publicada em: 17 abr. 2015. Disponível em: <<https://www.bandab.com.br/geral/leiturista-da-sanepar-conta-que-visita-350-casas-por-dia-e-precisa-enfrentar-inimigos-de-trabalho/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

SHELBY, Z; *et al.* **Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs)**. Novembro de 2012. Documento RFC - Proposed Standard, publicado em: nov. 2012. Disponível em: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc6775/?include_text=1>. Acesso em: 07 nov. 2019.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2017**. Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico anual água e esgoto, publicado em: 13 fev. 2019. **Diagnóstico AE 2017**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 14 out. 2019.

STANFORD-CLARK, A; TRUONG, H. L. **MQTT For Sensor Networks (MQTT-SN). Protocol Specification**. Copyright© 1999 – 2013 International Business Machines Corporation (IBM). Protocol Specification Version 1.2, publicado em: nov. 2013. Disponível em: <http://mqtt.org/new/wp-content/uploads/2009/06/MQTT-SN_spec_v1.2.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

TEXAS INSTRUMENT. **Flow measurement reference design with reed switches and BLE**. Copyright© 1995-2019 Texas Instruments Incorporated. Key Document publicado em: 11 dez. 2015. Disponível em: <<http://www.ti.com/tool/TIDM-BLE-REEDMTR#3>>. Acesso em: 30 out. 2019.

TORONTO. 2019 Water Rates & Fees. Copyright© City of Toronto 1998– 2019, publicado em: nov. 2019b. Disponível em: <<https://www.toronto.ca/services-payments/property-taxes-utilities/utility-bill/water-rates-and-fees/>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

TORONTO. **Water Meters. Your Water Meter & Pipes**. Copyright© City of Toronto 1998– 2019, publicado em: nov. 2019a. Disponível em: <<https://www.toronto.ca/services-payments/water-environment/your-water-pipes-meter/water-meters/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

TRATA BRASIL. **Perdas de Água**: Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. Publicado em: mai. 2018. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/perdas-de-agua-desafios-para-disponibilidade-hidrica-e-avanco-da-eficiencia-do-saneamento-basico/>>. Acesso em: 20 set. 2019.

VERMESH, M.; *et al.* **Guidance notes on apparent losses and water loss reduction planning**. Copyright© 2019 pS-Eau. Publicado em: 13 set. 2016. Disponível em: <https://www.pseau.org/outils/ouvrages/wlranda_free_guidance_notes_on_apparent_losses_water_loss_reduction_planning_2016.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019.

WINTER, T; *et al.* **RPL**: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks. Internet Engineering Task Force (IETF), padrão publicado em: mar. 2012. **RFC 6550** Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc6550>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

WOOLLEY, M. **Bluetooth 5**: Go Faster. Go Further. Copyright© 2019 Bluetooth SIG, Inc. Disponível em: <https://3pl46c46ctx02p7rzdsvsg21-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/03/Bluetooth_5-FINAL.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.