

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

WAGNER DE ANCHIETA MARQUES

**SISTEMA DE MEDIÇÃO INTEGRADA E
MONITORAMENTO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO**

NITERÓI – RJ
OUTUBRO/2018

WAGNER DE ANCHIETA MARQUES

**SISTEMA DE MEDIÇÃO INTEGRADA E
MONITORAMENTO RESIDENCIAL DE BAIXO CUSTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, PPGEET, da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

Orientador: Prof. DSc Vitor Hugo Ferreira

Coorientador: Prof. DSc Henrique de Oliveira Henriques

NITERÓI – RJ
OUTUBRO/2018

WAGNER DE ANCHIETA MARQUES

**SISTEMA DE MEDIÇÃO INTEGRADA E MONITORAMENTO RESIDENCIAL DE
BAIXO CUSTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações.

Área de concentração: Sistemas de Energia Elétrica

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vitor Hugo Ferreira - Orientador
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Henrique de Oliveira Henriques - Coorientador
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Marcio Zamboti Fortes
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Leonardo Willer de Oliveira
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF

Niterói
(outubro/2018)

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE

M357s Marques, Wagner de Anchieta
Sistema de medição integrada e monitoramento residencial
de baixo custo / Wagner de Anchieta Marques ; Vitor Hugo
Ferreira, orientador ; Henrique de Oliveira Henriques,
coorientador. Niterói, 2018.
101 f.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Niterói, 2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGEET.2018.m.13607764786>

1. Smart grid. 2. Medição inteligente. 3. Medição de
energia elétrica, água e gás. 4. Monitoramento de consumo.
5. Produção intelectual. I. Título II. Ferreira, Vitor Hugo
, orientador. III. Henriques, Henrique de Oliveira,
coorientador. IV. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia.

CDD -

*Dedico à minha família, de modo especial
aos meus pais pelo seu apoio imensurável e
ao meu avô Antonio Moraes de Anchieta
que apesar de ter partido, ainda vive na
minha memória, onde ainda guardo as suas
manifestações de carinho desde a minha infância.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força e amparo, sobretudo nos momentos mais difíceis, os quais eu sabia que sozinho jamais conseguiria vencê-los e por ter me agraciado por uma família tão amorosa.

Agradeço a minha incrível família que sempre esteve ao meu lado. Um agradecimento especial aos meus pais Severino do Ramo Marques e Catia Santos de Anchieta Marques pelo seu apoio incondicional nas minhas escolhas durante a minha vida acadêmica e profissional, e que mesmo diante das dificuldades, sempre prezaram por uma educação exemplar para com seus filhos. Aos meus pais, eu sinceramente espero algum dia, poder retribuir à altura todo o esforço que despenderam ao longo dos anos durante minha formação e criação.

Agradeço ao professor Vitor Hugo que nos últimos anos da minha graduação e durante minha pós-graduação desempenhou o papel de tutor e mentor, e que tem forte influência na minha formação acadêmica e profissional. Também gostaria de agradecê-lo por me confiar ao projeto que originou este trabalho e por tantos outros que pude realizar atuando como aluno integrante do PET-Elétrica UFF.

Ao professor Henrique Henriques que aceitou o convite para me coorientar no desenvolvimento do presente trabalho e por sua motivação em sugerir e propor novas ideias.

“Não creio que haja uma emoção, mais intensa para um inventor do que ver suas criações funcionando. Essa emoção faz você esquecer de comer, de dormir, de tudo.”

Nikola Tesla

RESUMO

No contexto das *smart grids*, a medição inteligente possui um papel de destaque, e a partir dela, uma série de benefícios podem ser alcançados. Pela ótica das concessionárias, operações como leitura, corte e religamento podem ser efetuados remotamente; além de viabilizar ações de eficiência energética e combate às perdas não técnicas. Pela ótica do consumidor, benefícios como informações em tempo real do consumo e maior confiabilidade na leitura, entre outros, podem ser obtidos.

Entretanto, o avanço da implementação da medição inteligente não tem correspondido às expectativas, sendo impedida por alguns desafios. Um desses principais desafios é o elevado custo dos medidores e da infraestrutura necessária para dar suporte à medição inteligente.

Nesse sentido, este trabalho motivado pelos benefícios e desafios citados, e com a proposta de expandir a medição inteligente para os demais insumos como água e gás, apresenta o desenvolvimento de um sistema de medição integrada de baixo custo para residências.

Desta forma, além do consumidor poder acompanhar em tempo real o consumo dos insumos energéticos de sua residência, todas as concessionárias envolvidas são beneficiadas com a possibilidade de realizarem leitura e demais funcionalidades para seus respectivos serviços.

ABSTRACT

In the context of smart grids, smart metering plays a prominent role, and from it a number of benefits can be achieved. From the utilities' point of view, operations such as reading, cutting off and reclosing can be carried out remotely; besides enabling energy efficiency actions and combating non-technical losses, and other benefits. From consumer's perspective, benefits such as real-time consumption information and greater reliability in reading can be obtained.

However, the implementation of smart metering is not falling short of energy sector's actors and it is prevented by some challenges. One of these main challenges is the high cost of meters and the infrastructure required to support intelligent metering.

In this sense, this study - motivated by the benefits and challenges cited, and with the proposal to expand the smart metering for the other inputs such as water and gas - describes the development of a low-cost measurement system for homes. In this way, the system intends to take the benefits of smart metering for water and gas as well.

In consequence, the consumer will be able to monitor their consumption in real time and the whole utilities involved are benefited with the possibility of performing remote reading, cutting off and reclosing of their respective services.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura do sistema de medição integrada	46
Figura 2 - Módulos principais para residência com três medidores	47
Figura 3 - ESP8266 Modelo ESP-01	49
Figura 4 - Esquema de conexão do módulo principal com medidor de energia	53
Figura 5 - Esquema de conexão do módulo principal com medidores de água e gás.....	54
Figura 6 - Circuito eletrônico para módulo principal.....	54
Figura 7 - Circuito eletrônico para módulo central	56
Figura 8 - Exemplo de requisição HTTP.....	57
Figura 9 - Exemplos de dados segundo o formato query string	58
Figura 10 - Exemplo de resposta HTTP	59
Figura 11 - Interação entre módulo central e banco de dados	62
Figura 12 - Fluxograma do script.....	63
Figura 13 - Exemplo de dados no formato JSON	64
Figura 14 - Protótipo com arranjo para testes	66
Figura 15 - Conexão do módulo com a rede wi-fi local.....	67
Figura 16 - Consulta mDNS e configuração de novo módulo principal (parte 1)	68
Figura 17 - Configuração de novo módulo principal (parte 2).....	69
Figura 18 - Módulo central recebendo a ID e o consumo de um módulo	69
Figura 19 - Módulo central recuperando dados do banco de dados.....	70
Figura 20 - Banco de dados (aba Dados).....	71
Figura 21 - Banco de dados (aba Histórico)	72
Figura 22 - Tela inicial (à esquerda) e de dados (à direita) do aplicativo.....	73
Figura 23 - Visão geral do ensaio	75
Figura 24 - Visão detalhada do medidor	75
Figura 25 - Fluxograma da programação para o módulo principal	97
Figura 26 - Fluxograma da programação para o módulo central.....	98
Figura 27 - Fluxograma da programação para o aplicativo	99
Figura 28 - Gráfico do consumo	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro comparativo das tecnologias de comunicação em redes sem fio domésticas	44
Tabela 2 - Cronograma e cargas do ensaio	74
Tabela 3 - Custo do sistema de medição	76
Tabela 4 - Custo por módulo	77
Tabela 5 - Tabela comparativa entre modelos disponíveis no mercado nacional e o sistema desenvolvido	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGENERSA	Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMM	Advanced Meter Management
AMR	Automated Meter Reading
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AnyPLACE	Adaptable Platform for Active Service Exchange
ARSAE-MG	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
ARSESP	Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIC	Duração de Interrupção por Consumidor
DMIC	Duração Máxima de Interrupção por Consumidor
DNS	Domain Name System
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
FIC	Frequência de Interrupção por Consumidor
GLD	Gerenciamento pelo Lado da Demanda
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
INESC TEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores
IP	Internet Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
MDM	Meter Data Management
mDNS	Multicast Domain Name System
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PLC	Power Line Communication
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
UART	Universal Synchronous Receiver/Transmitter
URI	Uniform Resource Identifier
WPS	Wi-Fi Simple Config
WSN	Wireless Sensor Networks

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivo	15
1.2 Motivação e justificativa	16
1.3 Produção científica.....	21
1.4 Estrutura da dissertação	21
2. SISTEMA DE MEDIÇÃO INTELIGENTE APLICADO A RESIDÊNCIAS	22
2.1 Conceitos relacionados à medição inteligente	22
2.2 Estado da arte da medição inteligente em sistema de medição integrada ...	23
3. MEDIÇÃO PARA FATURAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA, ÁGUA E GÁS.36	
3.1 Análise das interfaces de comunicação dos medidores.....	36
3.1.1 Medidores de energia elétrica.....	37
3.1.2 Medidores de água (hidrômetros).....	38
3.1.3 Medidores de gás	39
3.2 Escolha da interface de comunicação para o sistema de medição	40
4. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO EM REDES SEM FIO DOMÉSTICAS ...	42
4.1 Wi-Fi.....	42
4.2 Bluetooth	42
4.3 ZigBee.....	43
4.4 Z-Wave	43
4.5 Comparativo entre as tecnologias de comunicação	44
5. ARQUITETURA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO INTEGRADA.....	45
5.1 Módulo Principal.....	45
5.2 Módulo Central.....	47
5.3 Banco de dados	48
5.4 Aplicativo.....	48
6. DESENVOLVIMENTO	49
6.1 Implementação da tecnologia wi-fi no sistema de medição	49
6.1.1 Módulo wi-fi ESP8266 ESP-01	49
6.2 Módulo Principal.....	51
6.2.1 Leitura do consumo via saída de pulso	51

6.2.2 Corte e religamento remoto	51
6.2.3 Programação do microcontrolador.....	52
6.2.4 Esquemas elétricos e circuitos eletrônicos	53
6.3 Módulo Central.....	55
6.3.1 Programação do microcontrolador.....	55
6.3.2 Circuito eletrônico	56
6.4 Interação entre o módulo principal e o módulo central.....	56
6.4.1 Modelo de comunicação.....	56
6.4.2 Protocolos.....	57
6.4.3 Sistema de identificação dos módulos.....	60
6.5 Banco de dados	61
6.6 Interação entre módulo central e o banco de dados	62
6.7 Aplicativo.....	64
7. RESULTADOS	66
7.1 Conexão com a rede wi-fi local	66
7.2 Comunicação entre o módulo principal e módulo central.....	68
7.3 Comunicação entre o módulo central e banco de dados	70
7.4 Aplicativo.....	72
7.5 Ensaio de funcionamento do sistema de medição com carga	74
7.6 Custos do projeto	76
8. CONCLUSÃO.....	80
8.1 Trabalhos futuros	81
BIBLIOGRAFIA.....	82
APÊNDICE A	97
APÊNDICE B	98
APÊNDICE C	99
APÊNDICE D	100

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os sistemas de energia elétrica (SEE) em geral vêm passando por transformações tecnológicas, que tendem a se tornar cada vez mais significativas. Tais transformações consistem na modernização das tecnologias de geração, transmissão, distribuição e de uso final da energia elétrica [1].

Pode-se atribuir a essa modernização dos SEEs fatores que vão desde impactos ambientais e eficiência energética até a possibilidade de permitir que o usuário final tenha maior participação no planejamento e operação do sistema [1]. Esse novo sistema é denominado de *Smart Grid* ou Redes Inteligentes [2] - [4].

O termo *smart grid* deve ser entendido não como um equipamento ou tecnologia específica, mas sim como uma nova concepção dos SEEs. Em uma *smart grid*, o monitoramento e controle da rede elétrica estão baseados no uso intensivo de tecnologia de automação, computação e comunicação [2]. Essas tecnologias têm como propósito permitir que ações de controle e otimização possam ser executadas de forma mais eficiente que nas redes elétricas tradicionais.

Através das microrredes inteligentes, a implementação das *smart grids* proporciona para as redes de distribuição de baixa tensão expressivos avanços tecnológicos. As microrredes podem ser entendidas como um conjunto de cargas e geração distribuída, que se comportam do ponto de vista externo, como uma única unidade controlada operando conectada à rede elétrica ou isolada (também chamada de ilha no caso de falhas no sistema de distribuição ou transmissão) [5]. As microrredes também podem ser vistas como elementos construtivos das *smart grids* [6].

Nas *smart grids*, quando a aplicação intensiva das tecnologias de automação e telecomunicações ultrapassa os limites dos equipamentos presentes na rede elétrica e chega ao interior das residências, estas são denominadas de *Smart Homes*. O termo *smart home* é utilizado para designar uma casa que integra sistemas de automação com o objetivo de monitorar e controlar dispositivos eletrônicos, que por sua vez são capazes de se comunicar com outros dispositivos [7], [8].

Portanto, a *smart home* distingue-se de uma residência automatizada pela sua habilidade de integrar e comunicar os diferentes sistemas automatizados [9], permitindo, por exemplo, que seus usuários gerenciem os recursos da casa.

Uma das características mais interessantes das *smart grids* é a sua capacidade de estabelecer um fluxo bidirecional de energia e informação pelos diferentes segmentos físicos da rede elétrica (geração, transmissão e distribuição) [10], devido a inserção da geração distribuída e a presença das tecnologias de telecomunicações na rede.

A bidirecionalidade no fluxo de informações pode ser considerada como um dos pontos chaves dos benefícios proporcionados pelas *smart grids*. É possível, por exemplo, que a concessionária seja capaz de solucionar problemas relacionados a controle de nível de tensão em pontos da rede com elevada concentração de geração distribuída [11] ou ainda, detectar e responder aos problemas da rede de média tensão, de modo a evitar ou atenuar prejuízos causados pela interrupção do fornecimento [12]. Também pode permitir que os consumidores acompanhem em tempo real seu consumo e o posto tarifário corrente, entre outros benefícios [13].

No contexto das *smart grids*, o consumidor residencial pode ter um papel mais ativo nos processos de planejamento e operação da rede, se os seus equipamentos e comportamento de consumo forem considerados [1], [2]. Pode-se estimular a aplicação de técnicas de eficiência energética tais como Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) e deslocamento de cargas nos horários de pico, e ainda propiciar aplicação de conceitos como: preço em tempo real e novos modelos tarifários (postos tarifários) [13]. Para isso, um elemento é considerado fundamental para alcançar tais objetivos, sendo denominado de Medidor Inteligente (*smart meter*, em inglês).

O medidor inteligente é um dispositivo eletrônico de medição de energia elétrica, com funcionalidade ampliada em relação aos tradicionais medidores eletromecânicos, e que possuem capacidade de comunicação bidirecional [1], [2]. É a partir dessa comunicação de dupla via, que as *smart homes* conseguem estabelecer um canal de troca de informações com o mundo externo. Isso torna possível, por exemplo, que as concessionárias reduzam custos e agilizem o processo de geração de fatura, e o usuário final visualize o valor da energia consumida em tempo real [14], [15], o que juntamente com a proposta de um novo

sistema tarifário com diferentes faixa de valores ao longo do dia, permite que o consumidor tenha economia na sua fatura de energia [13]. Em uma *smart home*, os equipamentos elétricos podem conter recursos de controle capazes de alterar sua demanda em função de sinais de preço ou do posto tarifário [7].

Portanto, diante do que foi exposto, verifica-se no contexto das *smart grids*, que os medidores inteligentes desempenham um papel de destaque no que tange aos benefícios proporcionados não apenas aos consumidores, mas também as concessionárias de energia.

Além disso, a aplicação da medição inteligente não precisa necessariamente estar restrita a sistemas de energia elétrica, mas também pode ser estendida a outros insumos, tais como água e gás. Uma *smart grid* ou *smart home* que é capaz de atuar e explorar os pontos comuns relativos ao fornecimento e consumo de energia elétrica, água e gás, pode potencializar os benefícios da implementação da medição inteligente para os consumidores, e ainda estendê-los para as concessionárias de água e gás.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de medição integrada de energia elétrica, água e gás de baixo custo. Pretende-se com o sistema de medição integrada, proporcionar os benefícios da medição inteligente não apenas para a concessionária de energia elétrica, mas também estendê-los para as companhias de água e gás.

Pelo lado do consumidor, considerando ainda o contexto atual, onde a sociedade brasileira paga por uma das mais caras tarifas de energia elétrica do mundo [16] e está cada vez mais preocupada com o uso racional da água, torna-se importante oferecer aos consumidores, ferramentas e meios que permitam o uso consciente desses recursos.

A integração da medição dos insumos de uma residência, a partir de uma única plataforma permite que os usuários possam além de usufruir dos benefícios da medição inteligente, possam facilmente acessar as informações de consumo, de modo a tornar a gestão dos recursos da habitação mais conveniente e eficiente.

Portanto, o sistema de medição descrito neste trabalho visa permitir que os usuários acompanhem em tempo real, através de um dispositivo *Android*, o consumo

de energia elétrica, água e gás da residência, além de obter uma estimativa do custo mensal de cada um dos recursos citados.

1.2 Motivação e justificativa

A partir dos benefícios e dos desafios da medição inteligente, conforme é apresentado a seguir, vistos pela ótica da concessionárias e do consumidor, é possível compreender as motivações e justificativa deste trabalho.

Do ponto de vista da concessionária, a medição inteligente oferece uma série de benefícios tais como:

- **Leitura remota:** com a possibilidade de coletar remotamente a leitura dos medidores, a concessionária pode eliminar a necessidade de leiturista, o que representa mais agilidade no processo de geração de fatura (maior rapidez na coleta) e economia com pessoal de campo. O fato da leitura ser realizada eletronicamente também contribui para uma melhor confiabilidade da coleta, pois elimina a possibilidade do erro humano no momento da leitura, beneficiando tanto a concessionária quanto o consumidor [15], [17], [18].
- **Corte e religamento remotos:** no caso de inadimplência ou de quitação da fatura por parte do consumidor, a concessionária pode realizar ações de suspensão e restabelecimento do fornecimento de forma remota. Desse modo, mais uma vez é possível eliminar o custo da mão-de-obra e do deslocamento de uma equipe de campo, além da vantagem de tornar esse procedimento mais ágil. Devido à natureza, da execução de suspender a energia de alguns consumidores, que eventualmente podem residir em áreas consideradas violentas ou perigosas devida à falta de segurança pública nessa localidade, tal ação pode representar risco à segurança da equipe de campo [17], [18]. Dessa forma, a suspensão remota pode representar uma questão de segurança para com os funcionários da companhia [19].
- **Aplicação da tarifa dinâmica:** a tarifa dinâmica é uma metodologia de tarifação em que o valor da energia varia ao longo de diferentes períodos, podendo ser diários, semanais ou sazonais. Desta forma, a concessionária pode incentivar seus clientes a reduzir seu consumo de

energia nos horários em que há maior demanda solicitada do sistema elétrico. No Brasil, uma modalidade de tarifação dinâmica aprovada pela ANEEL é a Tarifa Branca. Nessa modalidade, o valor da energia varia conforme o dia da semana e o horário do consumo, e será oferecida de forma escalonada aos consumidores atendidos em baixa tensão, a partir de 1º de janeiro de 2018 [20]. Por conta da redução da demanda, é possível contribuir para redução das perdas e dos custos de operação do sistema elétrico [13], [21].

- Eficiência energética: medidores inteligentes e sistemas de gerenciamento de energia são importantes ferramentas para estudos de eficiência energética, pois permitem que os dados sejam coletados e apresentados, por exemplo, em função das horas do dia e de postos tarifários [22]. A partir dessas informações, técnicas de GLD podem ser aplicadas de modo que diversos objetivos possam ser alcançados na curva de carga do sistema, como por exemplo: deslocamento de cargas, redução de pico, entre outros, proporcionando assim o adiamento da expansão da rede de distribuição e tornando a operação mais econômica, uma vez que reduz a demanda máxima do sistema [23], [24].
- Combate às perdas não técnicas: A medição inteligente por si só não garante a eliminação completa das perdas não técnicas na rede de baixa tensão. No entanto, pode ser uma ferramenta eficaz na identificação e redução de furto e fraudes de energia elétrica. Por conta do link de comunicação entre concessionária e medidor, este último pode ser instalado fora do alcance dos clientes, dificultando sua violação que é uma das formas mais comuns de furto de energia [25], [26].

Do ponto de vista do consumidor, a medição inteligente proporciona uma série de benefícios tais como:

- Informações em tempo real: devido à comunicação bidirecional do medidor inteligente, os consumidores podem acompanhar em tempo real diversas informações, como exemplo cita-se: valor (kWh) e custo

da energia consumida (em reais), além do custo estimado mensal [13], [24].

- Confiabilidade na leitura e faturamento mais detalhado: também devido à comunicação bidirecional e a leitura automática do medidor inteligente, os consumidores podem esperar mais confiabilidade nas informações contidas na fatura, devido a menor interferência humana no processo de faturamento e acompanhamento do seu consumo ao longo do mês [13], [18].
- Geração distribuída: As resoluções N° 482/2012 e N° 687/2015 da ANEEL permitem ao mini e micro gerador de energia, se conectar à rede de distribuição e quando a geração for maior do que o consumo, o cliente pode receber créditos de energia. Nesse processo, o medidor inteligente tem a função de contabilizar essa energia, que passa a ter um fluxo bidirecional, ou seja, de concessionária para cliente e vice-versa [27], [28].
- Eficiência energética: se por um lado as concessionárias são beneficiadas com ações de eficiência energética, pois podem adiar investimento de expansão da rede, os consumidores podem ser beneficiados com economia na conta de energia, através da aplicação das técnicas de GLD [23], [24].
- Veículos elétricos: quando essa tecnologia estiver mais difundida no Brasil, os consumidores poderão programar a carga e descarga do veículo [24].

Pela ótica da concessionária, os principais desafios a serem superados para implantação da medição inteligente são:

- Custo do medidor inteligente: Devido ao elevado preço do medidor inteligente, seu custo de compra possui forte impacto na viabilidade econômica em projetos de medição inteligente [29], [30]. De fato, em [31], os autores mostram que no projeto de medição apresentado no referido trabalho, o custo de compra do medidor inteligente pode representar até 80% dos custos anuais ao longo do processo de substituição dos medidores tradicionais por inteligentes. Além do custo

de compra do medidor, as concessionárias precisam lidar com os custos relativos à manutenção e instalação dos medidores inteligentes e valor não depreciado dos medidores substituídos [31].

- Infraestrutura de medição: a implantação da medição inteligente não se limita à instalação de medidores inteligentes, mas também exige investimentos em infraestrutura de medição. Essa infraestrutura, além de coletar dados dos medidores, precisa gerenciar e armazenar grandes quantidades de dados e ainda garantir a segurança dos mesmos [30], [32]. No entanto, tal infraestrutura também envolve elevados investimentos por parte das concessionárias [30], [33], e por isso, ao implantar a medição inteligente, algumas distribuidoras optam por, em vez de investir na sua própria rede de telecomunicações, firmar parceria com operadoras de telefonia ou internet para que forneçam o suporte necessário para a transmissão de dados dos medidores [34].

Pela ótica do consumidor, os principais desafios a serem superados com a implantação da medição inteligente são:

- Receio por aumento na conta de energia: a introdução de um novo modelo de medição de energia pode levar o consumidor a pensar que ele irá arcar sozinho com os custos relativos ao novo medidor. E por isso, poderá haver aumento na conta de energia após a instalação do medidor inteligente [35], [36]. Na verdade, o que a ANEEL estabelece por meio da Resolução Normativa 502/2012, é que os consumidores que aderirem à modalidade tarifária branca não serão onerados pela instalação do sistema de medição [37]. No entanto, para os clientes que desejam obter informações além do valor de energia ativa consumida acumulada por posto tarifário e a identificação do posto tarifário corrente, deverão arcar com a diferença de custo entre o sistema de medição mais completo e o sistema de medição da tarifa branca [37]. Eventualmente, alguns clientes podem até observar aumento na conta de energia, mas na verdade, isso irá ocorrer apenas nos casos em que previamente, o cliente era cobrado por um valor

menor do que o real, devido a erro humano durante o processo de leitura e faturamento manual [38], [36].

- Segurança das informações dos clientes: uma vez que os dados de consumo enviados pelos medidores inteligentes podem indicar a presença ou não de pessoas na residência, é plausível que os clientes fiquem preocupados com a segurança não só dos seus dados pessoais, mas também de quem tem acesso aos dados coletados pelos medidores inteligentes [35], [36].
- Corte de empregos no setor: dado que na medição inteligente, a coleta da leitura dos medidores (tradicionalmente feita por leiturista) e a maior parte do processo de faturamento se tornam automatizados, membros da sociedade podem apresentar resistência à adoção do novo modelo de medição, por receio de corte de empregos ou redução das oportunidades em atividades correlacionadas [35], [36].
- Mudança de hábitos do consumidor: com a implantação das tarifas diferenciadas por faixa horárias, o consumidor deverá ficar atento principalmente nos horários em que a tarifa de energia é mais cara. Pois, ainda que a escolha de ser tarifado por essa modalidade seja uma decisão tomada por parte do cliente, se o mesmo não conseguir se adaptar a esse novo sistema tarifário, eventualmente, seu consumo mensal pode ser maior do que o esperado. Portanto, o consumidor que optar por essa modalidade tarifária precisa estar disposto a mudar seus hábitos [23].

Portanto, os benefícios e os desafios proporcionados pela medição inteligente aos consumidores e concessionárias representam as motivações deste trabalho.

Conforme foi mencionado anteriormente, o custo do medidor inteligente ainda é elevado, e pode ser considerado como um dos principais obstáculos para a expansão da medição inteligente.

Nesse sentido, o sistema de medição de baixo custo desenvolvido neste trabalho pode representar uma alternativa interessante para implantação da medição inteligente por parte das companhias de energia elétrica, água e gás; sobretudo no que diz respeito à implementação da leitura, corte e religamento remotos.

1.3 Produção científica

A produção científica associada a este trabalho foi publicada nos anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2018 (SBSE 2018) [39].

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O capítulo 1 apresenta a contextualização deste trabalho, além dos objetivos e motivação.

O capítulo 2 apresenta o estado da arte da medição inteligente de sistema medição integrada.

O capítulo 3 disserta sobre alguns aspectos relacionados com a medição para faturamento de energia elétrica, água e gás.

O capítulo 4 disserta sobre as principais tecnologias de comunicação em redes sem fio domésticas.

O capítulo 5 trata da arquitetura do sistema de medição integrada desenvolvido.

O capítulo 6 trata dos aspectos relacionados ao desenvolvimento do sistema de medição integrada.

O capítulo 7 descreve os resultados práticos obtidos com a implementação dos aspectos tratados no capítulo 6.

Por fim, o capítulo 8 descreve as conclusões deste trabalho, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

2. SISTEMA DE MEDIÇÃO INTELIGENTE APLICADO A RESIDÊNCIAS

2.1 Conceitos relacionados à medição inteligente

Dentro do contexto da medição inteligente alguns termos importantes são frequentemente encontrados na literatura. Por conta disso, antes de apresentar o estado da arte da medição inteligente em sistemas de medição integrada, serão explorados conceitos como Leitura Automática do Medidor (*Automated Meter Reading* – AMR), Infraestrutura de Medição Avançada (*Advanced Metering Infrastructure* – AMI), Gerenciamento Avançado do Medidor (*Advanced Meter Management* – AMM) e Gerenciamento de Dados do Medidor (*Meter Data Management* – MDM).

AMR é considerada a primeira tecnologia de medição implantada nas redes elétricas de distribuição. É caracterizado por ser um sistema de coleta de dados com comunicação unidirecional, onde os medidores enviam as leituras para os centros de medição da concessionária. Ainda que suas funcionalidades sejam limitadas, o sistema AMR torna o processo de faturamento mais ágil e confiável, pois ao dispensar a necessidade de leiturista o sistema elimina o erro humano nesse processo, além de proporcionar economia com equipe de campo [2], [15].

Diferentemente do AMR, o sistema AMI proporciona comunicação bidirecional entre o medidor e o centro de medição da concessionária. Pelo fato de ser capaz de atuar não apenas no processo de faturamento, mais também nos dispositivos da residência, em razão da sinalização da tarifa ou por controles das técnicas de GLD, além de disponibilizar o consumo em tempo real, o sistema AMI é considerado uma evolução do AMR [13]. Essa evolução decorre do fato de que AMI não se trata apenas de uma tecnologia particular, mas sim de uma infraestrutura que integra diversas tecnologias para alcançar os objetivos desejados [18], [40]. Portanto, um sistema AMI não se limita a aplicações em redes elétricas, mas também em redes de água e gás.

O termo AMM refere-se a um sistema de gerenciamento e controle de medidores o qual permite que a concessionária tome ações diretamente sobre o medidor inteligente. Além de poder englobar as funcionalidades dos seus sistemas

predecessores, esse sistema permite à concessionária realizar ações de suspensão e religamento remoto, o que por sua vez representa menor atuação da equipe de campo, gerando economia para a concessionária [14], [15].

O sistema MDM representa o que há de mais avançado em termos de funcionalidades no contexto da medição inteligente. Além de agregar as características dos sistemas citados anteriormente, nele é possível adquirir dados complementares, tais como fator de potência, duração de interrupção por consumidor (DIC), frequência de interrupção por consumidor (FIC) e duração máxima de interrupção por consumidor (DMIC) [13], [15].

2.2 Estado da arte da medição inteligente em sistema de medição integrada

A proposta de desenvolver um sistema de medição capaz de integrar medições de energia elétrica, água e gás surgiu a partir de um projeto similar desenvolvido na Europa, mais precisamente em Portugal, realizado em parceria com universidades e empresas portuguesas, alemãs e austríacas. Entre outros objetivos, tal projeto visa à implementação da telemetria de medidores e permitir que a população tenha acesso a informações mais detalhadas sobre seu consumo, de modo a possibilitar ao consumidor conhecer as horas do dia em que mais consome e aquelas em que pode usar eletricidade a um preço mais favorável [41].

Ao todo, existem sete parceiros neste projeto: a Universidade Técnica de Viena (Áustria), a Universidade de Ciências Aplicadas Ostwestfalen-Lippe (Alemanha), o JRC, Joint Research Centre European Commission, a EFACEC Energia, Máquinas e Equipamentos Elétricos S.A. (Portugal), a Power Plus Communications AG (Alemanha), a BOSCH Termo tecnologia, S.A. (Portugal) e a Kreis Lippe der Landrat (Alemanha).

Esses parceiros compõem o consórcio europeu AnyPLACE (Adaptable Platform for Active Service Exchange), liderado pelo Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto (INESC TEC) [41].

Esse projeto é chamado de InovGrid e atualmente iniciou a primeira fase de trabalhos, que consiste na análise dos comportamentos energéticos nos três países envolvidos no consórcio: Alemanha, Áustria e Portugal. Após a análise, a plataforma será testada em laboratório com base nos resultados obtidos e, no final haverá uma

demonstração na Alemanha que contará com a participação de 15 a 20 consumidores [42].

A meta do projeto InovGrid é de até 2020 ter metade das residências de Portugal com o medidor inteligente instalado. O projeto estima que os medidores inteligentes, chamados de Energy Box no projeto, proporcionem uma economia de até 15% aos consumidores. O Energy Box pretende de forma automática e com baixo custo (cerca de € 100,00), interagir com sistemas de medição dos maiores fornecedores de eletricidade, água e gás, rentabilizando todas as tarifas e trazendo benefícios para o consumidor final. Nesse projeto a instalação dos medidores inteligentes é de responsabilidade da distribuidora EDP Distribuição [42].

Em termos práticos, o medidor inteligente é um gestor de energia capaz de integrar a informação de todos os medidores, mostrá-las ao consumidor e permitir que escolham o perfil mais econômico.

O consórcio AnyPLACE conta com um financiamento de 2,97 milhões de euros, dos quais 2,44 milhões de euros oriundos do programa de financiamento europeu da investigação e inovação Horizonte 2020 - H2020.

O Horizonte 2020 é o maior programa de pesquisa e inovação da União Europeia (UE). Sua função é conduzir a mais descobertas, avanços e lançamentos mundiais transferindo ideias inovadoras dos laboratórios para o mercado. Cerca de 80 bilhões de euros de financiamento estão disponíveis ao longo de sete anos (2014 a 2020), além do investimento privado e público nacional que o financiamento disponibilizado pela UE atrairá [43].

Segundo os responsáveis pelo projeto, além de oferecer uma solução mais atrativa em termos de custo/benefício para o consumidor final, integrando a medição remota de vários recursos energéticos, a plataforma do Energy Box permite gerenciar e controlar mais ativamente as redes elétricas, ajudando a mitigar problemas operacionais relacionados com a variabilidade na produção de energia a partir de fontes renováveis. Imaginando que haja um excedente na produção de energia eólica, provocando redução do custo da energia, a plataforma do Energy Box recebe a informação de preço em tempo real e, de acordo com o perfil de utilização, atua sobre os dispositivos domésticos de modo a aproveitar essa tarifa.

Outra vantagem da plataforma é o fato de ser modular e poder ser adaptada a qualquer residência, independentemente das tecnologias já existentes. Com as

informações obtidas a partir da plataforma, o consumidor poderá realizar alterações contratuais de potência, ou tarifação sem a necessidade de deslocamento de pessoal especializado. O cliente poderá ainda consultar a análise do seu padrão de consumo ou fazer simulações de ciclos horários, sendo até possível a programação de avisos automáticos em função de parâmetros definidos por ele mesmo [41].

Para os clientes com microgeração distribuída, o Energy Box permitirá a consulta de balanços energéticos da residência, sendo possível ao cliente/microprodutor identificar, de forma simples os períodos em que é consumidor e os que é produtor [41].

A seguir serão apresentadas outras iniciativas similares ao projeto InovGrid, as quais estão disponíveis na literatura e também versam sobre a temática de sistemas de medição integrada.

Na referência [44] os autores descrevem um projeto piloto de AMR integrado para energia elétrica, água e gás realizado em Pudong, distrito de Xangai, na China. O distrito de Pudong é considerado um dos mais recentes de Xangai, pois seu desenvolvimento teve início na década de 90. A importância desse projeto segundo os autores reside no fato de que, embora o conceito de reunir o sistema de leitura dos três insumos tenha sido desenvolvido em laboratórios ao longo dos anos, até então não havia aplicação prática na China. Por conta dos benefícios reais trazidos pelo projeto piloto, no futuro mais comunidades de Xangai serão contempladas por esse novo sistema AMR.

Na referência [45] os autores apresentam o estado da arte sobre sistemas AMR na Coreia do Sul e descrevem um projeto de sistema para reunir a leitura dos medidores de energia elétrica, água e gás; chamado de IMR. Quanto ao estado da arte para energia elétrica, atualmente os sistemas AMR da Coreia utilizam PLC (*Power Line Communication*) principalmente na rede de média de tensão e CDMA desde o ano 2000. Mais recentemente a tecnologia PLC vem sendo empregada também na rede de baixa tensão. Para os sistemas de água e gás, as companhias têm utilizados principalmente redes baseadas em CDMA e RF (radiofrequência), respectivamente. O projeto IMR aproveita as características dos sistemas AMR citados e desenvolve um medidor de energia elétrica que incorpora as tecnologias usadas nos medidores de água e gás, dessa forma, ele coleta a leituras dos demais

medidores da residência e utiliza a rede elétrica para enviar todos os dados obtidos para um servidor remoto.

Goad [46] apresenta de forma sucinta a visão e a experiência obtida nos estágios iniciais de implantação de sistemas AMI e MDM para energia elétrica, água e gás da cidade de Tallahassee, capital da Flórida, nos Estados Unidos.

Os benefícios esperados com a implantação dos sistemas citados são: mais precisão e confiabilidade no faturamento dos insumos medidos, incentivo à economia de energia via resposta à demanda, facilitar a comunicação dos consumidores com as companhias envolvidas no projeto, melhorar o gerenciamento das interrupções de fornecimento através de notificações automáticas e verificações de restauração do sistema; e permitir o acesso à leitura dos medidores via aplicação web.

Os principais desafios de implementação do projeto foram à disponibilidade e maturidade das tecnologias necessárias e mudanças nos processos internos das companhias envolvidas. Esses desafios são devidos principalmente aos requisitos de implementação do sistema integrado que deverá cobrir todas as companhias de serviço público da cidade de Tallahassee.

Casa *et al.* [47] apresentam o projeto SITRED (*Integrated System for Data Transmission on Electricity Distribution Network*), como uma forma de promover novos serviços e oportunidades de negócios entre consumidores e companhias de serviços públicos.

O projeto SITRED foi desenvolvido pela ENEL e teve início em 1995, na cidade de Roma, com a instalação de 15 zonas, que correspondem as principais áreas urbanas da Itália. Os novos serviços promovidos pelo SITRED são os sistemas AMR direcionados para as companhias de água, gás e aquecimento; e a automação dos serviços prestados pela ENEL para seus clientes. A ideia de criar novos negócios é sustentada pela possibilidade de usar a rede elétrica da ENEL como meio de comunicação (PLC) para os medidores das demais companhias.

Segundo os autores, pelo fato do mercado italiano de serviços públicos ser não regulado, as companhias de água e gás tendem a buscar soluções para redução de custos e melhorar a qualidade dos serviços prestados, que por sua vez, também favorece um ambiente para criação de novos negócios entre as companhias.

Huisman [48] descreve o projeto piloto que deu origem ao produto chamado Multima. Tal projeto surgiu na Holanda em 1994 como resultado da parceria de diversas empresas do setor privado, dentre elas a NUON Energy, principal companhia de fornecimento de energia elétrica, gás e aquecimento da Holanda.

Tradicionalmente, as residências holandesas reúnem em um mesmo ambiente medidores de energia, água e gás. Visando a otimização do espaço destinado aos medidores nas residências, as empresas desenvolveram o Multima, um produto que reúne todos os medidores da residência em uma única estrutura no formato de armário. O Multima permite que os dados de consumo possam ser lidos localmente ou remotamente a partir de uma central de monitoramento.

Nos projetos apresentados até este momento, os protótipos foram desenvolvidos a partir da iniciativa de implantação da medição integrada em algumas cidades e países. No entanto, também há na literatura alguns trabalhos que descrevem inicialmente o desenvolvimento de um protótipo para que posteriormente a medição integrada possa ter aplicações práticas. Ou seja, em alguns casos o desenvolvimento de um protótipo pode marcar o início de projetos de medição integrada com aplicações em larga escala.

Al-Qatari e Al-Ali [49] apresentam um protótipo de sistema de medição e faturamento para companhias de energia, água, gás e telefonia fixa. O hardware do sistema é composto por módulos específicos dedicados à medição de cada um dos serviços citados anteriormente. Para que o sistema realize o faturamento dos serviços, um leitor de cartão de crédito é acoplado junto ao protótipo. Os módulos de medição possuem serviços de conexão e desconexão baseados na disponibilidade de créditos.

Segundos os autores, todos os circuitos de medição e o circuito de leitura do cartão de crédito estão integrados em uma placa, onde um único microcontrolador gerencia todas as funções do sistema. No protótipo uma porta serial RS-232 está disponível para acessar determinados parâmetros do sistema, em caso de manutenção e solução de problemas.

Além disso, também há disponível no protótipo: uma bateria de backup, em caso de falta do fornecimento de energia elétrica, um display para exibir a quantidade de créditos disponíveis, o custo e o consumo dos serviços; bem como

alarmes para indicar créditos insuficientes, desconexão de serviços e falha do leitor de cartão.

Em [50], os autores propõem uma AMI integrada e residencial que permite aos usuários o monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica, água e aquecimento. Assim como os objetivos desta dissertação, os autores esperam que as informações fornecidas pelo sistema possam também contribuir para economia do consumo desses insumos da residência, além de fornecer informações úteis às companhias a fim de que sejam usadas para melhorar a qualidade dos serviços prestados.

A infraestrutura proposta é composta por três elementos: medidores inteligentes, concentrador de dados e banco de dados. Os medidores de água e aquecimento enviam seus dados para o medidor de energia via M-bus¹ sem fio (EN 13757-4). Em seguida, os dados de todos os medidores são enviados a um concentrador de dados (externo à residência), via rádio através de uma topologia mesh, baseado no padrão EN 13757-5. O concentrador utilizado no projeto é capaz de gerenciar até 500 medidores inteligentes. A comunicação entre o concentrador de dados e o sistema do banco de dados é realizada utilizando padrão DLMS/COSEM sobre ethernet, GPRS ou 3G.

Após apresentar alguns dados indicando que o protótipo é capaz de obter o perfil de tensão, potência ativa e reativa de uma residência, os autores concluem o trabalho informando que as próximas etapas do projeto compreendem o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento com display a ser instalado no interior das residências e a implementação de um programa de controle que permitirá o sistema regular e controlar eletrodomésticos.

Em [51] o autor descreve o projeto e a implementação de um sistema de gerenciamento e monitoramento energético voltado para aplicação predial. O trabalho descrito tem como ênfase a arquitetura em camadas empregada no sistema. Ao todo, o sistema possui três camadas em sua arquitetura, a saber: *field spacing tier*, *middle tier* e *top tier*.

A camada mais baixa da arquitetura, denominada de *field spacing tier*, é responsável por coletar os dados dos medidores de energia, água e gás. Na camada

¹M-bus é um padrão europeu para leitura remota e comunicação de diferentes tipos de medidores [50].

intermediária, *middle tier*, é realizada a comunicação entre os medidores e os computadores de gerenciamento situados na camada superior, por meio de controladores e gateway. Na última e mais elevada camada da arquitetura, chamada de *top tier*, está situada a estação que monitora e analisa os dados vindos das camadas inferiores. A análise dos dados tem como objetivo prever tendências futuras de consumo e propor uma solução para o gerenciamento energético da edificação.

Na literatura também existem trabalhos e estudos na área de engenharia de telecomunicações [52] - [59] e ciência da computação [60] - [66] voltados para sistemas de medição integrada. Dentre eles, os seguintes estudos se destacam:

Decroze *et al.* [54] desenvolvem um módulo de comunicação RF compacto e de baixo custo, que pode segundo os autores, ser conectado em qualquer medidor, inclusive de energia, água, aquecimento e gás. O módulo desenvolvido integra baterias, sensores, processamento de dados, estágios de RF e a antena. Esta última foi projetada com formato coplanar para curto alcance, operando em 868 MHz.

Nayaka e Biradar [57] ressaltam os avanços recentes das redes de sensores sem fio (ou *wireless sensor networks* – WSN, em inglês), que têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento remotos e de baixo custo. Os autores propõem um algoritmo e simula o desempenho de parâmetros relacionados à qualidade de serviço das WSNs.

A WSN apresentada nesse trabalho é utilizada para análise e fusão de dados dos sistemas de gerenciamento das companhias de energia elétrica, água e gás; com o objetivo de detectar furto ou vazamento nos sistemas das companhias.

Aghaei [53] descreve um modelo de WSN para atuar em processos comuns às companhias de energia, água e gás. Ou seja, processos de leitura de medidores, faturamento, envio de notificações, suspensão e restabelecimento de serviço.

O modelo proposto foi implementado distribuidoras, localizadas em uma cidade do estado de A. Sharghi, no Irã. Os testes realizados mostraram que o modelo proposto é capaz de proporcionar economia no consumo dos três insumos citados anteriormente. Segundo o autor, após dois meses da instalação da WSN, as distribuidoras de energia, água e gás registraram respectivamente, os seguintes valores de economia: US\$710.000, US\$ 86.518 e US\$ 122.900.

Lloret *et al.* [66] propõem uma arquitetura de *Internet of Things* (IoT) integrada para redes de medidores inteligentes de energia, água e gás em uma *smart grid*. Nesse trabalho os autores discutem aspectos como: protocolos de comunicação, procedimentos para coleta de dados e sistemas de apoio a decisão baseados no tratamento de dados (*big data*). Uma vez que a quantidade de tecnologias de comunicação é ampla, a arquitetura de comunicação de IoT proposta também inclui uma ampla variedade de protocolos de comunicação, de modo a permitir muitas formas de conexão entre os medidores inteligentes e a central de gerenciamento das companhias através da internet.

Em [61], os autores destacam a importância de ferramentas para análise automática de dados fornecidos por sistemas AMR, uma vez que um grande volume de dados é gerado ao reunir os sistemas de medição de energia, água e gás. Nesse sentido, o artigo apresenta dois métodos de análise automática, baseados em gráficos de controle da média móvel ponderada exponencialmente.

Os dois métodos discutidos no artigo podem identificar mudanças na tendência de consumo, durante períodos específicos do dia e mudanças no consumo em relação a um modelo matemático. Os eventos anormais de consumo identificados por esses métodos estão de acordo com os eventos identificados por especialistas em análise de energia, o que demonstra a validade do método.

Os resultados dos testes mostraram que as anomalias detectadas pelos métodos estão de acordo com a análise de especialistas em 81% das vezes, quando testado em 40 edifícios por um período de dois anos. Portanto, segundo os autores, a abordagem do método fornece um mecanismo de alerta confiável, atuando até mesmo em situações em que um especialista humano poderia negligenciar. Embora o método possa falhar na detecção de algumas possíveis anomalias, ele ajuda a reduzir o volume de dados a ser analisado por um especialista humano.

Em [65] são discutidos aspectos importantes relacionados à segurança em sistemas de medição inteligente em larga escala, que envolve medidores de energia, água, gás, dentre outros. De fato, gerenciar a segurança de dados em uma rede tão abrangente não é uma questão trivial, conforme ressalta os autores.

Como em qualquer comunicação, a transferência de dados dos medidores aos centros de medição está sujeita a diversas ameaças e tipos de riscos. Os autores classificam os riscos de duas formas: riscos externos – ataque e invasão ao

centro de leitura por entidade externa e riscos internos – intervenção não autorizada por usuários (consumidores) tanto intencionalmente quanto não intencionalmente. Sendo o risco interno à integridade da segurança do medidor, o mais comumente praticado.

Os problemas de segurança recaem principalmente sobre os elementos do sistema de medição, a saber: medidores, concentrador de dados e estação central de medição, além da proteção diretamente sobre o fluxo de dados.

No que diz respeito à proteção dos medidores, os autores sugerem que a atribuição de certificados de segurança seja gerenciada por um administrador ou por entidades de certificação com a devida competência. Os certificados de segurança contribuem para identificar os dispositivos que estão se comunicando, como elementos autênticos dentro do sistema de medição.

Para a proteção de concentradores de dados, os autores não preveem uma proteção superior do que a considerado padrão, ou seja, proteção contra mudanças de configurações do medidor. Essa proteção pode ser feita através de senha que fornece acesso à configuração dos parâmetros do concentrador. Já a proteção da estação central de medição, segundo os autores, é uma questão pode ser resolvida dentro do próprio servidor da estação central, bem como a segurança dos dados armazenados.

A proteção sobre fluxo de dados que trafegam na rede de medição pode ser feita através de criptografia. Essa proteção atua principalmente contra mudanças de comandos do sistema. Para os autores, as leituras dos medidores também devem ser consideradas como dados pessoais dos consumidores, assim como nomes, sobrenome, endereço e telefone. Pois de fato, conforme foi mencionado anteriormente, as leituras dos medidores podem indicar a presença ou não de pessoas na residência [35], [36].

Seguindo a tendência discutida anteriormente, onde protótipos e sistemas são desenvolvidos visando à medição integrada, patentes têm sido depositadas tanto no exterior [67] - [95] quanto no Brasil [96] - [105]. A seguir, será apresentada uma visão geral das patentes depositadas no exterior e depois, as patentes depositadas por inventores brasileiros dentro do território nacional.

Observa-se que as patentes sobre medição integrada depositadas no exterior seguem essencialmente duas vertentes. Enquanto algumas apresentam invenções

relacionadas a infraestrutura de rede a ser empregada pelas companhias prestadoras de serviços [78] - [85], outras têm como foco o desenvolvimento de solução para o monitoramento integrado do consumo de energia elétrica, água, gás ou aquecimento por parte dos consumidores [68], [70] - [85].

Na primeira vertente mencionada, nota-se que os inventores buscam trazer soluções de como as companhias podem obter remotamente a leitura dos seus respectivos medidores, propondo por exemplo, diferentes topologias de rede ou tecnologias de comunicação tais como PLC, RF, GPRS e internet.

Na segunda vertente, os inventores também desenvolvem soluções para sistema de medição integrada, no entanto, as leituras coletadas não são necessariamente enviadas remotamente para as companhias, elas são coletadas para que os usuários possam acompanhar em tempo real, o custo e o consumo dos insumos da residência, através por exemplo de interface gráficas e interativas, com o uso de tecnologias como *Bluetooth*, *Zigbee* ou *Wi-fi*.

Surpreendentemente, poucas patentes buscam reunir em uma única invenção uma solução completa envolvendo as duas vertentes comentadas anteriormente, conforme é proposto nas invenções descritas em [67] e [69].

Em [68], o inventor sustenta os benefícios de sua invenção, a partir da premissa que condôminos tendem a pagar mais caro pela energia elétrica, água e gás; quando a edificação não possui medição individualizada desses insumos por inquilino. De fato, o simples rateio entre os condôminos das contas obtidas a partir de um único medidor para cada insumo da edificação inteira pode desfavorecer aqueles que consomem menos em detrimento daqueles que consomem deliberadamente.

Nesse contexto, a invenção relata o projeto de medidores que se comunicam entre si por sinal de radiofrequência e transmite para um servidor web remoto através da internet. Tal projeto é voltado para a implantação da medição individualizada em edifícios residenciais e comerciais.

Dessa forma, a medição individualizada torna a divisão dos custos de energia elétrica, água e gás da edificação mais justa, pois cada condômino paga efetivamente pelo que consumiu.

A patente [69] refere-se a um sistema e método para monitoramento e estimativa em tempo real do consumo dos insumos de uma residência. O sistema é

composto por um módulo interativo do usuário, módulos de medição e uma rede sem fio. Sucintamente, a invenção consiste em módulos de medição que são conectados diretamente aos medidores já existentes da residência. Os módulos de medição são ainda conectados ao módulo interativo do usuário através da rede sem fio.

O sistema monitora o consumo de energia, gás ou água em tempo real, além de gerar e exibir gráficos de consumo de recursos energéticos em períodos de tempo selecionados pelo usuário, e ainda permite a comunicação remota com pelo menos uma das companhias prestadoras de serviços.

De modo semelhante a um dos objetivos desta dissertação, o sistema descrito na referida patente visa ampliar a conscientização dos usuários, em relação ao consumo dos principais insumos de sua residência. A patente ainda visa auxiliar os consumidores quando estes optam pela tarifação dinâmica da energia elétrica. Por exemplo, o sistema pode sugerir ou desligar automaticamente algumas cargas, quando a tarifa de energia estiver muito cara.

Portanto, através de um acompanhamento mais adequado do consumo da residência, os usuários podem tomar ações mais eficazes para controlar seus gastos, obtendo assim economia na fatura dos recursos consumidos. Por último, a patente descreve um método para estimar o consumo dos recursos durante um período de tempo preestabelecido pelo usuário.

A patente [70] é referente à invenção de duas interfaces de comunicação entre medidores e dispositivo de gerenciamento de consumo de energia elétrica, água e gás. Enquanto que a primeira interface é responsável por realizar a transmissão e recepção dos dados de medição, a segunda interface tem a função de comunicar os sinais de controle entre os elementos do sistema, pois os medidores também possuem capacidade de atuar sobre os insumos medidos, por exemplo, interrompendo ou restabelecendo seu fornecimento.

As patentes depositadas no Brasil seguem de modo similar as patentes internacionais em duas vertentes. Na primeira delas, que representa a maioria das patentes brasileiras, os inventores buscam descrever dispositivos e sistemas de aquisição e transmissão de dados dos medidores, de forma remota e automática para as companhias de energia elétrica, água e gás [96] - [98], [100], [101], [103] - [105].

No entanto, diferente das internacionais, as invenções brasileiras em geral, não se preocupam em como a infraestrutura de rede deve ser empregada pelas companhias, a fim de garantir uma comunicação adequada entre os medidores e o sistema de gestão das companhias.

Por outro lado, as invenções enfatizam aspectos construtivos e técnicos dos dispositivos, descrevendo por exemplo, formas de comunicação através do padrão RS-232 e de protocolo como Modbus/RTU, e M-bus, e ainda diferentes formas de leituras, usando dentre outras técnicas, a leitura fotográfica do medidor [101], [104].

Na segunda vertente, algumas patentes brasileiras visam proporcionar certo grau de monitoramento para os usuários, além de enviar remotamente dados de leituras dos medidores para as respectivas companhias [99], [102].

No entanto, as soluções propostas para monitoramento do consumo pelo usuário possuem limitações práticas, pois as formas de visualização dos dados se restringem a exibição em pequenos displays LCDs ou através de conexão física de um computador pessoal ao concentrador de dados. Essas formas de visualizar os dados torna o gerenciamento do consumo mais difícil por parte do consumidor.

A patente [99] refere-se a um sistema centralizado de medição e bloqueio para energia elétrica, água e gás. O sistema pode ser aplicado em edifícios residenciais ou comerciais, que por meio de um único hardware e interface operacional possibilita controlar, medir e monitorar os insumos do edifício tanto de forma global quanto individualizada.

O sistema foi projetado para ser modular e expansível. Seu desenvolvimento utiliza o padrão aberto RS-485 e com três níveis de tecnologias. A topologia do nível 1 é estruturada em rede controlada por um ou mais módulos de rede, que são módulos eletrônicos programados em Ladder. A rede também é composta por medidores e dispositivos de bloqueio para energia, água e gás; além de módulos remotos de rede para entrada e saída de sinal.

Os módulos de rede são conectados entre si através de um único par fios e se comunicam com um controlador master. Esse controlador possui um visor LCD para indicação do consumo dos usuários e teclado para atuação dos dispositivos de bloqueio. O nível 2 é composto por estações de manutenção e monitoramento integrado, em computadores com software de supervisor, sendo uma unidade opcional do sistema de gestão.

O nível 3 é composto por gerenciamento externo de medição e bloqueio dos insumos da edificação. Dessa forma, informações para faturamento e recursos importantes são disponibilizadas para as companhias de serviço através de tecnologias de comunicação como RF, GPRS, internet por exemplo.

3. MEDIÇÃO PARA FATURAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA, ÁGUA E GÁS

O desenvolvimento do sistema de medição integrada visa obtenção dos dados de consumo de energia, água e gás não apenas para monitoramento do consumidor residencial, mas também para fins de leitura remota das respectivas concessionárias.

Uma vez que os valores coletados pelo sistema serão utilizados para faturamento dos recursos fornecidos pelas concessionárias, torna-se fundamental garantir que esses valores tenham sido medidos corretamente e que os dispositivos de medição utilizados estejam de acordo com as normas estabelecidas pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ainda quando pertinente, por agências regulamentadoras.

Além disso, pretende-se desenvolver um sistema de medição integrada compatível não apenas com um modelo em particular de medidor, mas sim, compatível com a maioria dos medidores já existentes no mercado. Em outras palavras, é desejável que o sistema seja interoperável com o maior número possível de medidores de energia, de água e de gás.

Portanto, tendo em vista a interoperabilidade do sistema de medição, torna-se importante conhecer as interfaces de comunicação disponíveis nos medidores de energia, de água e de gás utilizados pelas concessionárias para faturamento. Ou ainda, as interfaces disponíveis nos medidores presentes no mercado, aprovados pelo Inmetro e que podem ser utilizados para faturamento.

O sistema de medição deve suportar pelo menos uma dessas interfaces de comunicação disponíveis nesses medidores. A partir desse conhecimento foi possível escolher a primeira interface de comunicação que seria inicialmente compatível com o sistema de medição desenvolvido.

3.1 Análise das interfaces de comunicação dos medidores

A seguir é apresentada uma análise dos medidores sob o ponto de vista das interfaces de comunicação, discriminados pela natureza do recurso medido.

3.1.1 Medidores de energia elétrica

No Brasil, a ANEEL através do módulo 5 do PRODIST, estabelece entre outras questões, os requisitos mínimos para medição de energia elétrica para faturamento. No que se refere aos medidores de energia, o módulo 5 menciona dois tipos: eletromecânicos e eletrônicos.

Tradicionalmente, os medidores eletromecânicos não disponibilizam terminais para captura de sinais elétricos analógicos ou digitais a fim de obter a energia ativa registrada [106]. Já os medidores eletrônicos por serem dotados de circuitos integrados dedicados a medição de energia, frequentemente disponibilizam pelo menos um tipo de interface de comunicação, onde os dados relativos à medição podem ser acessados.

A partir de um levantamento realizado pelo próprio autor, através de pesquisa de mercado e por consultas em catálogos de diversos fabricantes de medidores eletrônicos de energia tais como [107], [108], [109], dentre outros, foi possível conhecer as interfaces de comunicação mais comumente empregadas em tais medidores, são elas: saída de pulso, saída serial TTL, RS-485, RS-232 e porta óptica.

Dentre as interfaces encontradas, a que aparece com mais frequência nos modelos pesquisados é a saída de pulso. A justificativa para isso pode estar no fato de que no Brasil a ANEEL, conforme descrito no Módulo 5 do PRODIST, não faz restrição quanto a um tipo específico de interface de comunicação para os medidores dos clientes do grupo B.

Então, possivelmente por esse aspecto regulatório e pela sua simplicidade e baixo custo de implementação, a saída de pulso é a interface de comunicação predominante nos medidores eletrônicos de energia elétrica para faturamento de clientes do grupo B, que por sua vez são os consumidores para qual o sistema de medição é direcionado.

Diante dessa análise, conclui-se que para os medidores de energia elétrica, é interessante que o sistema de medição seja compatível com pelo menos a saída de pulso dos medidores.

3.1.2 Medidores de água (hidrômetros)

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), compete às entidades reguladoras de saneamento, regular as atividades referentes à cobrança pelos serviços de coleta, tratamento e distribuição de água e de esgoto no Brasil [110].

A lei federal nº 11.445/2007 [111], também conhecida como a Política Nacional de Saneamento, estabelece entre outras questões, que os estados ou municípios são os prestadores dos serviços de saneamento, os quais compreendem o abastecimento de água, tratamento de esgoto, destinação das águas das chuvas nas cidades e lixo urbano [112].

Atualmente a Política Nacional de Saneamento atribui aos municípios a titularidade dos serviços públicos de saneamento básico, podendo até mesmo delegar a terceiros a regulação, a fiscalização e a prestação desses serviços. Nas regiões metropolitanas, esses serviços são fiscalizados e regulados por entidade reguladora estadual, regional ou ainda intermunicipal.

A referida lei determina ainda que é a entidade reguladora que edita as normas relativas as questões técnicas, econômicas e social de prestação dos serviços, contemplando entre outros aspectos, a medição, faturamento e cobrança de serviços.

Devido a pluralidade de agências reguladoras dos serviços de saneamento básico, foram elencadas as agências correspondentes aos três estados mais populosos do Brasil. Esses estados são segundo [113]: São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

As entidades reguladoras ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo), ARSAE-MG (Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais) e a AGENERSA (Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro) não determinam em suas resoluções ou deliberações [114], [115], [116], quais interfaces de comunicação são obrigatórias nos medidores de água das concessionárias.

Não obstante, grandes companhias como a Sabesp que atua em aproximadamente um terço do estado de São Paulo [117] e a Copasa que atua em 635 dos 853 municípios de Minas Gerais [118], possuem uma parcela do seu parque

de medição composta por medidores com saída de pulso como interface de comunicação [119], [120]. A quantidade aproximada de medidores referente a essa parcela, não foi divulgada publicamente pelas companhias citadas.

Por outro lado, a CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro), que cobre 64 dos 92 municípios do estado do Rio de Janeiro, não utiliza medidores com alguma interface de comunicação [121].

Diante dessa análise, verifica-se que é desejável que o sistema de medição seja capaz de se comunicar com a saída de pulso dos medidores de água.

3.1.3 Medidores de gás

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), sua função é regular atividades como a exploração e produção, processamento, estocagem e comercialização do gás natural na esfera de competência da União, ou seja, até antes de o produto ser entregue às companhias estaduais de distribuição [122].

Isso porque, conforme disposto no § 2º do art. 25 da Constituição Federal, compete aos estados da federação regular a prestação do serviço de distribuição de gás canalizado [123]. Além disso, ainda no mesmo parágrafo, a Constituição estabelece que cabe aos estados, explorar diretamente ou por meio de concessão, os serviços locais de gás canalizado [123].

Entende-se por serviços locais de gás canalizado, o transporte do gás entre o ponto de recepção e o ponto de entrega ao usuário, através de um sistema de distribuição [124].

Também devido a pluralidade de entidades reguladoras de gás canalizado no Brasil, foram considerados na análise, as agências correspondentes aos três estados mais populosos do país.

Em São Paulo e Rio de Janeiro as entidades reguladoras que atuam na regulação dos serviços de distribuição de gás canalizado, são as mesmas que regulam os serviços de saneamento básico em seus respectivos estados, apresentadas no item anterior.

Em Minas Gerais, quem regula os serviços de gás canalizado é o próprio estado, através da SEDECTES (Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Ensino Superior).

Assim como foi observado na regulação dos serviços de saneamento básico, as entidades reguladoras dos serviços de gás canalizado também não determinam quais interfaces de comunicação devem estar disponíveis nos medidores de gás [125], [126], [127].

Não obstante, a COMGÁS, que atualmente é a maior companhia de gás canalizado do estado de São Paulo, por meio do seu RIP (Regulamento de Instalações Prediais) recomenda aos projetistas de instalações interna de gás em condomínios a utilizarem medidores com saída de pulso de modo a viabilizar a leitura do consumo de cada apartamento a partir de um único ponto. Dessa forma, o leiturista da concessionária não precisa visitar cada apartamento para obter o consumo de cada condômino.

Já a GASMIG que detém o monopólio da distribuição de gás canalizado em Minas Gerais, vem testando desde 2016 algumas soluções em medição remota [128]. Independente da tecnologia utilizada para transmitir a leitura, a obtenção dos valores de consumo é feita através da saída de pulso dos medidores [128].

Diante do que foi levantado acerca das interfaces de comunicação dos medidores de gás, a interface mais promissora para que o sistema de medição possa coletar as leituras desses medidores é também a saída de pulso.

3.2 Escolha da interface de comunicação para o sistema de medição

Após analisar as interfaces de comunicação disponíveis nos medidores de energia, água e gás; sob os aspectos regulatórios e de mercados, será determinada a interface de comunicação com que o sistema de medição será inicialmente compatível.

Diante das análises realizadas ao final dos subtópicos 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3, é possível concluir que é interessante que o sistema de medição seja compatível com a saída de pulso dos medidores. Entretanto, o fato de o sistema de medição ser inicialmente compatível com essa interface não irá inviabilizar que novas interfaces sejam incorporadas futuramente ao sistema.

Portanto, conforme comentado no início deste capítulo, deseja-se que o sistema de medição:

- possa fornecer leituras para serem utilizadas para faturamento pelas concessionárias e com isso, o medidor precisa estar em conformidade com os requisitos estabelecidos pelo Inmetro e por agências regulamentadoras;
- seja interoperável, sendo compatível não apenas com um modelo em particular de medidores de energia, água e gás, mas compatível com a maioria dos medidores já instalados e existentes no mercado.

Então, considerando esses dois pontos levantados, para a arquitetura do sistema de medição que será discutida no próximo capítulo, optou-se em vez de desenvolver três medidores próprios, um para cada recurso, desenvolver módulos de medição que são conectados aos medidores de energia, água e gás da residência, respectivamente.

Dessa forma, é possível garantir que os valores coletados pelo sistema de medição possam ser utilizados para faturamento, caso os medidores conectados aos módulos já tenham sido comprovados que atendem aos requisitos legais. Para as concessionárias, essa condição é naturalmente satisfeita, uma vez que elas devem apenas utilizar medidores que se encontram dentro das conformidades estabelecidas pelo Inmetro e de suas respectivas agências reguladoras.

Além disso, ao observar as interfaces de comunicação empregadas atualmente nos medidores usados para faturamento, amplia-se as chances de o sistema desenvolvido ser compatível com os medidores já instalados na residência do usuário final, o que por sua vez reduz custos e facilita o processo de instalação.

Ou seja, possivelmente o sistema irá aproveitar os medidores que já estão instalados nas residências dos consumidores, não sendo necessário a substituição dos medidores, caso eles já possuam pelo menos a saída de pulso.

4. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO EM REDES SEM FIO DOMÉSTICAS

Considerando que em uma residência típica os medidores de energia, água e gás estão instalados em diferentes pontos, torna-se importante determinar um meio físico adequado para a comunicação entre os medidores e o restante do sistema de medição.

Neste capítulo pretende-se levantar as tecnologias de comunicação candidatas a serem empregadas no sistema de medição integrada. Após esse levantamento, a justificativa da tecnologia escolhida será apresentada.

4.1 Wi-Fi

Wi-fi é uma tecnologia de comunicação capaz de permitir que diversos dispositivos em uma residência, tais como smartphones e notebooks, se conectem a internet. Além disso, a medida que a penetração da internet cresce mais o wi-fi se torna difundido [129].

O wi-fi é na verdade um conjunto de especificações baseados no padrão IEEE 802.11 [130]. Os pontos fortes dessa tecnologia estão no fato de ser de fácil aquisição, alta taxa de fluxo de dados e fácil integração a infraestrutura de TI [131], [132]. Em contrapartida, possui alto consumo de energia quando comparada com outras tecnologias. Essa característica é um ponto crítico em sistemas embarcados [131], [132].

4.2 Bluetooth

O *Bluetooth* também é uma das tecnologias mais presentes em smartphones, tablets e notebooks. Sendo utilizado mais comumente para transmissão de dados e voz de acordo com o padrão IEEE 802.15.

Trata-se de uma tecnologia ideal para transmissão de curto alcance, podendo variar entre 10 a 100 metros de acordo com a potência do módulo transmissor [133]. O *bluetooth* é ideal também para aplicações que envolva pouca transferência de dados, pois possui baixa taxa de transmissão quando comparada com outras tecnologias, sendo 64 kbps para voz e 723 kbps para demais serviços [132].

As vantagens dessa tecnologia são: baixo custo de implementação e baixo consumo de energia. Por outro lado, seu ponto fraco está na baixa capacidade de controlar muitos dispositivos simultaneamente, limitando-se em apenas oito dispositivos [133].

4.3 ZigBee

A tecnologia ZigBee começou a ser desenvolvida em 2002, pela organização sem fins lucrativos ZigBee Alliance, composta por universidades, empresas privadas e agências governamentais [134].

Essa tecnologia foi desenvolvida com o propósito de possibilitar a criação de redes sem fio, para fins de controle e monitoramento de equipamentos e sensores. Assim, sua aplicação é muito comum nas seguintes áreas: industrial, residencial, militar, pesquisa científicas, dentre outras [131].

A velocidade de transferência de dados pode variar de 10 kbps até 115 kbps, dependendo da faixa de frequência que está sendo utilizada 2,4 GHz (global), 915 MHz (Estados Unidos) ou 868 (MHZ). A cobertura de um módulo *ZigBee* pode variar entre 10m e 100m, de acordo com a potência do módulo. Por ser uma tecnologia de baixo consumo, quando utilizada em aplicações standalone, alimentadas por pilha comum, sua autonomia pode chegar até 6 meses [135].

4.4 Z-Wave

Z-Wave é uma tecnologia proprietária de comunicação sem fio da empresa Zensys. Ela foi projetada para atender aplicações de controle remoto em ambientes residenciais e pequenos comércios [136]. Como é uma tecnologia proprietária, ainda carece de documentação disponível para desenvolvedores.

Seu alcance é de cerca de 30m, e velocidade de transferência de dados que varia entre 9600 bps e 40 kbps. Uma rede Z-Wave que tipicamente possui topologia Mesh, pode ser formada por no máximo 232 unidades [137].

4.5 Comparativo entre as tecnologias de comunicação

Uma vez conhecidas as principais tecnologias de comunicação para redes sem fio domésticas, elas serão analisadas a fim de determinar qual delas é a mais adequada para este trabalho. Essa tecnologia será escolhida para ser empregada no sistema de medição.

Os requisitos utilizados na análise são o custo de implementação e o alcance. Este último será considerado na análise, pois é necessário garantir a comunicação entre os elementos do sistema, mesmo que haja obstáculos como paredes entre eles.

A Tabela 1 apresenta um quadro comparativo entre as tecnologias de comunicação mencionadas. Nessa tabela, apenas os requisitos considerados na análise são apresentados. O custo indicado na Tabela 1 refere-se ao custo médio de implementação por unidade.

Tabela 1 - Quadro comparativo das tecnologias de comunicação em redes sem fio domésticas

Tecnologia	Custo	Alcance
Wi-Fi (IEEE 802.11)	R\$ 30,00	100 m
<i>Bluetooth</i> (IEEE 802.15.1)	R\$ 36,00	10-100 m
<i>ZigBee</i> (IEEE 802.15.4)	R\$ 180,00	10-75 m
Z-Wave (Zensys)	R\$ 140,00	30m

Fonte: adaptado de [131], [135] e [137]

Na Tabela 1, cabe observar que embora alguns módulos *bluetooth* possam ter alcance de até 100m, esses módulos não são encontrados com facilidade no mercado e possuem custos consideravelmente elevados em comparação com os que possuem alcance de até 10 m.

Ao analisar a Tabela 1 é fácil perceber que a tecnologia que melhor atende os requisitos considerados é o wi-fi, e por isso, será a tecnologia escolhida para ser empregada no sistema de medição descrito neste trabalho.

5. ARQUITETURA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO INTEGRADA

Neste capítulo o projeto do sistema de medição integrada é apresentado. O projeto foi elaborado a partir dos seguintes requisitos:

- Baixo custo: para ser acessível para o maior número possível de pessoas e viabilizar a expansão da medição inteligente no Brasil;
- Escalável: para garantir que o sistema possa ser aplicável em larga escala, e que possa ser ampliado sempre que as concessionárias e o usuário final desejarem;
- Modular: para que possa se adaptar adequadamente e de acordo com as necessidades das concessionárias e do consumidor;
- *Plug and play*: para ser um sistema fácil e intuitivo de usar e configurar. Assim, cada vez mais pessoas poderão manifestar interesse em utilizar o sistema;

Considerando ainda os aspectos discutidos:

- No capítulo 3, acerca da medição para faturamento e da interoperabilidade do sistema de medição, onde, optou-se por em vez de desenvolver um medidor próprio para cada recurso, desenvolver módulos de medição acoplados aos medidores;
- No capítulo 4, acerca da tecnologia de comunicação escolhida para ser implementada no sistema de medição, onde optou-se pelo uso do Wi-Fi.

Levando em conta todos esses aspectos levantados, o sistema de medição integrada foi projetado seguindo a arquitetura apresentada na Figura 1, a qual mostra apenas um medidor, com o intuito de facilitar inicialmente a compreensão da arquitetura.

5.1 Módulo Principal

De acordo com Figura 1, a arquitetura do sistema de medição indica que um módulo de medição estará conectado ao medidor da residência.

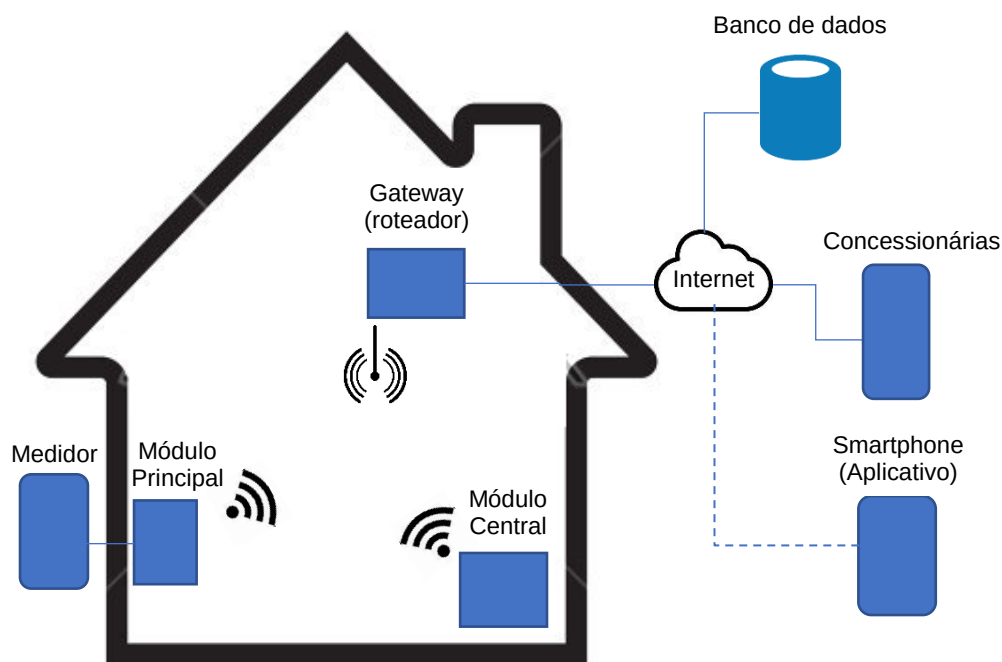


Figura 1 - Arquitetura do sistema de medição integrada

Na Figura 2, onde apenas a região mais próxima da residência é mostrada, é possível visualizar a arquitetura do sistema, na situação em que os medidores de energia elétrica, de água e de gás estão presentes na residência.

Esses módulos são chamados de Módulos Principais, pois os valores obtidos por eles são utilizados para faturamento. Além de permitirem a leitura remota, os módulos principais também são responsáveis por executar o corte ou religamento remoto dos seus respectivos serviços.

O módulo principal pode ser instalado também em unidades consumidoras com fontes renováveis de energia, que utilizam sistema de medição bidirecional, composto por dois medidores unidirecionais. Nesse caso, um medidor é usado para aferir a energia ativa consumida e outro para energia ativa injetada, conforme previsto pelo Módulo 3 do PRODIST e a resolução normativa N° 687 da ANEEL [28]. Nessa situação, um módulo principal deve ser instalado em cada um dos medidores do sistema de medição bidirecional.

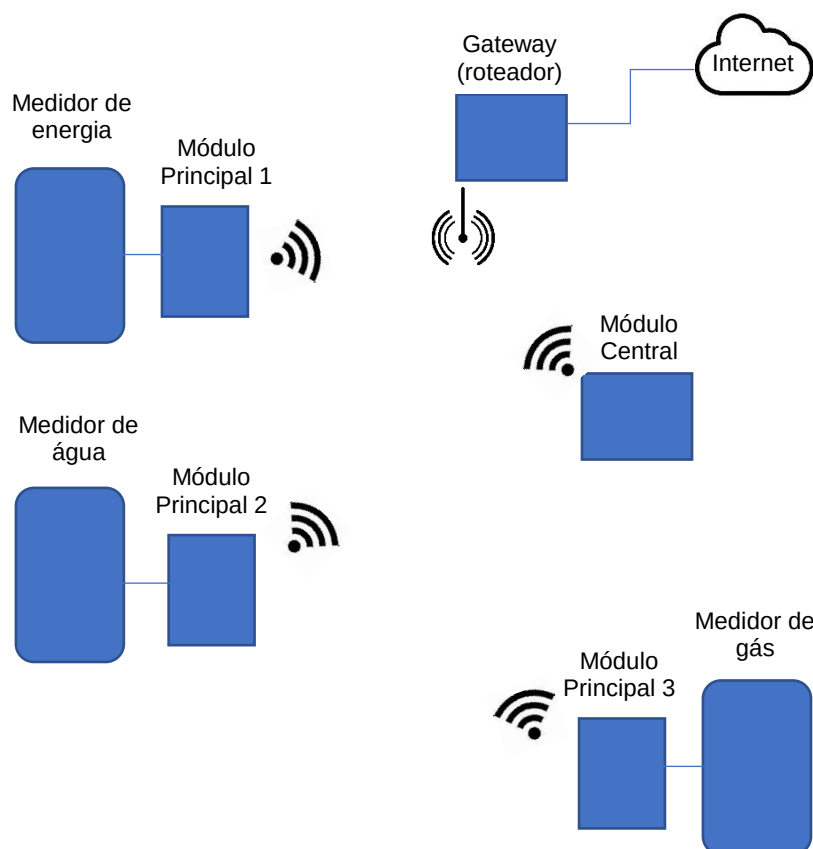


Figura 2 - Módulos principais para residência com três medidores

5.2 Módulo Central

O módulo central indicado na Figura 1 e na Figura 2 tem a função de concentrar os dados de medição e gerenciar localmente os demais módulos do sistema. A comunicação entre esses módulos acontece preferencialmente através da rede wi-fi já existente na própria residência.

Portanto, os dados de medição coletados pelos módulos principais são enviados para o módulo central. Este último os envia periodicamente para um banco de dados hospedado em um servidor remoto na internet. Embora todos os módulos do sistema estejam conectados à rede wi-fi local da residência, apenas o módulo central realiza conexão com o banco de dados remoto.

5.3 Banco de dados

Conforme mencionado anteriormente, a arquitetura do sistema de medição contempla um banco de dados hospedado em um servidor remoto. Sua função é armazenar os dados de consumo dos clientes e as informações referentes aos status dos serviços prestados pelas concessionárias, ou seja, se os mesmos se encontram ativo ou suspenso.

As informações contidas no banco de dados podem servir como dados de entrada para os softwares de faturamento da própria concessionária, e ainda, para softwares de controle de corte e religamento remotos.

Portanto, uma vez que o servidor com o banco de dados está hospedado na internet, ele pode ser acessado remotamente, tanto pelas concessionárias quanto pelos consumidores, obviamente, mediante o uso de credenciais de acesso.

5.4 Aplicativo

O aplicativo tem como função atuar como interface entre o sistema de medição e o consumidor, permitindo-o visualizar facilmente as informações de seu consumo e executar comando de ligar e desligar por conta própria.

Através do aplicativo, o usuário final pode acompanhar o consumo de energia elétrica, água e gás da sua residência em tempo real. Dessa forma, ele pode conhecer seu perfil de consumo em cada um desses recursos.

O usuário pode ainda, sempre que desejar, consultar seu consumo mensal estimado, e não apenas conhecê-lo uma vez por mês, na ocasião do recebimento da fatura, como acontece hoje em dia na maioria das residências.

Embora o aplicativo tenha sido desenvolvido inicialmente para dispositivos com sistema operacional Android, ele futuramente poderá estar disponível para outras plataformas tais como sistemas iOS.

6. DESENVOLVIMENTO

Os detalhes de implementação da arquitetura apresentada no capítulo 5 serão discutidos neste capítulo. A seguir, os aspectos mais relevantes para o desenvolvimento do protótipo, bem como funcionamento dos elementos que compõem o sistema de medição serão tratados.

6.1 Implementação da tecnologia wi-fi no sistema de medição

Conforme foi discutido no capítulo 4, a tecnologia de comunicação escolhida para ser empregada no sistema de medição é o wi-fi. Uma vez que esta tecnologia esteja implementada nos módulos do sistema de medição, estes poderão utilizar preferencialmente, a rede sem fio já existente na residência para comunicarem entre si.

6.1.1 Módulo wi-fi ESP8266 ESP-01

A implementação do wi-fi no sistema de medição foi realizada através do módulo wi-fi ESP8266 ESP-01. Dentre os dispositivos disponíveis no mercado que também permitem tal implementação, o ESP8266 ESP-01 (Figura 3) foi escolhido principalmente por já possuir um microcontrolador embarcado no mesmo hardware.



Figura 3 - ESP8266 Modelo ESP-01

As especificações técnicas do ESP8266 ESP-01 são as seguintes:

- Padrões wi-fi compatíveis: 802.11 B/G/N;
- Alcance aproximado: 90 metros;
- Tensão de operação: 3,3 VDC;
- Dimensões: 25 x 14 x 1mm;
- CPU opera em 80MHz, com possibilidade de operar em 160MHz;
- Arquitetura RISC de 32 bits;
- 32KBytes de RAM para instruções;

- 96KBytes de RAM para dados;
- 64KBytes de ROM para boot;
- Possui uma memória Flash SPI Winbond W25Q40BVNIG de 512KBytes a 4 Mb;
- O núcleo baseado no IP Diamand Standard LX3 da Tensilica;
- Fabricado pela Espressif;
- Modos de operação: station, access point, station e access point.

Atualmente, há cerca de doze modelos disponíveis no mercado, numerados de ESP-01 até ESP-12. Embora nesses modelos algumas características variem, como por exemplo, a quantidade de pinos I/O, tipo de antenas (embutidas ou externas) e dimensões, todos utilizam o mesmo microcontrolador ESP8266. Em alguns modelos, recursos como barramentos I2C e SPI, UART, entrada ADC, saída PWM e sensor interno de temperatura também estão disponíveis.

Quanto à programação do microcontrolador ESP8266, ela pode ser feita através de Comandos AT, Lua Script, MicroPython, C/C++ e inclusive a própria linguagem de Arduino. Esta última foi a linguagem adotada neste trabalho, pois ela é a que atualmente possui melhor documentação para desenvolvedores.

Outro aspecto interessante sobre o ESP8266 é acerca de seus modos de operação. Ele pode atuar em três modos distintos: station, access point, e ainda station e access point, conforme mencionado anteriormente. No modo station, o ESP8266 ESP-01 é habilitado para se conectar a uma rede wi-fi existente. Enquanto que no modo access point, ele é capaz de gerar sua própria rede wi-fi. No terceiro modo, ele pode atuar nos dois modos anteriores simultaneamente.

Outro ponto que vale a pena ressaltar sobre o microcontrolador do ESP8266, além dos recursos técnicos disponíveis e seu tamanho compacto, é o fato de ser facilmente encontrado no mercado por um custo consideravelmente baixo (em setembro de 2018, seu valor era cerca de R\$ 30,00), dadas as suas características técnicas. E por isso, pode ser considerado um dispositivo bastante compatível com a proposta de baixo custo deste trabalho.

6.2 Módulo Principal

6.2.1 Leitura do consumo via saída de pulso

Como uma das funções do módulo principal é coletar a leitura do consumo, e esta é obtida através da saída de pulso do medidor, torna-se importante saber como ela funciona e como realizar a leitura através dessa interface.

O sinal emitido pela saída de pulso é do tipo digital, com apenas dois níveis de tensão: nível alto e nível baixo. É considerado como pulso, quando um sinal em nível alto é emitido pela interface. Em geral, a tensão referente ao nível alto é determinada pelo próprio circuito eletrônico de leitura dos pulsos, não sendo superior a 30 VDC na maioria das aplicações.

Embora os mecanismos internos dos medidores para emissão de pulsos possam variar, de acordo com o modelo do medidor e até mesmo com o recurso que está sendo medido, o processo de leitura do consumo por meio de sua saída de pulso é essencialmente o mesmo.

A leitura do consumo é realizada a partir da contagem dos pulsos emitidos pelo medidor. O consumo é então obtido a partir do produto do número de pulsos por uma constante, chamada de constante de pulso do medidor. Em geral, a constante de pulso é indicada no próprio medidor, informada no seu manual, ou ainda, na portaria emitida pelo Inmetro em que o modelo do medidor foi aprovado.

6.2.2 Corte e religamento remoto

O módulo principal também possui a função de efetuar o corte ou religamento do seu respectivo serviço, a partir de um comando remoto, podendo ser executado tanto pela concessionária quanto pelo consumidor.

Naturalmente, quando a concessionária executa o comando de corte do serviço, o consumidor não pode desfazer tal ação, até que o serviço seja restabelecido.

Mais adiante, nos tópicos 6.6 e 6.7 são apresentados respectivamente, os detalhes de como as concessionárias e o consumidor executam os comandos de corte e religamento remoto no sistema de medição desenvolvido.

6.2.3 Programação do microcontrolador

Neste tópico, o algoritmo implementado no microcontrolador do ESP8266 ESP-01 será discutido. A execução do algoritmo representado no apêndice A é realizada em duas etapas. A primeira é executada apenas uma vez, sempre que o módulo principal é energizado. Em seguida, a segunda etapa é executada em loop, e é encerrada apenas quando o módulo é desconectado da alimentação.

Na primeira etapa, o código carrega os valores das variáveis salvas nas memórias flash e EEPROM do microcontrolador. Depois, ele executa ações de acordo com os valores carregados. Por exemplo, irá ativar ou suspender seu respectivo serviço, e ainda, verificar se o módulo está apto a se conectar diretamente ao roteador, ou se essa conexão será através do recurso WPS. Este recurso será explicado mais adiante no tópico 7.1.

No início da segunda etapa, o módulo avalia o estado da conexão wi-fi com o roteador. Caso seja detectada perda da conexão, o módulo realiza o procedimento necessário para restabelecê-la.

É ainda na segunda etapa, onde os pulsos coletados do medidor são computados. A partir da quantidade de pulsos computados e da constante de pulso do medidor, previamente salva na memória flash, o módulo principal calcula o consumo aferido.

Para detecção dos pulsos, foi utilizado o recurso de interrupção do microcontrolador. Através desse recurso, os pulsos são detectados independente do que está sendo executado pelo programa, no momento em que ocorre o pulso. Dessa forma, tem-se uma maior confiabilidade na detecção, minimizando os riscos de que um pulso deixe de ser computado.

Apenas para efeito de facilitar a visualização dos dados de medição, o módulo principal foi programado para enviar os dados coletados, a cada dez segundos ao módulo central. A partir desse momento, o ciclo é reiniciado, voltando para o início da segunda etapa. Os detalhes de como é feito o envio dos dados de medição ao módulo central serão apresentados no tópico 6.4.

6.2.4 Esquemas elétricos e circuitos eletrônicos

Os esquemas elétricos e os circuitos eletrônicos referentes ao módulo principal são apresentados neste tópico. A Figura 4 mostra o esquema elétrico de conexão do módulo principal com a medidor de energia elétrica.

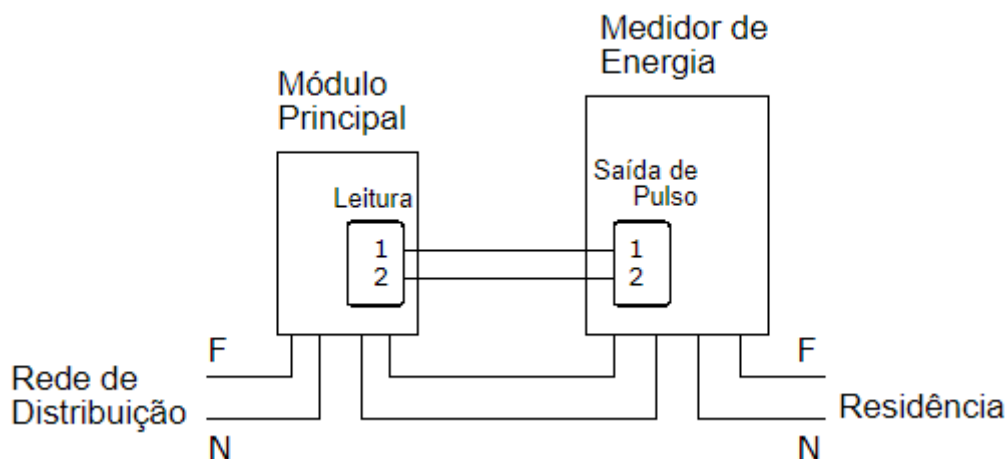


Figura 4 - Esquema de conexão do módulo principal com medidor de energia

Conforme pode ser visto na Figura 4, o módulo principal é instalado em série com o medidor de energia. Embora a Figura 4 represente um circuito monofásico, o módulo principal pode ser facilmente adaptado para circuitos trifásicos. A conexão do módulo com saída de pulso do medidor é feita por um par de fios.

Para os medidores de água e gás, o esquema de conexão com o módulo principal segue conforme a Figura 5.

Em termos de conexões, o módulo principal para medidores de água e de gás são idênticos. Contudo, ele é ligeiramente diferente em relação ao módulo para medidores de energia. Isso porque, no caso da água e gás, o dispositivo para corte e religamento (solenóide) e a fonte de alimentação são externos ao módulo principal.

No entanto, a conexão do módulo com a saída de pulso dos medidores ainda é feita com um par de fios, embora seja necessário o uso de conectores apropriados nos medidores de água e gás para captura dos sinais.

Apesar de possuírem conexões externas diferentes, os módulos principais para os medidores dos três recursos têm em comum o mesmo circuito eletrônico, o qual é mostrado na Figura 6.

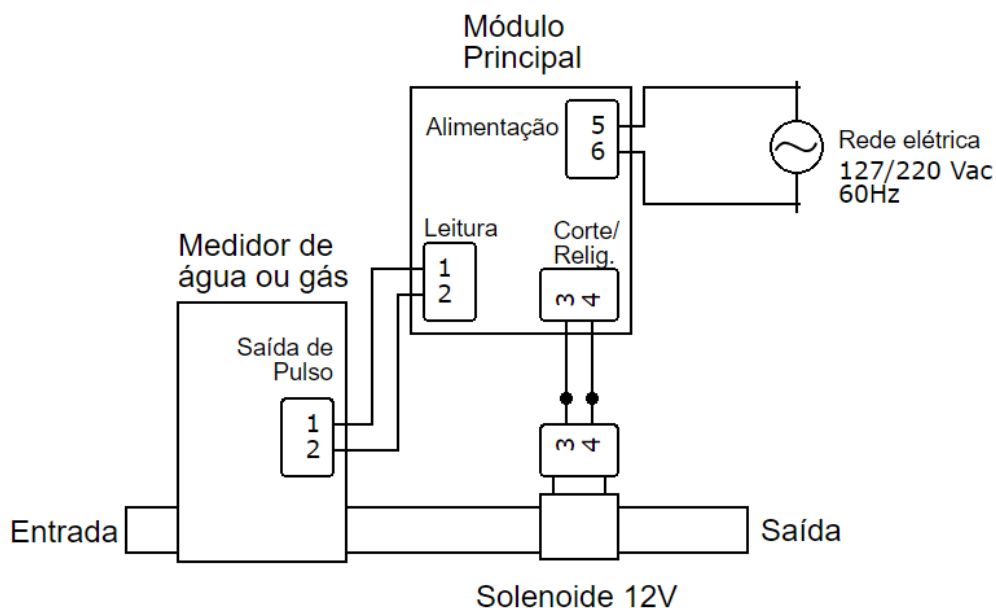


Figura 5 - Esquema de conexão do módulo principal com medidores de água e gás

O circuito eletrônico do módulo principal é composto por três circuitos menores. Na Figura 6 os circuitos delimitados pelos retângulos vermelho, azul e verde, correspondem, respectivamente, à fonte de alimentação, detecção de pulsos e corte/religamento.

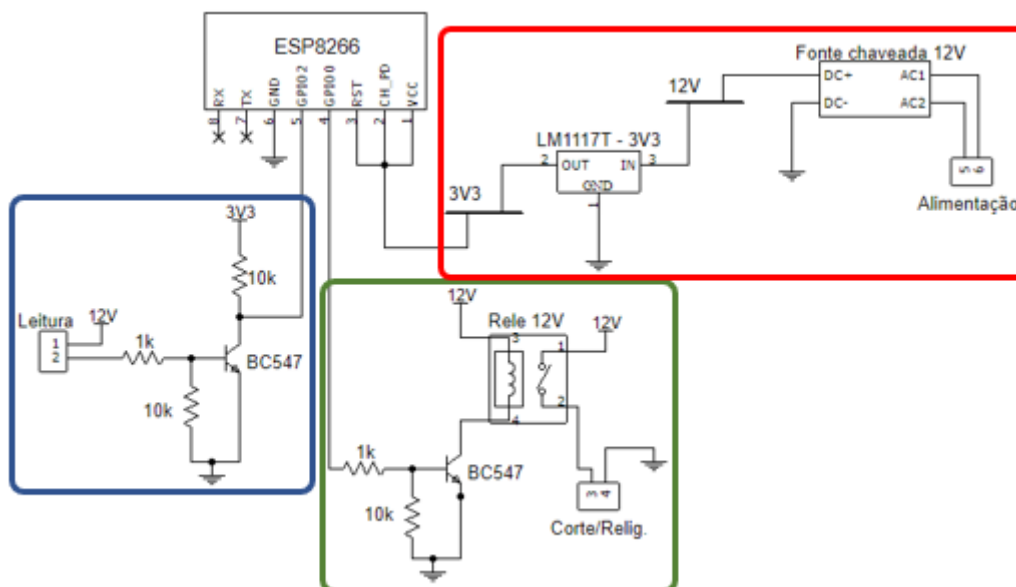


Figura 6 - Circuito eletrônico para módulo principal

No caso dos módulos para os medidores de água e gás, pode-se ainda considerar o uso de baterias como fonte de energia secundária. Ou seja, a bateria apenas seria usada na ocasião da falta de fornecimento de energia elétrica.

6.3 Módulo Central

6.3.1 Programação do microcontrolador

No módulo central, a programação do microcontrolador foi elaborada tendo em vista as funções básicas que devem ser executadas pelo módulo, a saber:

- Concentrar dados localmente: este módulo deve reunir os dados de consumo e o status de serviço dos demais módulos do sistema. Portanto, o módulo central concentra localmente as informações mais atuais do sistema.
- Atualizar banco de dados: uma vez que o módulo central reúne a leitura dos módulos principais, ele as envia periodicamente para o banco de dados. Em seguida, ele recupera do banco, os status de serviço dos módulos.
- Gerenciar os demais módulos do sistema: como o módulo central concentra dados dos demais módulos, esses dados precisam estar organizados de forma estruturada. Essa organização inclui um sistema de identificação dos módulos, o qual será descrito mais adiante no tópico 6.4.3.

A execução do algoritmo representado no apêndice B também é realizada em duas etapas. A primeira etapa é muito similar à do módulo principal indicada no apêndice A. A diferença está no último processo, em que o módulo central recupera os dados de consumo e status do serviço do banco de dados remoto.

Assim como no módulo principal, o primeiro processo a ser executado no início da segunda etapa do algoritmo é a avaliação do estado da conexão wi-fi com o roteador. Caso seja detectada perda da conexão, o módulo realiza o procedimento necessário para restabelecê-la.

Em seguida, verifica se um novo módulo principal foi conectado ao módulo central. O processo de conexão de novos módulos no sistema será descrito em detalhes no tópico 6.4.3.

Assim como no módulo principal, apenas para efeito de facilitar a visualização dos dados de medição, o módulo central envia a cada quinze segundos os dados de medição para o banco de dados remoto. Nesse instante, o módulo também recupera o status do serviço salvo de todos os módulos no banco de dados.

A partir desse momento, o ciclo é reiniciado e o algoritmo volta para o início da segunda etapa. Os detalhes de como o módulo envia e recupera dados do banco de dados são descritos no tópico 6.6.

6.3.2 Circuito eletrônico

O circuito eletrônico projetado para o módulo central é muito similar ao do módulo principal, exceto pelo fato de possuir apenas o circuito de alimentação. Assim, o circuito eletrônico referente ao módulo central, é aquele mostrado na Figura 7.

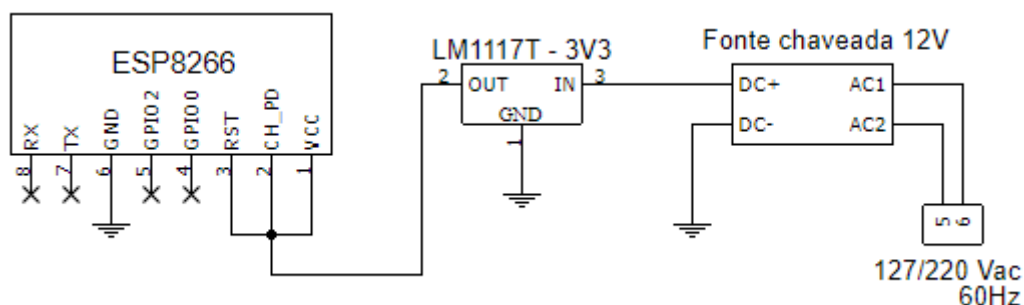


Figura 7 - Circuito eletrônico para módulo central

6.4 Interação entre o módulo principal e o módulo central

6.4.1 Modelo de comunicação

A comunicação entre os módulos principais e o módulo central acontece através do modelo cliente-servidor. Sendo assim, o módulo central se comporta como servidor e os demais módulos como clientes.

Nesse modelo, um servidor é um computador ou dispositivo que executa um ou mais serviços, onde recursos podem ser acessados com os dispositivos clientes. Estes por sua vez, requisitam um ou mais serviços ou conteúdo ao servidor. A troca de dados entre cliente e servidor sempre é iniciada pelo cliente. Dessa forma, a comunicação entre um módulo principal e o central sempre é iniciada pelo módulo principal.

No módulo central foi implementado um servidor web. Neste servidor são executados os serviços relacionados com as funções básicas do módulo, as quais foram citadas no início do tópico 6.3.1.

6.4.2 Protocolos

Para que os módulos principais e o módulo central se comuniquem, é necessário além de um modelo de comunicação, um protocolo de comunicação, a partir do qual os dados são efetivamente trocados entre os módulos.

No sistema de medição desenvolvido, o protocolo de comunicação adotado foi o HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). Embora outros protocolos tenham sido considerados, o HTTP foi escolhido principalmente pela sua capacidade já comprovada de ser escalável. Isso porque os navegadores instalados nos computadores utilizam o HTTP para acessar as páginas da internet.

O HTTP segue o modelo cliente-servidor, pois é um protocolo de requisição e resposta. Ou seja, o cliente faz uma requisição e o servidor responde. A Figura 8 ilustra um exemplo de requisição.

```
POST /servlet/default.jsp HTTP/1.1
Accept: text/plain; text/html
Accept-Language: en-gb
Connection: Keep-Alive
Host: localhost
Referer: http://localhost/ch8/SendDetails.htm
User-Agent: Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 4.01; Windows 98)
Content-Length: 33
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
Accept-Encoding: gzip, deflate

LastName=Magalhaes&FirstName=Guilherme
```

Figura 8 - Exemplo de requisição HTTP

Na primeira linha da Figura 8, tem-se “POST” como método de requisição, “/servlet/default.jsp” como a URI (*Uniform Resource Identifier*) e o termo “HTTP/1.1” é a versão do protocolo HTTP sendo utilizada.

O método de requisição indica a ação a ser aplicada sobre o recurso (no caso, “/servlet/default.jsp”) no servidor, ou seja, como o servidor deve executar o recurso indicado na requisição. A URI identifica sobre qual recurso do servidor a requisição se refere.

Ainda sobre o método de requisição, além do POST, há outros sete métodos, são eles: GET, HEAD, PUT, DELETE, TRACE, OPTIONS e CONNECT. No entanto, os métodos POST e GET são os mais utilizados. De acordo com [139], o método GET é usado para obter dados do servidor, enquanto POST é usado para enviar ou atualizar dados no servidor.

As linhas compreendidas entre a segunda e a penúltima da Figura 8 formam o cabeçalho da mensagem. O cabeçalho contém por exemplo, informações sobre a mensagem.

Na última linha da Figura 8 tem-se efetivamente o conteúdo da mensagem, ou seja, os dados a serem transmitidos. Embora os dados possam ser transmitidos em diversos formatos diferentes, o formato escolhido para troca de dados entre os módulos principais e o central, foi mesmo indicado na Figura 9.

O texto que segue tal formato é chamado de *query string*. A regra de formação é baseada em pares chave-valor separados pelo caracter ‘&’. No caso do método de requisição GET, a *query string* é colocada no final do recurso (nesse caso: demo_form.php) e após o símbolo de “?”, ainda na primeira linha da requisição, conforme ilustra a Figura 9.

```
/test/demo_form.php?name1=value1&name2=value2
```

Figura 9 - Exemplos de dados segundo o formato query string

Uma vez que o cliente realiza a requisição, o mesmo aguarda uma resposta do servidor. A resposta segue um formato muito similar ao que é mostrado na Figura 10.

```
HTTP/1.1 200 OK
Server: Microsoft-IIS/4.0
Date: Mon, 3 Jan 1998 13:13:33 GMT
Content-Type: text/html
Last-Modified: Mon, 11 Jan 1998 13:23:42 GMT
Content-Length: 112

<html>
<head>
<title>HTTP Response Example</title></head><body>
Welcome to Brainy Software
</body>
</html>
```

Figura 10 - Exemplo de resposta HTTP

Na primeira linha da resposta do servidor ao cliente, aparece a versão do protocolo HTTP sendo utilizado. Na mesma linha, o código 200 e o termo “OK” indicam que o servidor recebeu e interpretou com sucesso a requisição feita pelo cliente.

O espaço compreendido entre a segunda linha e a linha vazia da Figura 10, contém informações sobre a resposta do servidor. Finalmente, após a linha vazia, situa-se o conteúdo da resposta, seguindo o formato de acordo com o serviço requisitado. Nesse caso, trata-se de uma página HTML (*Hypertext Markup Language*). Esse modelo de resposta é o mesmo para os métodos POST e GET.

O protocolo HTTP exige que o cliente para enviar uma requisição ao servidor, conheça o IP (*Internet Protocol*) ou DNS (*Domain Name System*) do mesmo.

No entanto, diferente de um ambiente controlado como de uma bancada de laboratório (onde o IP do servidor local pode ser definido em tempo de compilação do programa do microcontrolador), em um ambiente como de uma residência (onde o IP do servidor local pode variar sempre que o mesmo for reiniciado), a comunicação entre os módulos pode falhar, exatamente pelo fato do IP variar dinamicamente.

Dessa forma, a troca de dados entre os módulos pode não acontecer e a operação do sistema fica comprometida. Para resolver esse problema foi implementado nos módulos do sistema o protocolo mDNS (*multicast Domain Name System*).

Este protocolo permite que em uma rede local, dispositivos sejam capazes de descobrir outros dispositivos e seus respectivos serviços (como os serviços executados por um servidor web local).

Os dispositivos com suporte ao protocolo mDNS podem usar na rede local nomes de domínio com o sufixo “.local”. No caso do módulo central, seu nome de domínio é “http://modulocentral.local”.

Portanto, se um módulo principal precisa enviar dados para o módulo central e seu IP ainda é desconhecido, o principal pode primeiramente, enviar uma consulta mDNS na rede local, e solicitar que o central retorne seu IP. Uma vez que o principal receba o IP do central, eles podem a partir desse momento trocar dados normalmente.

Diante disso, constata-se que o protocolo mDNS é uma ferramenta muito poderosa, no sentido de permitir que o sistema de medição continue funcionando, mesmo que os IPs da rede variem dinamicamente. Isso significa que o sistema de medição funciona independentemente das configurações do roteador da residência, pois não é necessário atribuir IP fixo aos módulos do sistema, ou até mesmo efetuar redirecionamento de porta nos roteadores.

6.4.3 Sistema de identificação dos módulos

Uma vez que o módulo central reúne os dados dos demais módulos do sistema, torna-se importante que ele seja capaz de identificar e reconhecer corretamente cada um dos módulos conectados a ele.

Um sistema de identificação permite que os dados dos módulos sejam organizados de forma estruturada no central, e garante que este último consiga distinguir corretamente dados de diferentes módulos. Em outras palavras, garante que o central, por exemplo, não confunda dados de um medidor de energia elétrica com os de um de medidor de água.

O sistema de identificação dos módulos implementado no central funciona da seguinte forma:

- Quando um novo módulo principal se conecta com o central pela primeira vez, ele recebe uma ID, que é um número identificador do novo módulo. A ID é única e atribuída sequencialmente a cada novo módulo, ou seja, o primeiro a ser conectar com o central, recebe ID igual a 1, o segundo, igual a 2 e assim sucessivamente;
- Ainda nesse momento, o central recebe as configurações do novo módulo conectado. Isso significa, que o tipo (principal) e o recurso

medido (energia, água ou gás) são enviados para o central. Assim, o conjunto de ações executado pelo sistema relacionados a esses dois primeiros itens, é chamado de configuração de novo módulo;

- Uma vez que as configurações do novo módulo foram recebidas com sucesso pelo central, o novo módulo pode trocar dados normalmente com o central;
- Dessa forma, quando um módulo envia dados de consumo ao central, basta o primeiro enviar sua ID e o valor do consumo. Com a ID recebida, o central sabe onde ele deve guardar esse dado.

Da mesma forma, quando o central recupera o status do serviço de um módulo no banco de dados remoto, o central sabe para qual módulo do sistema ele deve enviar o status recebido do banco de dados. Assim, o comando de corte ou religamento pode ser executado pelo módulo.

6.5 Banco de dados

Dentre as opções atualmente disponíveis para criação de banco de dados, tais como MySQL, SQL server, entre outras, a que foi considerada mais interessante, pelo menos na etapa de desenvolvimento do protótipo, foi a que envolvia a possibilidade de criar um banco de dados hospedado diretamente em um servidor na nuvem.

Considerando que a função do banco de dados é armazenar e recuperar dados, de tal modo que eles estejam acessíveis aos diferentes elementos que compõem o sistema de medição, incluindo módulos, concessionária e consumidor; entende-se que dispor de um banco de dados acessível pela internet pode ser especialmente interessante.

Para implementar um banco de dados acessível remotamente pelos elementos do sistema de medição, foi utilizado o Google Planilhas. Como este serviço da Google permite criar planilhas online, os dados são salvos naturalmente em servidores na nuvem.

Como já é sabido, as planilhas organizam os dados em um formato tabular, composto por linhas e colunas. Os bancos de dados em sua essência, realizam a

mesma tarefa. E portanto, utilizar uma planilha como banco de dados, pode ser muitas das vezes uma opção tecnicamente viável.

6.6 Interação entre módulo central e o banco de dados

Neste tópico, os aspectos relacionados com a interação entre o módulo central e o banco de dados serão discutidos.

O módulo central é na prática um elemento intermediador entre os demais módulos do sistema e o banco de dados. Por essa razão, sua função é periodicamente, enviar dados de consumo dos módulos para banco de dados e recuperar deste último, os status do serviço dos módulos.

Na verdade, a troca de dados entre o módulo central e a planilha de dados não é direta. Conforme ilustra a Figura 11, essa comunicação é intermediada por um segundo produto da Google, o Apps Script.

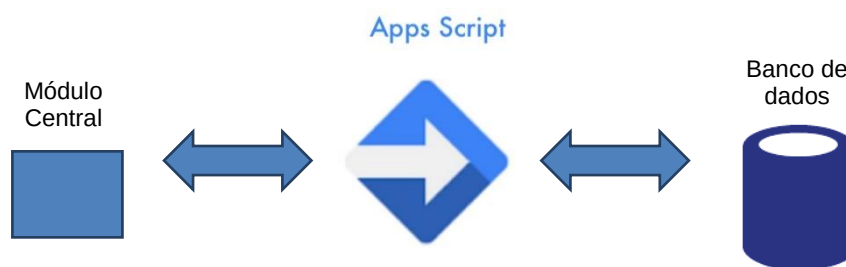


Figura 11 - Interação entre módulo central e banco de dados

O Apps Script permite criar os chamados Web Apps, que são aplicações desenvolvidas para serem executadas diretamente na web. Através do Google Apps Script é possível desenvolver aplicações que permitam a integração entre quase todos produtos da Google, entre eles estão: Gmail, Google Drive, Documentos e inclusive o Google Planilhas.

Os web apps são construídos a partir de scripts programados em uma linguagem própria do Google Apps Script, mas que é baseada e muito similar ao JavaScript.

Os scripts podem ser desenvolvidos sendo delimitados a um tipo de arquivo, por exemplo, o Google Planilha. Portanto, tudo que é executado pelo script atua principalmente sobre os dados de um determinado arquivo. Entretanto, isso não restringe a integração com demais produtos como, Gmail ou Google Drive.

No caso do sistema de medição desenvolvido, associado à planilha que funciona como banco de dados, foi elaborado um script para construção do web app responsável por atender as requisições feita pelo módulo central. Esse web app ao ser requisitado envia ou recupera dados da planilha. O fluxograma referente ao script desenvolvido está indicado na Figura 12.

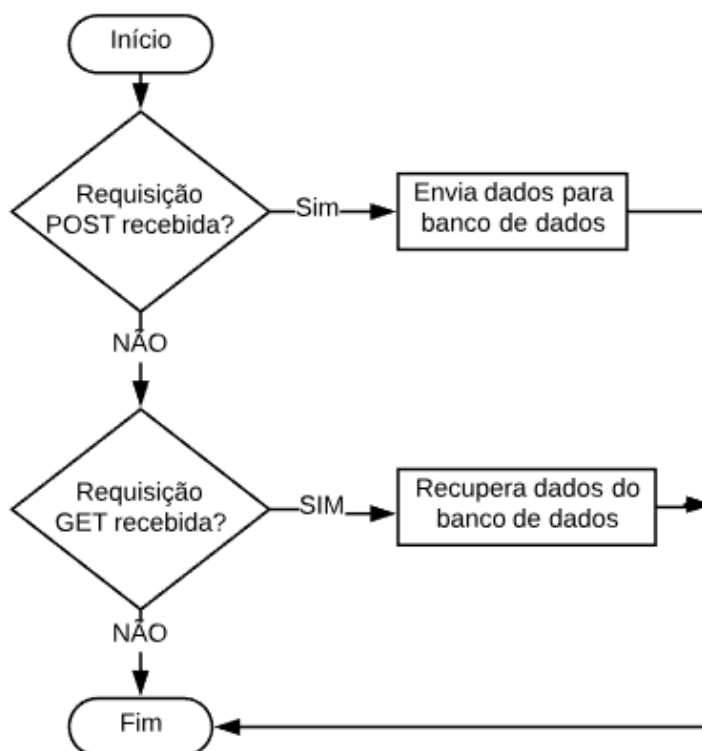


Figura 12 - Fluxograma do script

Os dados são enviados ou recuperados do banco de dados através de requisições HTTP ao web app. O método POST é usado pelo módulo central quando se deseja enviar dados ao banco de dados e GET quando os dados são recuperados. O web app produzido não possui interface, sendo acessado via URL que é gerada quando o script é publicado como web app.

Os dados quando são enviados ao banco de dados pelo módulo central são transmitidos no formato query string, conforme descrito no tópico 6.4.2. E quando recebidos, eles são transmitidos segundo o formato JSON (JavaScript Object Notation). Este formato de dados está ilustrado na Figura 13.

A arquitetura do sistema de medição foi elaborada de tal forma que, preferencialmente, apenas um módulo central acesse uma planilha de dados. Assim, como cada consumidor possuirá também, preferencialmente, um módulo central por

residência, tem-se associado a cada consumidor, uma única planilha com os dados de medição e status dos serviços de energia, água e gás.

```
{
  "message": "Success",
  "status_code": 200,
  "result": [
    {
      "id": "1",
      "gender_category": "Male"
    },
    {
      "id": "2",
      "gender_category": "Female"
    },
    {
      "id": "3",
      "gender_category": "Transgender"
    },
    {
      "id": "4",
      "gender_category": "Others"
    }
  ]
}
```

Figura 13 - Exemplo de dados no formato JSON

Fonte: adaptado de [140]

6.7 Aplicativo

Conforme mencionado no capítulo 5, o aplicativo tem a função de ser a interface entre o consumidor e o sistema de medição. Para isso, ele precisa ser capaz de acessar os dados contidos no banco de dados e mostrá-los para o consumidor.

Além disso, o aplicativo fornece meios para que o próprio consumidor possa suspender e religar os serviços de energia, de água e de gás de sua residência. Esse recurso pode ser especialmente útil nos casos em que o consumidor pretende ficar ausente por muito tempo da sua residência. Assim, o aplicativo também deve ser capaz de enviar dados para o sistema de medição.

Para desenvolver o aplicativo foi utilizada a plataforma MIT app inventor. Esta plataforma foi inicialmente desenvolvida pela Google, mas atualmente é mantida pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) [141].

A construção do aplicativo foi baseada no fluxograma apresentado no apêndice C. Assim como os módulos do sistema, a execução do aplicativo ocorre em duas etapas, onde cada uma possui uma tela de exibição para o usuário. A

primeira etapa é executada apenas uma vez e sempre quando o usuário abre o aplicativo no smartphone ou tablet.

O tempo de execução da primeira etapa é de aproximadamente quinze segundos, e durante esse tempo uma tela inicial é exibida ao usuário. Nesse período o aplicativo avalia se ele foi configurado, isto é, se o mesmo já foi associado a algum módulo central.

Em caso afirmativo, o aplicativo realiza três requisições consecutivas e espaçadas de cinco segundos cada ao banco de dados. Essas requisições são relativas aos dados de consumo e status dos serviços. Com isso, as variáveis internas do aplicativo são inicializadas. A partir disso, a segunda etapa pode ser iniciada. Em caso negativo, o próprio aplicativo apresenta na tela as instruções de configuração. Se o usuário concordar e iniciar o processo de configuração, uma caixa de texto surge na tela. Essa caixa de texto serve para o usuário colar um código alfanumérico, chamado de “Chave de Configuração”.

A chave de configuração pode ser enviada para o usuário por e-mail ou mensagem de texto, ou no caso de um produto, a chave pode estar disponível na própria embalagem do módulo central. Se o usuário inseriu corretamente a chave de configuração, o aplicativo apresenta uma mensagem afirmativa e a sua execução é reiniciada. Caso contrário, uma mensagem é apresentada e o usuário terá mais uma tentativa de configuração.

A chave de configuração é na verdade uma parte da URL gerada quando o script comentado no item 6.6 é publicado. Portanto, a chave de configuração fornece ao aplicativo a informação de qual endereço na web ele deverá realizar as requisições HTTP para obter e atualizar os dados do banco de dados.

Uma vez que o aplicativo tenha sido configurado corretamente e a primeira etapa tenha sido concluída, a segunda é iniciada. Nesta última etapa, as requisições relativas aos dados de consumo e status dos serviços continuam sendo realizadas consecutivamente. Mas desta vez, com espaçamento de vinte segundos entre elas.

As requisições realizadas na segunda etapa são executadas em looping e são encerradas apenas quando o aplicativo é fechado pelo usuário. Nesse momento os dados de consumo já estão disponíveis para visualização. Além disso, botões na tela permitem que os serviços sejam suspensos ou restabelecidos pelo próprio usuário.

7. RESULTADOS

Neste capítulo os resultados obtidos a partir das implementações discutidas no capítulo anterior são apresentados. Um protótipo foi elaborado a fim de validar a proposta do sistema de medição integrada. Assim, o protótipo abordado a seguir tem como objetivo estabelecer uma prova de conceito da arquitetura apresentada anteriormente.

O protótipo foi montado a partir do arranjo mostrado na Figura 14. O arranjo é constituído apenas pelas conexões mínimas necessárias para o funcionamento do módulo principal e do módulo central. As conexões eletrônicas foram feitas tendo como base os esquemas mostrados anteriormente na Figura 6 e na Figura 7.

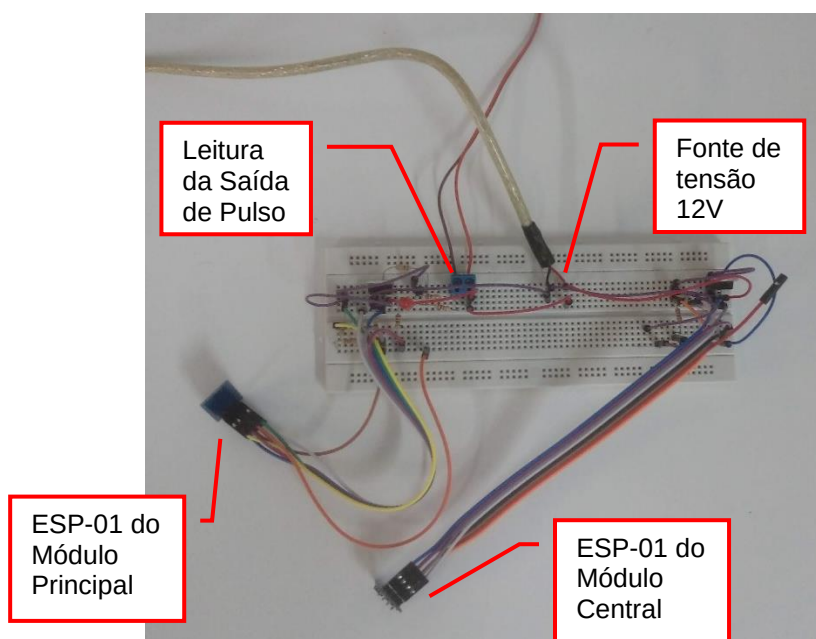


Figura 14 - Protótipo com arranjo para testes

O arranjo da Figura 14 permitiu realizar alguns testes e ensaios relacionados ao funcionamento do sistema de medição, os quais serão explorados a seguir.

7.1 Conexão com a rede wi-fi local

O processo de conexão do módulo principal e do central à rede wi-fi local é o mesmo. Para que os módulos possam se conectar à rede, é necessário que o usuário realize o seguinte procedimento:

7.2 Comunicação entre o módulo principal e módulo central

Uma vez estabelecida a conexão com a rede wi-fi da residência, os módulos principais e o módulo central podem quando necessitarem, trocar dados e iniciar um link de comunicação entre eles.

Para que essa comunicação ocorra, é necessário que os módulos, além de estarem na mesma rede local, o principal conheça o IP do central. Caso ele não conheça, o principal deve fazer uma consulta mDNS na rede local para obter IP do central. A Figura 16 ilustra essa situação acontecendo.

Módulo Principal

```

Conectando.....
Conectado à Rede WiFi: Marques
Endereço IP: 192.168.1.4
Hostname: ESP_DA64C0
Senha: 
Preparando para requisicao de configuracao...
Enviando consulta mDNS
Consulta mDNS (query) feita
1 servico(s) encontrados (a)
1: modulocentral (192.168.1.3:80)
IP do modulo central: 192.168.1.3
Conectando com o servidor...Conectado!
Enviando requisicao para: /configura (b)
Requisicao enviada com sucesso!Codigo HTTP: 200
Resposta do servidor: 1 (c)
Conexao com servidor encerrada

Valor de ID atualizado na EEPROM: 1 (d)
Configuracao de modulo realizada com sucesso!

```

Figura 16 - Consulta mDNS e configuração de novo módulo principal (parte 1)

Após o módulo principal iniciar seu funcionamento e detectar que o IP do módulo central é desconhecido ou que foi alterado pelo DHCP do roteador, o principal faz a consulta mDNS na rede (Figura 16-(a)). Como desejado, o resultado dessa consulta é o IP do módulo central. Note que esse IP é o mesmo daquele visto na Figura 15-(b), comprovando que de fato ele pertence ao módulo central.

Conforme mencionado no tópico 6.4.3, quando um módulo principal se conecta com o central pela primeira vez, este último deve atribuir uma ID ao primeiro. O processo de atribuição de uma ID é iniciado quando um módulo faz uma requisição de configuração ao módulo central (Figura 16-(b)).

Este por sua vez, ao receber a requisição (Figura 17-(a)), recebe também os parâmetros do módulo em questão (Figura 17-(b)), ou seja, tipo do módulo (principal-

p) e recurso medido por ele (energia elétrica - e). Esses parâmetros, além da ID que será atribuída são registrados no módulo central e posteriormente, ao final do processo, são enviados ao banco de dados.

Módulo Central

```
Requisicao de configuracao de novo modulo recebida (a)
URI: /configura
Method: POST
Arguments: 3
  tipoModulo: p (b)
  recurso: e
  ID: 0

tipoModulo: p
recurso: e
ID: 1 (c)
```

Figura 17 - Configuração de novo módulo principal (parte 2)

Como mencionado no tópico 6.4.3, as IDs são atribuídas sequencialmente aos novos módulos à medida que eles a solicitam ao módulo central. A ID atribuída (Figura 17-(c)), é enviada ao módulo que a solicitou, e após ser recebida (Figura 16-(c)), é salva na memória EEPROM deste módulo (Figura 16-(d)). Assim, é encerrado o processo de configuração de novo módulo ao sistema de medição.

A partir desse momento, a troca de dados entre os módulos ocorre normalmente. Quando um módulo principal envia seu consumo para o central, esse valor é acompanhado da ID do módulo. A Figura 18 – (a) mostra o recebimento desses dados no módulo central.

```
URI: /atualiza
Method: POST
Arguments: 2 (a)
  ID: 1
  consumo: 0

1
0
indice: 1
consumo: 0
Status: 1 (b)
Resposta: 1
```

Figura 18 - Módulo central recebendo a ID e o consumo de um módulo

Como mencionado no tópico 7.2, ao final do processo de configuração de novo módulo no sistema, seus parâmetros são enviados ao banco de dados pelo módulo central.

A Figura 20 mostra como esses parâmetros e outros dados, referente aos módulos do sistema são dispostos na planilha de banco de dados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	tipoModulo	recurso	consumo	status	statusFlag	statusPermissao		
2	1	p	e	0	1	1	1		
3									
4									

Figura 20 - Banco de dados (aba Dados)

Como mostra a Figura 20, a planilha é composta por duas abas, são elas: Dados e Histórico. Na aba Dados, todas as informações pertinentes aos módulos são registradas. Além dos parâmetros (ID, tipo do módulo, recurso), cada módulo possui mais quatro variáveis associadas: “consumo”, “status”, “statusFlag”, “statusPermissao”.

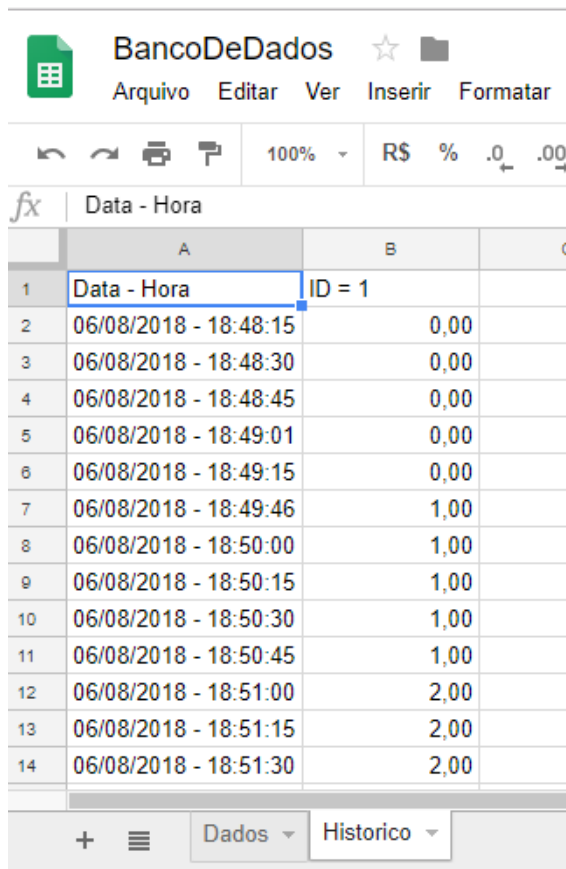
As variáveis “consumo” e “status” guardam respectivamente, os valores mais atuais do consumo e status do serviço daquele módulo. Quando a variável “status” vale “1”, o serviço está ativo, e quando está suspenso vale “0”. Inclusive, é através da definição do valor dessa variável, que se executa o corte ou religamento do serviço associado a esse módulo. No caso do consumidor, esse valor é definido através do aplicativo. No caso da concessionária, pode ser definido diretamente no banco de dados ou por software a ser desenvolvido.

As variáveis “statusFlag” e “statusPermissao” também se comportam como flags. Sendo a primeira para indicar se o status daquele módulo está atualizado, isto é, se o módulo correspondente já recebeu e executou a informação indicada na variável “status”. Assim, o valor “1” indica status atualizado, e o valor “0” indica status sendo atualizado.

Já “statusPermissao” tem seu valor definido apenas pela concessionária, e indica se o consumidor através do aplicativo tem permissão ou não, para alterar o

status daquele serviço. Isso porque, se a concessionária suspender o serviço daquele módulo, o consumidor não pode ser capaz de desfazer esse comando.

Na aba Histórico (Figura 21) são registrados o histórico do consumo de cada módulo conectado ao módulo central.



BancoDeDados		
Arquivo Editar Ver Inserir Formatar		
100% R\$ % .0 .00		
fx	Data - Hora	
	A	B
1	Data - Hora	ID = 1
2	06/08/2018 - 18:48:15	0,00
3	06/08/2018 - 18:48:30	0,00
4	06/08/2018 - 18:48:45	0,00
5	06/08/2018 - 18:49:01	0,00
6	06/08/2018 - 18:49:15	0,00
7	06/08/2018 - 18:49:46	1,00
8	06/08/2018 - 18:50:00	1,00
9	06/08/2018 - 18:50:15	1,00
10	06/08/2018 - 18:50:30	1,00
11	06/08/2018 - 18:50:45	1,00
12	06/08/2018 - 18:51:00	2,00
13	06/08/2018 - 18:51:15	2,00
14	06/08/2018 - 18:51:30	2,00

Figura 21 - Banco de dados (aba Histórico)

Através do conteúdo registrado na aba histórico é possível gerar gráfico de consumo, e a partir disso, obter o perfil de consumo da residência, tal como será mostrado mais adiante no apêndice D, por meio da Figura 28.

Portanto, uma vez inicializado, o módulo central atualiza o banco de dados periodicamente com os dados de consumo e consulta o status de serviços dos módulos. Os status recuperados do banco de dados são enviados para seus respectivos módulos, a medida que eles enviam seus consumos ao módulo central.

7.4 Aplicativo

Como mencionado em 6.7, assim que o aplicativo é aberto inicia-se uma sequência de requisições ao banco de dados. Essas requisições têm por objetivo

recuperar os dados do sistema para serem visualizados no aplicativo. A recuperação dos dados pode levar cerca de quinze segundos. Durante esse tempo, em que os dados ainda estão sendo recebidos, o aplicativo exibe para o usuário, uma tela inicial, como mostra a imagem à esquerda da Figura 22. Uma vez que todos os dados foram recuperados, eles são exibidos em uma segunda tela, mostrada à direita da Figura 22.

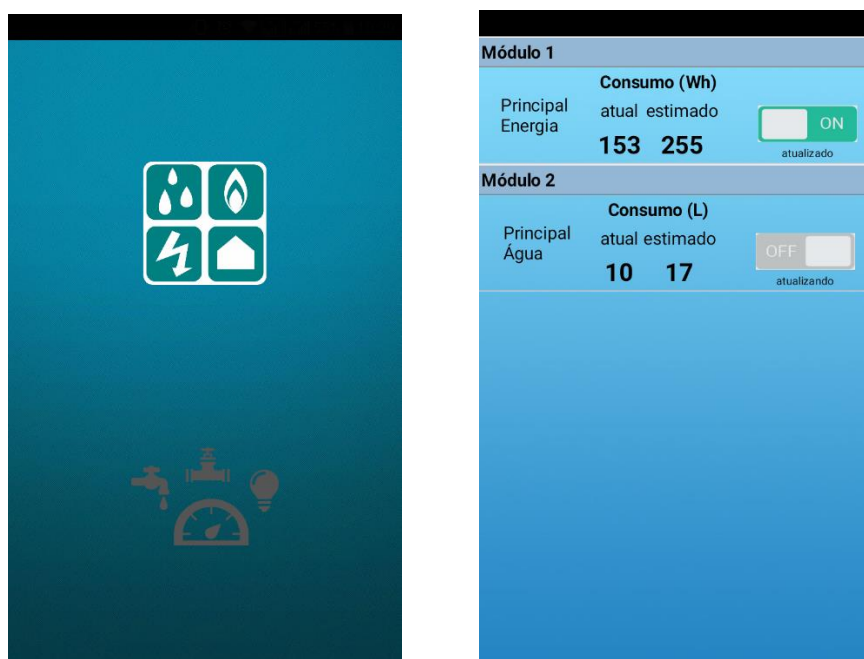


Figura 22 - Tela inicial (à esquerda) e de dados (à direita) do aplicativo

Na tela de dados é exibida uma janela para cada módulo do sistema. Nessas janelas são mostradas as informações sobre o recurso, consumo atual e consumo estimado mensal para cada módulo. Além disso, o status atual do serviço é indicado pela imagem do botão localizado à direita da janela. Esse botão também ativa ou suspende o serviço correspondente ao módulo.

O consumo estimado mensal é calculado a partir de uma regressão linear, baseada no histórico de consumo do usuário do mês corrente. Então, se o usuário manter seu padrão de consumo até final do mês corrente, o consumo estimado será muito próximo do consumo mensal.

7.5 Ensaio de funcionamento do sistema de medição com carga

Neste tópico será descrito o ensaio que foi realizado a fim de verificar o funcionamento do sistema de medição como um todo.

Com o módulo principal para energia elétrica conectado à saída de pulso de um medidor eletrônico, duas cargas foram ligadas seguindo cronograma da Tabela 2.

Tabela 2 - Cronograma e cargas do ensaio

Intervalo de tempo (min)	Cargas	Potência nominal (W)
0 - 20	Carga 1	65
20 - 35	Carga 1 + Carga 2	$65 + 40 = 105$
35 - 40	Sem carga	0

Assim, nos primeiros vinte minutos, apenas a carga 1 ficou ligada. Em seguida, a carga 2 foi adicionada e ambas permaneceram ligadas por quinze minutos. No terceiro intervalo, todas as cargas foram desligadas, mas o sistema permaneceu monitorando por cinco minutos. O ensaio teve duração total de aproximadamente quarenta minutos.

A carga 1 indicada na Tabela 2 refere-se a uma lâmpada fluorescente de 65W e a carga 2 a um ferro de solda de 40 W. Os dados de consumo foram monitorados em tempo real diretamente no banco de dados.

A Figura 23 apresenta uma visão geral do arranjo montado para realizar este ensaio. Já a Figura 24 apresenta uma visão detalhada das conexões no medidor.

Durante o ensaio, a planilha funcionando como banco de dados gerava em tempo real um gráfico do consumo. O gráfico final está disponível no apêndice D, como mostra a Figura 28.

Na Figura 28, é possível perceber que ao longo de cada intervalo de tempo determinado pela Tabela 2, a inclinação do gráfico é aproximadamente constante, conforme já esperado.

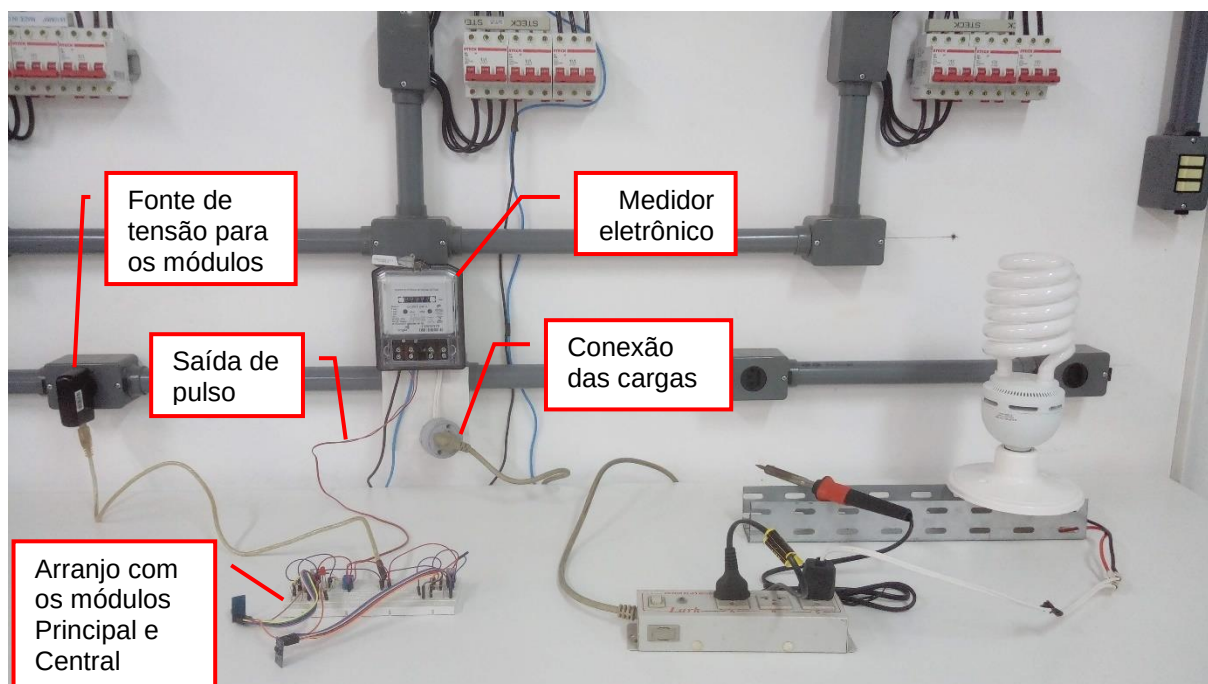


Figura 23 - Visão geral do ensaio

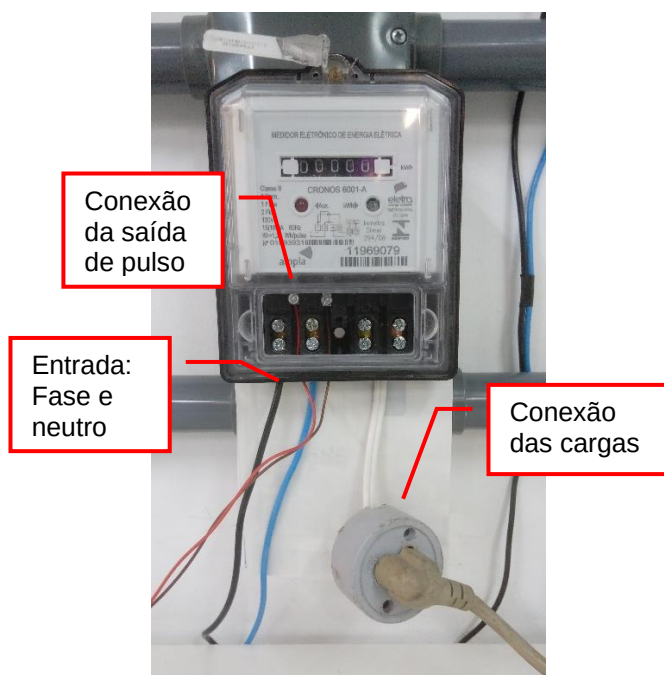


Figura 24 - Visão detalhada do medidor

Assim, ao final dos vinte primeiros minutos, a inclinação do gráfico é levemente acentuada, indicando um aumento de carga. Essa nova inclinação se mantém por quinze minutos, até o início do terceiro e último intervalo de tempo.

Neste período é notório que o consumo acumulado permanece constante, indicando que as cargas foram desligadas.

Ao final do ensaio, foram computados pelo módulo principal 38 pulsos. Como a constante de pulso do medidor eletrônico vale 1,25 Wh, então energia registrada pelo módulo equivale a 47,5 Wh, conforme indica o gráfico da Figura 28. O medidor eletrônico utilizado possui classe de exatidão de 1% (classe B).

Considerando a potência nominal das cargas e o tempo em que cada uma ficou ligada, de acordo com os dados da tabela 1, o consumo esperado seria de 47,9 Wh. Como este valor está muito próximo de 47,5 Wh, pode-se considerar que valor registrado pelo módulo principal é compatível com o esperado.

7.6 Custos do projeto

A fim de certificar que o projeto está compatível com a proposta de ser um sistema de medição de baixo custo, a Tabela 3 apresenta os custos do projeto.

Tabela 3 - Custo do sistema de medição

Quant.	Item	Preço unitário	Preço
3	Resistor 10K Ω	R\$ 0,85	R\$ 2,55
3	Resistor 1K Ω	R\$ 0,85	R\$ 2,55
3	Capacitor de Poliester 100nF 63V	R\$ 2,70	R\$ 8,10
2	Relé 5V 127V 10A	R\$ 3,30	R\$ 6,60
3	Módulo wifi ESP8266-01	R\$ 28,90	R\$ 86,70
3	Barra de 4 pinos fêmea	R\$ 5,90	R\$ 17,70
1	Barra de (40) pinos macho	R\$ 2,00	R\$ 2,00
3	Regulador LM1117T 3,3V	R\$ 5,00	R\$ 15,00
2	Mini fonte Hi-Link 5VDC 3W	R\$ 30,00	R\$ 60,00
2	Transistor TIP122	R\$ 2,00	R\$ 4,00
2	Conector Borne KRE 2 vias	R\$ 1,35	R\$ 2,70
3	Conector P2 macho	R\$ 1,36	R\$ 4,08
2	Conector P4 fêmea (2,1x5,5mm)	R\$ 2,90	R\$ 5,80
3	Caixa patola para montagem	R\$ 14,00	R\$ 42,00
2	Placa de fenolite	R\$ 11,00	R\$ 22,00
1	Fonte Chaveada 12VDC 1A	R\$ 15,00	R\$ 15,00

Custos dos componentes	R\$ 296,78
frete	R\$ 35,00
Total:	R\$ 331,78

Embora alguns componentes presentes na Tabela 3 não tenham sido utilizados no protótipo, seus valores foram considerados a fim de que eles possam compor o custo total do sistema. Assim, o custo total encontrado poderá ser usado para comparação com projetos similares.

Os componentes e os valores indicados na Tabela 3 são referentes ao custo total de um módulo central e dois módulos principais (sendo um para energia elétrica e outro para água). Os valores dos componentes são referentes ao período de abril de 2018. A Tabela 4 apresenta o custo do projeto discriminado por módulo.

Tabela 4 - Custo por módulo

Módulo	Custo
Central	R\$ 95,00
Principal - Energia	R\$ 110,00
Principal - Água e gás	R\$ 95,00
Total: R\$ 300,00	

Para avaliar se o projeto atendeu as expectativas de ser um sistema de medição de baixo custo, será utilizado como referência o projeto Energy Box. O qual foi descrito no tópico 2.2 e serviu como incentivo para a proposta deste trabalho.

Como mencionado no tópico 2.2, o Energy Box também tem a proposta de ser um projeto de baixo custo. Em 2015, seu preço de venda estava entre € 100 e € 150 [42], [142]. Considerando que a inflação acumulada do Euro desde 2015 até 2018 é de 2,8%, e a cotação do Euro no momento em que este trabalho foi escrito (setembro de 2018) era de R\$ 4,87; então, o valor do Energy Box na moeda nacional e corrigido pela inflação, estaria entre R\$ 500,64 e R\$ 750,95.

Antes de comparar os custos, é preciso observar que as funcionalidades do sistema desenvolvido que são equivalentes ao Energy Box, correspondem o módulo central funcionando em conjunto com o módulo principal, e este último estando conectado ao medidor eletrônico de energia elétrica.

Considerando que o custo de um medidor eletrônico trifásico em setembro de 2018 é de aproximadamente R\$ 280,00 e os custos referentes aos módulos principal e central, de acordo com a Tabela 4 totalizam R\$ 205,00, então, o custo do sistema desenvolvido, para as funcionalidades equivalentes do Energy Box, é de R\$ 485,00.

Assim, comparando o custo do sistema desenvolvido (R\$ 485,00) com a faixa de preço do Energy Box (entre R\$ 500,64 e R\$ 750,95), verifica-se que o projeto desenvolvido atendeu a proposta de ser um sistema de medição de baixo, uma vez que o Energy Box pode ser considerado uma referência de baixo custo.

No entanto, vale observar que o valor de R\$ 485,00 representa o preço de custo do sistema desenvolvido, e a faixa de preço do Energy Box apresentada, refere-se ao preço de venda deste medidor. Não obstante, tal comparação tem o propósito de estabelecer uma percepção do patamar do custo (sendo ele baixo ou elevado), do sistema de medição desenvolvido.

Ainda com esse propósito, é interessante também comparar o custo do sistema desenvolvido, com produtos disponíveis no mercado nacional. Neste mercado, os produtos que mais se aproximam daquele descrito neste trabalho são o MEI-TCI [143] e o Smappee PRO [144] conectado com Smappee Água e Gás [145].

O MEI-TCI é descrito pelo fabricante Mercado como um medidor eletrônico de energia e de Insumos com wi-fi e, portanto, é um produto que possui um medidor de energia embutido. O segundo produto pertence ao fabricante Almax Energia, e na verdade tratam-se de dois módulos de monitoramento, sendo um para energia (Smappee PRO) e outro para água e gás (Smappee Água e Gás). Esses módulos são então conectados aos medidores da residência. Para fins de comparação, a Tabela 5 apresenta um quadro comparativo de valores entre os produtos mencionados e o sistema desenvolvido. Os valores dos produtos indicados na Tabela 5 são de setembro de 2018.

Tabela 5 - Tabela comparativa entre modelos disponíveis no mercado nacional e o sistema desenvolvido

Modelos	Sistema desenvolvido	MEI-TCI	Sistema desenvolvido	Smappee PRO + Água e Gás
Observação	Com medidor de energia		Sem medidor de energia	
Custo	$280 + 300 =$ R\$ 580,00	R\$ 1.374,71	R\$ 300,00	$5.610,14 + 736,95$ = R\$ 6.347,10

Conforme pode ser observado na Tabela 5, o custo do sistema descrito neste trabalho representa aproximadamente 42% do preço de venda do MEI-TCI. Já em relação aos módulos Smappees, a diferença de custo em valores absolutos, chega a

ser cerca de R\$ 6.000,00. Esses valores confirmam que o sistema desenvolvido de fato, alcançou a proposta de ser um sistema de medição de baixo custo.

Assim como no caso da comparação com o Energy Box, os valores indicados na Tabela 5, quando referem-se ao sistema desenvolvido, correspondem ao seu preço de custo, e quando referem-se aos produtos, correspondem aos seus respectivos preço de venda.

Dessa forma, a comparação mostrada na Tabela 5, tem o propósito de apenas indicar o patamar de custo do sistema desenvolvido, que pode ser considerado baixo em relação aos produtos disponíveis no mercado nacional.

8. CONCLUSÃO

Tendo como motivação os benefícios e desafios da medição inteligente, este trabalho descreveu o desenvolvimento de um sistema de medição integrada de baixo custo para energia elétrica, água e gás de residências.

A proposta desse sistema é coletar os dados de medição dos principais insumos de uma residência, apresentá-los em tempo real para o consumidor através de um aplicativo móvel e enviá-los remotamente para as respectivas concessionárias. Além disso, o sistema permite que as concessionárias realizem o corte e religamento dos seus serviços também de forma remota.

Com esse sistema, além das concessionárias de energia, água e gás ficarem dispensadas de contratarem leituristas pois podem obter a leitura dos seus medidores de forma automática e remota, elas também podem reduzir seus custos operacionais e de mão-de-obra, quando efetuarem as operações de suspensão e restabelecimento dos seus serviços.

Com o sistema desenvolvido, as concessionárias podem compartilhar a mesma infraestrutura para coletar os dados de medição dos seus clientes e atuar remotamente na suspensão e restabelecimento dos seus serviços.

Pelo lado do cliente, o sistema permite que os usuários acompanhem seu consumo em tempo real, ajudando-os a conhecer o perfil de consumo da sua própria residência e ainda, obter uma estimativa do seu consumo mensal sempre que desejar, e não apenas uma vez por mês, quando recebe fatura, como acontece atualmente na maioria das residências.

Embora o protótipo tenha sido desenvolvido com o propósito de apenas validar a proposta do sistema de medição, alguns dos recursos e soluções empregadas, já visam sua implementação como produto. Como é caso do recurso WPS (para conexão dos módulos à rede wi-fi local), hospedagem do banco de dados na nuvem (de modo que o sistema funcione independentemente das configurações do roteador) e protocolo mDNS (para comunicação entre os módulos em uma rede com IPs dinâmicos).

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foi vislumbrada a possibilidade de seu conteúdo ser incorporado a de um outro sistema. Este último por sua vez,

está sendo objeto de análise de pedido de patente, junto à ETCO-UFF (Divisão de Transferência de Conhecimento da UFF).

Até o momento da escrita deste trabalho, o objeto que está em análise na ETCO-UFF é referente a um sistema de baixo custo para controle de acesso por biometria da impressão digital. Assim, o conteúdo deste trabalho irá, na verdade, adicionar novas funcionalidades a um sistema de controle de acesso cujo o processo de pedido de patente já está em andamento.

Os autores do pedido de patente, incluindo o autor deste trabalho, pretendem com a integração dos sistemas de gestão energética e de controle de acesso da residência, potencializar os benefícios que a plataforma desenvolvida neste trabalho, proporciona ao consumidor, no que se refere ao gerenciamento e monitoramento da sua residência.

As pesquisas de anterioridade realizadas no âmbito do processo de pedido de patente, e o levantamento do estado da arte realizado neste trabalho, mostram que a integração dos dois sistemas representam uma novidade significativa no estado da técnica, tanto para os sistemas de controle de acesso, quanto para sistemas para gestão energética de residências.

8.1 Trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante investigar formas de reforçar a segurança dos dados no sistema de medição desenvolvido.

Com relação à aspectos financeiros, um estudo para avaliar a viabilidade financeira da implementação deste sistema de medição em larga escala, poderia ser realizado. Assim, seria possível mensurar as vantagens econômicas deste sistema em relação, aos tradicionais sistemas de medição utilizados atualmente pelas concessionárias.

Aliada à análise de viabilidade mencionada, um plano de negócio poderia ser elaborado, para empresas prestadoras de serviços de internet. Isso porque, a infraestrutura já existente dessas empresas, pode ser utilizada para a implementação do sistema de medição descrito neste trabalho.

Assim, além das concessionárias não precisarem investir em uma nova infraestrutura de medição, elas podem compartilhar a infraestrutura já existente das empresas de internet.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Falcão, “Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid,” em *Anais do SBSE 2010*, Belém, PA, 2010.
- [2] D. Falcão, “Smart Grid e Microrredes: O Futuro já é Presente,” em *Anais do VIII SIMPASE*, Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- [3] U.S. Department of Energy, “Smart Grid System Report,” julho 2009. [Online]. Available:
http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/SGSRMain_090707_lowres.pdf.
- [4] NIST - U.S. Department of Commerce, janeiro 2010. [Online]. Available:
<https://www.nist.gov/engineering-laboratory/smart-grid>.
- [5] S. P. Chowdhury, P. Crossley e S. Chowdhury, *Microgrids and Active Distribution Networks*, 1 ed., Londres: The Institution of Engineering and Techonology, 2009.
- [6] V. Maryama, “Gerenciamento Energético para Microrredes Inteligentes,” Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- [7] H. Caldas, “Smart Home - Smart Appliances,” Porto, 2015.
- [8] V. Ricquebourg, D. Durand, B. Marhic e C. Logé, “The Smart Home Concept : our immediate future,” em *1ST IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics*, Hammamet, Tunisia, 2006.
- [9] P. B. J.R. Muratori, “Automação residencial:,” abril 2011. [Online]. Available:
<https://www.osetoreletrico.com.br/capitulo-i-automacao-residencial-historico-definicoes-e-conceitos/>.
- [10] M. Alcântara, “Agenda de Pesquisa em Rede Inteligente no Programa de P&D da ANEEL,” em *Anais do SBSE 2012*, Goiânia, GO, 2012.
- [11] W. J. Chiang, H. L. Jou e J. C. Wu, “Maximum power point tracking method for the voltage-mode grid-connected inverter of photovoltaic generation system,” em *International Conference Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, Singapore, 2008.

- [12] B. Saint, "Rural Distribution System Planning Using Smart Grid Technologies," em *Rural Electric Power Conference (REPC'09)*, Fort Collins, CO, 2009.
- [13] R. D. Oliveira e J. C. M. Vieira, "Benefícios e desafios de redes inteligentes," *revista eletrônica de Energia*, vol. 2, nº 1, pp. 3-14, dezembro 2012.
- [14] P. Soares, "Análise de soluções tecnológicas para comunicações Power Line Carrier," Porto, 2010.
- [15] S. Granato e J. Vieira, agosto 2011. [Online]. Available: www.smartgridnews.com.br.
- [16] A. Fuentes, fevereiro 2017. [Online]. Available: <http://veja.abril.com.br/blog/impavido-colosso/brasil-piora-em-ranking-e-passa-a-ser-o-6-com-a-energia-mais-cara-do-mundo/>.
- [17] M. McHenry, "Technical and governance considerations for advanced metering infrastructure/smart meters: Technology, security, uncertainty, costs, benefits, and risks," *Energy Policy*, pp. 834-842, maio 2013.
- [18] S. Nimbargi, S. Mhaisne, S. Nangare e M. Sinha, "Review on AMI Technology for Smart Meter," em *IEEE International Conference on Advances in Electronics, Communication and Computer Technology (ICAECCT)*, Pune, 2016.
- [19] F. Toledo, *Desvendando As Redes Elétricas Inteligentes - Smart Grid Handbook*, Rio de Janeiro: Brasport, 2012.
- [20] ANEEL, "Tarifa Branca," fevereiro 2017. [Online]. Available: <http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>.
- [21] J. Goulart, "Efeitos de Programas de Resposta à Demanda e da Microgeração nas Redes de Distribuição," Rio de Janeiro, 2015.
- [22] C. Lapa, M. Saidel e K. Santo. [Online]. Available: http://www.cck.com.br/artigos/palestras/importancia_medicao.pdf. [Acesso em 16 setembro 2017].
- [23] N. Braga, "Gerenciamento pelo Lado da Demanda em Áreas Residenciais," Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- [24] M. Fortes, V. Ferreira, R. Maciel, W. Marques, L. Arariba e W. Correia,

- “Medição Eletrônica e a Eficiência Energética,” em *X CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético*, Gramado, 2016.
- [25] M. Fortes, A. Ribeiro, D. Gonçalves, M. Schaefer e M. Flores, “Análise da adoção de medidores inteligentes como instrumento da política pública de eficiência energética,” *Engevista*, vol. 19, pp. 316-327, Maio 2017.
- [26] D. Souza e S. Silva, “SMART-GRID: Aplicação da Medição Inteligente Para a Redução de Perdas Técnicas e Não Técnicas Na Distribuição de Energia Elétrica,” AMERICANA, SP, 2015.
- [27] ANEEL, “Resolução normativa nº 482/2012,” Abril 2012. [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.
- [28] ANEEL, “Resolução Normativa N° 687/2015,” Novembro 2015. [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.
- [29] J. Rigodanzo, “Instalação de medidores inteligentes no Brasil: uma análise econômica,” Santa Maria, RS, Brasil, 2015.
- [30] V. Péres, M. Campos e T. Liang, “Smart Grid: uma possibilidade para a distribuição elétrica brasileira,” *Revista INNOVER*, vol. 1, pp. 106-118, dezembro 2014.
- [31] V. Ferreira, W. Marques, R. Maciel, W. Correia, B. Borba e T. Santos, “Technical and Financial Assessments for Comparison of Measurement Technologies in the Smart City Buzios Project,” em *24th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution - CIRED 2017*, Glasgow, Scotland, 2017.
- [32] F. Saad, janeiro 2012. [Online]. Available: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/5713-pros-e-contras-de-medidores-inteligentes-de-energia/>.
- [33] S. Depuru, L. Wang, V. Devabhaktuni e N. Gudi, “Smart meters for power grid — Challenges, issues, advantages and status,” em *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, Phoenix, AZ, USA, 2011.
- [34] R. Galvão, 2016. [Online]. Available: http://www2.uol.com.br/sciam/artigos/o_custo_das_redes_inteligentes.html.
- [35] M. Kup, “Estudo da Medição Inteligente para consumidores residenciais no

- Brasil,” Rio de Janeiro, 2015.
- [36] L. I. Opris, “On the Implementation of the functionalities of Smart Metering Systems,” em *The 8th International Symposium on Advanced topics in electrical engineering*, Bucharest, Romania, 2013.
 - [37] ANEEL, “Resolução normativa nº 502/2012,” agosto 2012. [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf>.
 - [38] J. Chou e I. Yuatami, “Smart meter adoption and deployment strategy for residential buildings in Indonesia,” *Applied Energy*, pp. 336-349, 2014.
 - [39] W. A. Marques, V. H. Ferreira e G. G. Sotelo, “Design of a real-time, low-cost monitoring system for hybrid solar-wind power generation system,” em *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)*, Niteroi, 2018.
 - [40] R. Mohassel, A. Fung, F. Mohammadi e K. Raahemifar, “A survey on Advanced Metering Infrastructure,” *Electrical Power and Energy Systems*, p. 473–484, julho 2014.
 - [41] INESC, janeiro 2014. [Online]. Available: <http://connect.inesctec.pt/events-pt/portugal-pioneiro-2013-energy-box-1>.
 - [42] E. Tormann, fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://www.etormann.tk/2015/02/tecnologia-made-in-portugal-para-poupar.html>.
 - [43] E. Commission, dezembro 2016. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>.
 - [44] D. Xuzhi, L. Zhijuan, Z. Jin e H. Lu, “The development and operation of integrated automatic meter reading system in Shanghai,” em *IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, Xi'an, 2016.
 - [45] M. Choi, S. Ju e Y. Lim, “Design of integrated meter reading system based on powerline communication,” em *2008 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, Jeju city, Jeju Island, 2008.
 - [46] R. Goad, “The smart grid for an integrated multi-service utility,” em *IEEE PES T&D 2010*, New Orleans, LA, 2010.
 - [47] G. Casa, P. Mirandola e F. Veroni, “Energy supply, new services and business opportunities,” em *Eighth International Conference on Metering and*

- Tariffs for Energy Supply*, Brighton, 1996.
- [48] H. Huisman, "Integration of energy and information: multima," em *14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, 1997,.
 - [49] S. A. Al-Qatari e A. R. Al-Ali, "Microcontroller-based automated billing system," em *Proceedings IEEE*, Taipei,, 1995.
 - [50] E. R. Diaz, E. J. P. García, M. Savaghebi, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero e A. M. Munoz, "Advanced Smart Metering Infrastructure for Future Smart Homes," em *5th International Conference on Consumer Electronics Berlin*, Berlim, 2015.
 - [51] Z. Bocheng, "Design of Building Energy Monitoring an Management System," em *Second International Conference on Business Computing and Global Informatization*, Shanghai, 2012.
 - [52] R. J. Nayaka e R. C. Biradar, "Data Aggregation and Routing Scheme for Smart City Public Utility Services Using WSN," em *Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies*, Coimbatore, India, 2017.
 - [53] B. Aghaei, "Using Wireless Sensor Network in Water, Electricity and Gas industry," em *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, Kanyakumari, India, 2011.
 - [54] C. Decroze, G. Villemaud, F. Torres, B. Jecko, B. Zielinska, J. Grebmeier, G. Picard e S. Petihomme, "Integrated coplanar antennas for short range link at 868 MHz," em *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, San Antonio, Texas, USA, 2002.
 - [55] E. Patt, E. Pons, D. Martellacci, F. B. Castagnetti, A. Acquaviva e E. Macii, "multiFLEX: Flexible Multi-utility, Multi-service Smart Metering Architecture for Energy Vectors with Active Prosumers," em *International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems*, Lisbon, Portugal, 2015.
 - [56] S. H.Patil, R. J. Nayaka e R. C.Biradar, "Data Analytics in Wireless Sensor based network for Public Utility Control and Management," em *International Conference On Recent Trends In Electronics Information Communication Technology*, Bangalore, India, 2016.

- [57] R. J. Nayaka e R. C. Biradar, "QoS Analysis of WSN Based Cluster Tree Data Fusion for Integrated Public Utility Management," em *IEEE International Advance Computing Conference*, Bangalore, 2015.
- [58] P. Ferrari, A. Flammini, S. Rinaldi, E. Sisinni e A. Vezzoli, "Toward smart metering application exploiting IPv6 over wM-bus," em *IEEE Workshop on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems*, Trento, 2013.
- [59] V. Tikhvinskiy, P. Korchagin, G. Bochechka, A. Gryazev e A. Aytmagambetov, "Spectrum sharing in 800 MHz band: Experimental estimation of LoRa networks and Air Traffic Control Radars co-existence," em *International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2017*, Angers, France, 2017.
- [60] J. Höglund, J. Eriksson, N. Finne, R. Sauter e S. Karnouskos, "Event-driven IPv6 communication for the smart grid infrastructure," em *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops*, Barcelona, 2011.
- [61] C. Martinez-Ortiz, M. Beck e P. De Wilde, "EWMA based approaches for automated building energy analysis," em *International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, Bilbao, Spain, 2011.
- [62] M. Popa, "Gateway design and implementation in an Automatic Meter Reading system based on Power Line Communications," em *The 7th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, Gyeongju, 2011.
- [63] J. Hosek, P. Masek, D. Kovac e F. Kröpfl, "M2M gateway: The centerpiece of future home," em *6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*, St. Petersburg, 2014.
- [64] M. Dujak, V. Para, M. Đ. e A. Herić, "Machine-to-machine communication as key enabler in smart metering systems," em *36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, Opatija, 2013.
- [65] O. Ur-Rehman e C. R. N. Zivic, "Security issues in smart metering systems,"

- em *IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering*, Oshawa, ON, 2015.
- [66] J. Lloret, J. Tomas, A. Canovas e L. Parra, “An Integrated IoT Architecture for Smart Metering,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 50-57, dezembro 2016.
 - [67] P. T. K. Farrar e A. Moruz, “Systems and methods for utility usage monitoring and management”. EUA Patente US 2015/0088.442 A1, 26 Março 2015.
 - [68] S. M. Assadi, “A solution for sub-metering of electricity, gas and water in multi-residential and commercial building”. França Patente CA2593568, 31 julho 2007.
 - [69] B. D. Bogolea, P. J. Boyle e A. V. Shindyapin, “System and method for monitoring and estimating energy resource consumption”. E.U.A Patente US 2008/0224892 A1, 18 setembro 2008.
 - [70] S. Frader-Thompson, T. Kennedy, A. Martin, D. Riegel e S. v. Muehlen, “Interfacing to resource consumption management devices”. E.U.A Patente US 2011/0061014 A1, 10 março 2011.
 - [71] M. Johnson, “In-home display”. EUA Patente US 2010/0188257 A1, 29 julho 2010.
 - [72] M. Ö. Hun e A. Özalp, “Integrated and automated water, gas and electricity meter reading via power line carrier”. Alemanha Patente EP1379012, 03 julho 2002.
 - [73] T. R. Turino, K. Bergiven, D. Opperman e A. Warner, “Integrated circuit design automatic utility meter apparatus method.”. EUA Patente 5,994,892, 30 novembro 1999.
 - [74] S. Cumeralto e R. DeVries, “Method and apparatus for collecting and displaying consumption data from a meter reading system”. EUA Patente US 7,317.404 B2, 08 janeiro 2008.
 - [75] R. G. Oldham e R. S. Colby, “Devices and methods for determining the amount of individual usage of a shared commodity”. EUA Patente US 2006/0289623 A1, 28 dezembro 2006.
 - [76] M. C. Han, “system and method for wireless automatic meter reading”. Coreia

- Patente US 2003/0034900 A1, 20 fevereiro 2003.
- [77] D. Gristina, D. Gristina e G. Giammo, "System for managing resource infrastructure and resource consumption in real time". EUA Patente US 2003/0135339 A1, 17 julho 2003.
 - [78] D. A. Katz, "Communication System for Data Acquisition from Remote Devices Applicable for AMR". 2009 Patente US 2009/0146838A1, 11 junho 2009.
 - [79] S. S. Soliman, "Method and apparatus for wireless remote telemetry using ad-hoc networks". EUA Patente US 6,985,087 B2, 10 janeiro 2006.
 - [80] H. Tomas, "Method of automatic meter reading". República Checa Patente EP1677270 A1, 31 dezembro 2004.
 - [81] R. Iwamura, "System and method for a networked utility meter". EUA Patente US 2007/0222636A1, 27 setembro 2007.
 - [82] T. J. Belski, R. A. Johnson e B. E. Gray, "System and method for communicating and control of automated meter reading". EUA Patente US 6,657,552 B2, 02 dezembro 2003.
 - [83] E. Kagan e R. A. Koval, "Systems and methods for processing meter information in a network of intelligent electronic device". EUA Patente US 2013/0205022 A1, 08 agosto 2013.
 - [84] R. T. Mason, A. J. Borleske e K. C. Shuey, "Using a fixed network wireless data collection system to improve utility responsiveness to power outages". EUA Patente US 7,308,370 B2, 11 dezembro 2007.
 - [85] D. F. Johnson, M. Wiebe, E. Hollowick, N. R. Jacob, M. F. Murphy, J. J. Schellenberg e M. S. Stasenski, "Wide area communications network for remote data generating stations". EUA Patente US 6,172,616 B1, 09 janeiro 2001.
 - [86] B. V. Oohlsee e N. L. Schoonhoven, "An apparatus for reading from a utility meter for electric power, gas and or water". Alemanha Patente DE 20 2008 007 959 U1, 20 novembro 2008.
 - [87] B. Waermemesser, "Consumption collection arrangement e.g. for heating, electricity, water, gas, oil and delivering appropriate consumption information".

- Alemanha Patente DE202004013213U1, 21 outubro 2004.
- [88] J. B. Dipl, "Consumption data reading out system, has communication device designed in such manner that it sends data sent by optical character recognition modules over local data channel to reading position of supplier via supplier data channel". Alemanha Patente DE102007036687A1, 04 julho 2007.
- [89] H. Crichlow, "Customer supported automatic meter reading method". EUA Patente US 2009/0267792 A1, 29 outubro 2009.
- [90] M. Rac, "Energy or water consumption meter e.g. gas meter, reading indicating device for use in e.g. domestic area, has control unit to configure meter reading indicting unit based on requirements of meter address during initial operation of device". Alemanha Patente DE202006001060 U1, 23 janeiro 2006.
- [91] A. Gupta, "Integrated head-end utility metering system". EUA Patente US 2016/0301778 A1, 13 outubro 2016.
- [92] D. Labate e P. Guibbini, "Method and system for remote metering the consumption of electricity, water or gas". Itália Patente EP2085749, 31 janeiro 2008.
- [93] B. Hopf, Y. Kalayci, C. P. Meyer-Bothling, U. Schwark e M. Tolk, "Remote data collection arrangement, especially utility meter data, uses Bluetooth enabled meters connected to a Bluetooth pico network and node so that data can be collected using wireless network technology". Alemanha Patente DE10039430A1, 11 agosto 2008.
- [94] A. M. Limited, "Smart metering of commodity consumption via communicating device". Reino Unido Patente GB 2 451 001 A, 14 julho 2008.
- [95] S. Cumeralto e A. J. Fitzgerald, "Integrated meter module and utility metering system". EUA Patente US 7,453,373 B2, 18 novembro 2008.
- [96] M. Olandoski, "Coletor de dados com impressão simultânea". Brasil Patente PI 9801292-4 A, 28 dezembro 1999.
- [97] B. A. Basseto e R. S. Cunha, "Dispositivo eletrônico sem fio para medição e comando de medidores e transmissores de variáveis de processo". Brasil

- Patente PI 0901368-7 A2, 04 janeiro 2009.
- [98] M. C. Laurindo e R. G. Isidório, “Dispositivo microcontrolado para tarifação remota receptora de telemetria”. Brasil Patente BR 10 2013 022806-0 A2, 28 julho 2015.
 - [99] A. C. C. Cardoso, “Sistema centralizado de medição e bloqueio individualizado para água, gás e energia elétrica”. Brasil Patente PI 0701038-9 A, 14 outubro 2008.
 - [100] J. M. M. Almeida e P. R. P. Ferreira, “Sistema de gerenciamento modular de coleta de medição e controle para energia, água e gás”. Brasil Patente PI 1100227-1 A2, 03 dezembro 2013.
 - [101] D. Gomide, “Sistema de medição à distância por imagem e software”. Brasil Patente PI 1106442-0 A2, 26 novembro 2013.
 - [102] I. Bocaletto, “Sistema de monitoramento remoto e em tempo real do consumo de energia elétrica”. Brasil Patente BR 10 2012 015531-1 A2, 18 março 2014.
 - [103] E. Zaban, R. T. R. Almeida, R. C. Cobtin e R. C. Côrtes, “Sistema eletrônico de aquisição de dados e controle de medidores para automatização da leitura”. Brasil Patente PI 1002609-6 A2, 25 setembro 2012.
 - [104] A. S. Lima, “Sistema inteligente de leitura a distância”. Brasil Patente PI 1101699-0 A2, 11 junho 2013.
 - [105] A. L. M. Alvarez e A. F. Neto, “Unidade remota de aquisição e registro”. Brasil Patente PI 0001935-6 A, 13 novembro 2001.
 - [106] C. A. Canesin, F. A. S. Gonçalves e . L. C. Origa, “Sistema de medição e modelação de erros em medidores de energia elétrica ativa,” *Eletrônica de Potência*, vol. 13, nº 1, 2008.
 - [107] ELO Sistemas Eletrônicos, “Manual do usuário,” março 2008. [Online]. Available: <http://ideiagenciadigital.com.br/elo/wp-content/uploads/2017/12/Elo-2103A.pdf>. [Acesso em 10 setembro 2018].
 - [108] Nansen, “Medidor monofásico eletrônico LUMEN MC,” setembro 2010. [Online]. Available: <http://www.nansen.com.br/downloads/0ad4e126bbfea6ee598561c5dc5fae3c.pdf>. [Acesso em 10 setembro 2018].

- [109] Elster, “Medidor Polifásico Eletrônico A1050 e A1052,” 2018. [Online]. Available: https://www.elstersolutions.com/assets/products/products_elster_files/A1052.pdf. [Acesso em 10 setembro 2018].
- [110] ANA - Agência Nacional de Águas, “Conta de água,” 2018a. [Online]. Available: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/saiba-quem-regula/conta-de-agua>. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [111] Brasil, “LEI Nº 11.445,” 5 janeiro 2007. [Online]. Available: http://www.planalto.gov.br/CCIVil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [112] ANA - Agência Nacional de Águas, “Saneamento,” 2018b. [Online]. Available: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/saiba-quem-regula/saneamento/saneamento>. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [113] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Conheça cidades e estados do brasil,” IBGE, 2017. [Online]. Available: <https://cidades.ibge.gov.br/>. [Acesso em 21 agosto 21].
- [114] ARSESP - Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo, “DELIBERAÇÃO ARSESP Nº 106, de 13-11-2009,” 11 novembro 2009. [Online]. Available: <http://www.arsesp.sp.gov.br/LegislacaoArquivos/ldl1062009-integral.pdf>. [Acesso em 2018 agosto 21].
- [115] ARSAE-MG - Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais, “RESOLUÇÃO nº 40, de 3 de outubro de 2013,” 3 outubro 2013. [Online]. Available: http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/resolucao_040_2013_condicoes_gerais_prest_serv_agua_esgoto_atualizada.pdf. [Acesso em 21 agosto 2018].
- [116] AGENERSA - Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro, “manual de procedimentos para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico,” 26 junho 2007. [Online]. Available: <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/Normas/Saneamento/ManProcPreStSaneamento.pdf>. [Acesso em 21 agosto 2018].

- [117] SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, “Números da Diretoria Metropolitana de Distribuição,” 2017. [Online]. Available: http://www2.sabesp.com.br/html/a_sabesp/box_metropolitana.htm. [Acesso em 21 agosto 2018].
- [118] Copasa, “Fornecimento de água,” 2017. [Online]. Available: <http://www.copasa.com.br/nossagente/>. [Acesso em 21 agosto 2018].
- [119] SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, “Norma Técnica SABESP NTS 279 - Medição Remota,” agosto 2007. [Online]. Available: <http://www.sarengi.com.br/upload/NTS279.pdf>. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [120] Copasa, “Tipos de leitura dos hidrômetros,” 03 outubro 2016. [Online]. Available: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agencia-virtual/mais-servicos/agua-esgoto/medicao-individualizada>. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [121] CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos, “Guia do Usuário,” 2015. [Online]. Available: http://www.cedae.com.br/guia_usuario. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [122] ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, “Movimentação, estocagem e comercialização de gás natural,” 2018. [Online]. Available: <http://www.anp.gov.br/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural>. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [123] Brasil, “Atividade Legislativa,” 15 agosto 1995. [Online]. Available: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_18.02.2016/art_25_.asp. [Acesso em 11 agosto 2018].
- [124] C. T. Pompeu, “Comercialização de gás natural: a invasão da competência privativa da União,” novembro 2015. [Online]. Available: <https://jus.com.br/artigos/44373/comercializacao-de-gas-natural-a-invasao-da-competencia-privativa-da-uniao>. [Acesso em 22 agosto 2018].
- [125] ARSESP - Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo, “DELIBERAÇÃO ARSESP Nº 231, de 26-05-2011,” 26 maio 2011. [Online]. Available: <http://www.arsesp.sp.gov.br/LegislacaoArquivos/ldl2312011.pdf>. [Acesso em

- 22 agosto 2018].
- [126] SEDECTES - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, “Contrato de Concessão e distribuição de gás,” 11 janeiro 1993. [Online]. Available: http://www.tecnologia.mg.gov.br/assets/gasmig/contrato-concessao-servico-mg/contrato_de_concessao_gasmig.pdf. [Acesso em 22 agosto 2018].
 - [127] AGENERSA - Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro, “Decretos - Regulamento de instalações prediais - RIP,” 10 julho 1997. [Online]. Available: http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/Legislacoes/Dec23317-97_RIP.pdf. [Acesso em 22 agosto 2018].
 - [128] GASMIG - Companhia de Gás de Minas Gerais, “Gasmig testa três soluções para medição remota,” Norteth, 31 maio 2016. [Online]. Available: <http://www.nortech.com.br/ultimas-notcias/2016/3/31/gasmig-testa-trs-solues-para-medio-remota>. [Acesso em 23 agosto 2018].
 - [129] A. Srivatsan, “Performance Boost: Dynamically Improving a Home's Wi-Fi Signal,” *IEEE Potentials*, pp. 17-21, 2016.
 - [130] IEEE, *IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, 2016.
 - [131] J. V. dos Santos e A. B. Lugli, “INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações,” 22 janeiro 2013. [Online]. Available: <https://www.inatel.br/biblioteca/artigos-cientificos/2012/6167-comparativo-e-estudo-das-tecnologias-wireless-para-automacao-industrial>. [Acesso em 24 agosto 2018].
 - [132] C. H. Henning, “Desafios no Desenvolvimento de uma Rede Wireless para um Sistema de Controle de Válvulas em uma Refinária,” ISA, São Paulo, 2009.
 - [133] P. R. P. Oliveira, “Sistemas Wireless em Automação Industrial,” ASCC, São Paulo, 2009.

- [134] K. P., ZigBee Technology: wireless control that simply work, Kinney Consulting LLC, 2003.
- [135] A. D. Rivera, “Redes de equipamentos sem fio de uso pessoal: comparação de tecnologias emergentes e análise de tendências,” Dissertação de mestrado, São Paulo, 2010.
- [136] Z-Wave Alliance, “About Z-Wave Technology,” 2018. [Online]. Available: https://z-wavealliance.org/about_z-wave_technology/. [Acesso em 15 setembro 2018].
- [137] A. Kailas, V. Cecchi e A. Mukherjee, “A Survey of Communications and Networking Technologies for Energy Management in Buildings and Home Automation,” *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 1, nº 1, pp. 1-12, 2012.
- [138] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, “Resolução normativa nº 687/2015,” 24 novembro 2015. [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. [Acesso em 27 agosto 2018].
- [139] W3Schools, “HTTP Request Methods,” W3Schools, [Online]. Available: https://www.w3schools.com/tags/ref_httpmethods.asp. [Acesso em 07 setembro 2018].
- [140] ECMA-404, “Introducing JSON,” ECMA, dezembro 2017. [Online]. Available: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>. [Acesso em 09 setembro 2018].
- [141] MIT - Massachusetts Institute of Technology, “MIT - App Inventor,” 2017. [Online]. Available: <http://appinventor.mit.edu/explore/index-2.html>. [Acesso em 09 setembro 2018].
- [142] J. Ramos e V. Andrade, “EDP vai lançar rede inteligente de energia,” 23 agosto 2008. [Online]. Available: https://sigarra.up.pt/up/pt/noticias_geral.noticias_cont?p_id=F1046517942/2008_08_23.pdf. [Acesso em 20 setembro 2018].
- [143] Mercado, “Medidores de Energia e Insumos,” 2018. [Online]. Available: <http://www.mercatoautomacao.com.br/medidores/medidores-de-energia-e->

insumos/mei-tci-medidor-eletronico-de-insumos-com-wi-fi-e-tcs-incorporados.aspx. [Acesso em 20 setembro 2018].

- [144] Almax Energia, “Smappee PRO,” 2018. [Online]. Available: <https://loja.almaxenergia.com.br/monitores/smappee-pro>. [Acesso em 20 setembro 2018].
- [145] Almax Energia, “Smappee Água e Gás (Box),” 2018. [Online]. Available: <https://loja.almaxenergia.com.br/monitores/smappee-monitor-agua-e-gas-box>. [Acesso em 20 setembro 2018].

APÊNDICE A

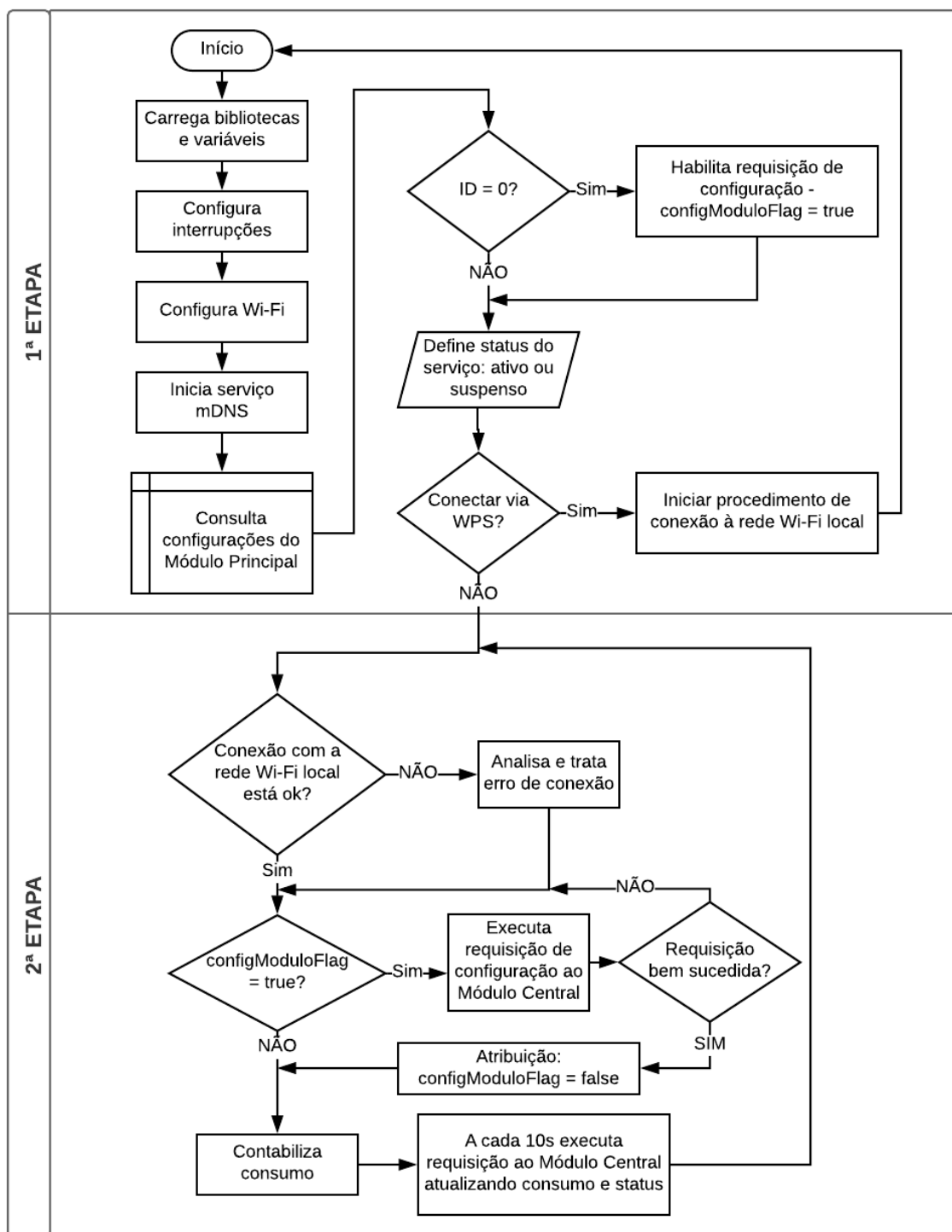


Figura 25 - Fluxograma da programação para o módulo principal

APÊNDICE B

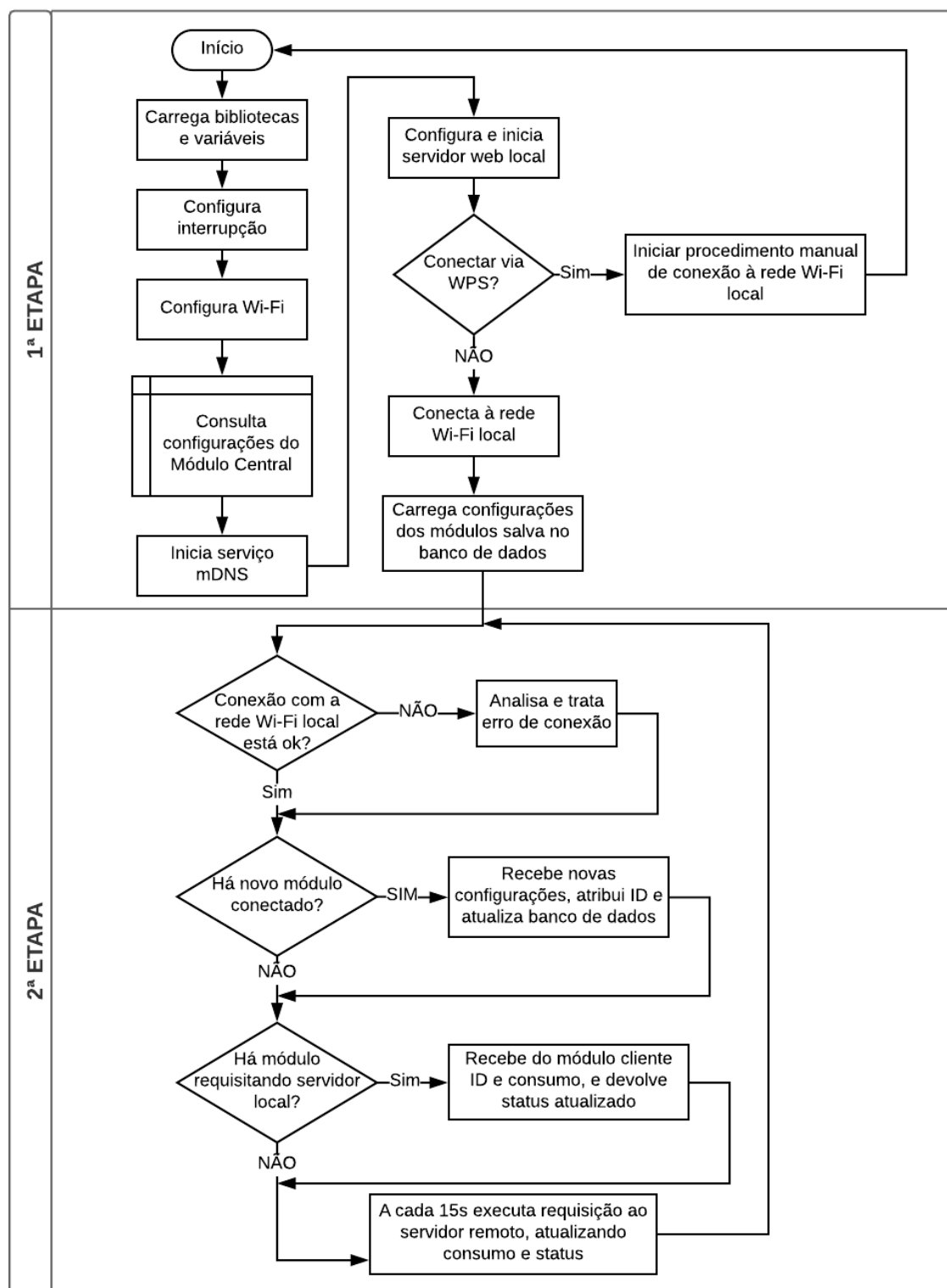


Figura 26 - Fluxograma da programação para o módulo central

APÊNDICE C

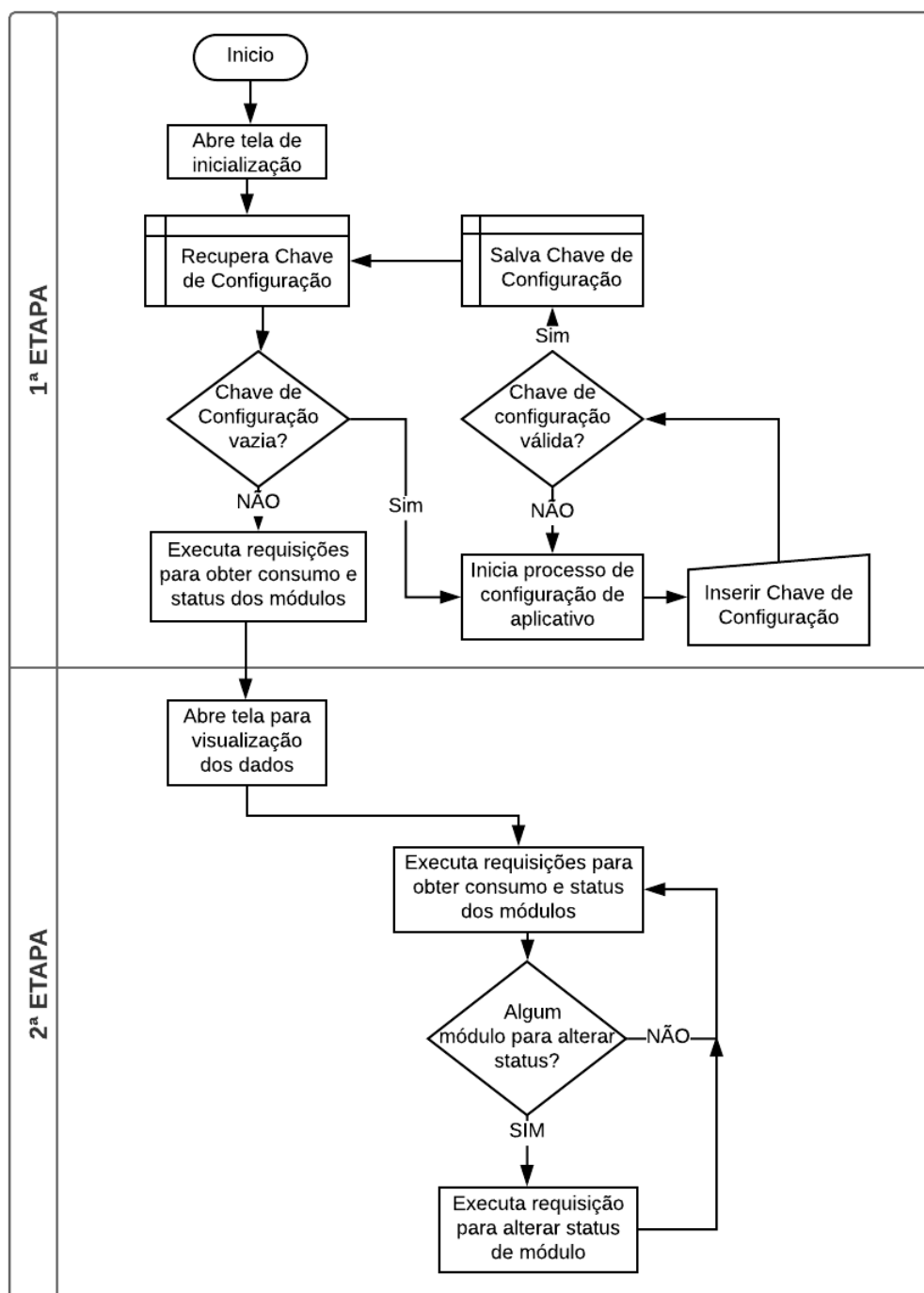


Figura 27 - Fluxograma da programação para o aplicativo

APÊNDICE D

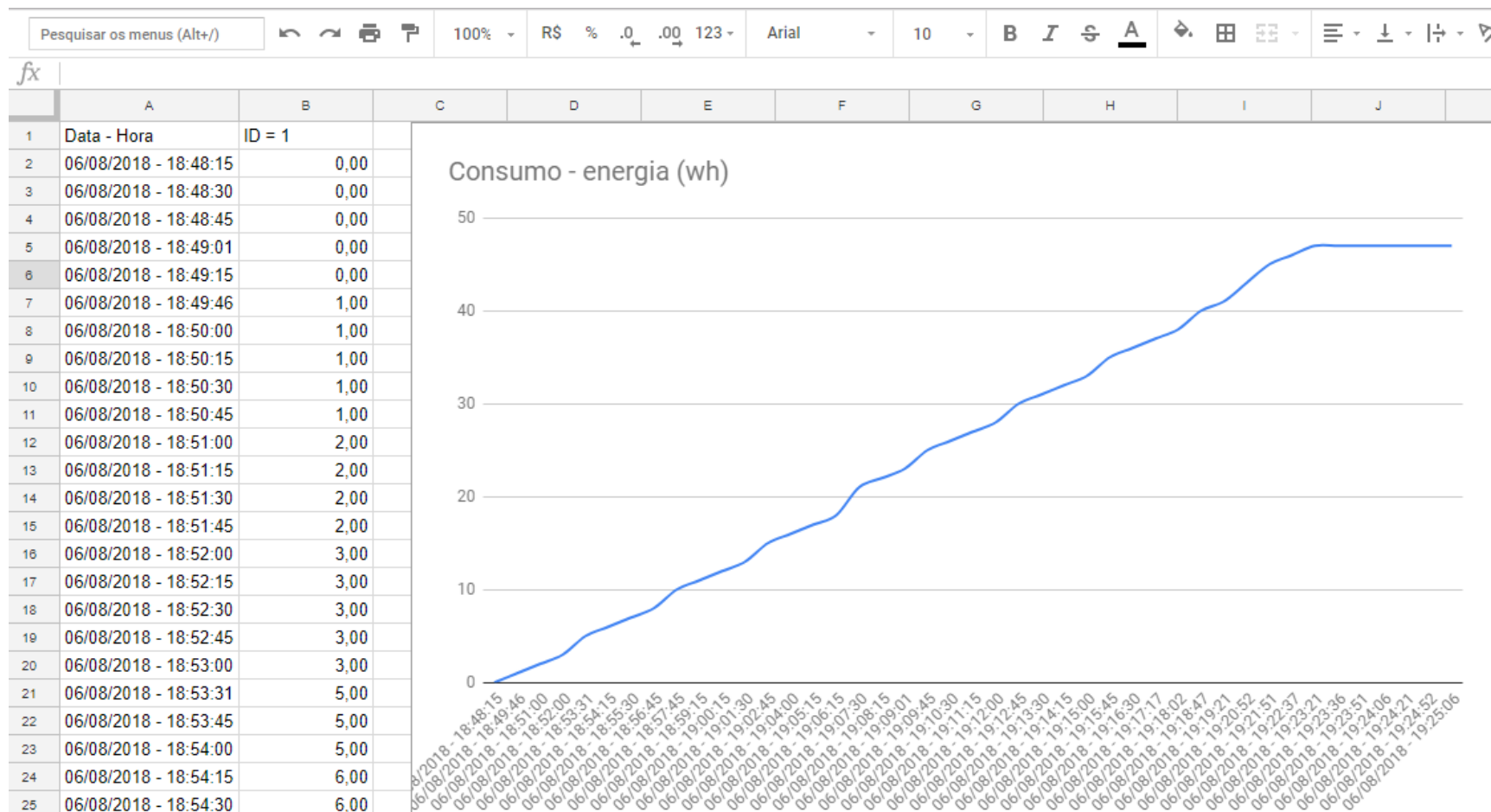


Figura 28 - Gráfico do consumo