

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

JAMES GUSTAVO BLACK REBELATO

**INTERNET DAS COISAS PARA MEDIÇÃO INTELIGENTE DE
ENERGIA COM ÊNFASE EM TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2018

JAMES GUSTAVO BLACK REBELATO

**INTERNET DAS COISAS PARA MEDIÇÃO INTELIGENTE DE
ENERGIA COM ÊNFASE EM TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Ednilson José da
Silva

CURITIBA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

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



TERMO DE APROVAÇÃO

INTERNET DAS COISAS PARA MEDIÇÃO INTELIGENTE DE ENERGIA COM
ÊNFASE EM TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

por

JAMES GUSTAVO BLACK REBELATO

Esta Monografia foi apresentada em 30 de Novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Internet das Coisas. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Edenilson José da Silva
Orientador

Prof. M.Sc. Danillo Leal Belmonte
Membro titular

Prof. M.Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

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

AGRADECIMENTOS

Dedico esta monografia a minha esposa Simone Drapski Rebelato pelo apoio recebido diariamente e que ouviu falar em TCC durante meses.

RESUMO

REBELATO, James Gustavo Black. **Internet das Coisas para medição inteligente de energia com ênfase em tecnologias de comunicação**. 2018. 55 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Esta monografia apresenta uma pesquisa com material teórico relacionado com a distribuição de energia elétrica no Paraná por parte da COPEL. Sendo a distribuição de energia um setor altamente regulado, é imprescindível conhecer e implementar as novas tecnologias oferecidas pela Internet das Coisas, seus custos operacionais e aplicações, afim de oferecer ao consumidor novas alternativas para acompanhar seu consumo e solicitar a realização de serviços a distância. Com objetivo de implementar a medição inteligente de energia, este trabalho apresenta as tecnologias de comunicação com suas faixas de frequência e taxas de transferência assim como a sua regulamentação, destacando o protocolo Wi-SUN que é o mais adequado para funcionamento em longas distâncias com baixo consumo de energia. Concomitantemente são apresentados fatores que devem ser considerados na aquisição de equipamentos e tecnologia como optar entre a rede de comunicação pública ou privada, evolução, compatibilidade, escalabilidade, interoperabilidade e segurança digital. Por fim é apresentado o projeto de Smart Meter em implantação no município de Ipiranga – PR onde todos os medidores analógicos serão substituídos por medidores inteligentes digitais.

Palavras-chave: COPEL. Internet das Coisas. Wi-SUN. Medidores inteligentes.

ABSTRACT

REBELATO, James Gustavo Black. **Internet of Things for intelligent energy measurement: emphasis on communication technologies**. 2018. 55 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

This monograph presents a research with theoretical material related to the distribution of electricity in Paraná by COPEL. Since energy distribution is a highly regulated sector, it is imperative to know and implement the new technologies offered by Internet of Things, its operating costs and applications, in order to offer the consumer new alternatives to monitor its consumption and request the realization of services at a distance. With the objective of implementing intelligent energy metering, this work presents the communication technologies with their frequency bands and transfer rates as well as their regulation, highlighting the Wi-SUN protocol that is most suitable for long distance operation with low energy consumption. Concomitantly, factors that must be considered in the acquisition of equipment and technology, such as the choice of public or private communication network, evolution, compatibility, scalability, interoperability and digital security are presented. Finally I present the project of Smart Meter in implantation in the municipality of Ipiranga - PR where all analog meters will be replaced by smart digital meters.

Keywords: COPEL. Internet of Things. Wi-SUN. Smart Meters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Logotipo da COPEL e do governo estado do Paraná	14
Figura 2 – Ilustração do modelo convencional de distribuição de energia	15
Figura 3 – Mapa do Sistema Interligado Nacional.....	16
Figura 4 – Logotipo da Agência Nacional de Energia Elétrica.....	17
Figura 5 – Ilustração da Internet das Coisas	20
Figura 6 – Comparativo entre as redes de comunicação	27
Figura 7 – Logotipo do protocolo 6LowPAN	29
Figura 8 – Logotipo da Agência Nacional de Telecomunicações.....	30
Figura 9 – Bandas de frequência ISM	31
Figura 10 – Topologia de funcionamento da rede LPWAN.....	34
Figura 11 – Logotipo da tecnologia Wi-fi	35
Figura 12 – Logotipo do protocolo SIGFOX	36
Figura 13 – Topologia da infraestrutura SIGFOX	37
Figura 14 – Logotipo da aliança LoRa.....	38
Figura 15 – Topologia da rede de comunicação LoRa	39
Figura 16 – Logotipo do protocolo ZigBee	40
Figura 17 – Logotipo da Wi-SUN Alliance	41
Figura 18 – Mapa político do município de Ipiranga e seus consumidores	47
Figura 19 – Localização das estações de rádio comunicação	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre as automação existente e a tecnologia nova	45
---	----

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Medidor eletromecânico (esquerda), medidor IoT inteligente (direita)	22
Fotografia 2 – Estação de rádio comunicação rural	49
Fotografia 3 – Estação de rádio comunicação urbana	49
Fotografia 4 – Roteador e coletor de dados em campo	50
Fotografia 5 – Rádio de comunicação (backhaul)	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMI	Infraestrutura avançada de medição
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
IEEE	<i>Institute of Electrical and Eletronics Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i> - Internet das Coisas
IP	Protocolo de Internet
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
MCPSE	Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIN	Sistema Interligado Nacional
SUNs	<i>Smart Metering Utility Networks</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2 REVISÃO TEÓRICA	14
2.1 SOBRE A COPEL	14
2.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	14
2.3 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)	15
2.4 REGULAMENTAÇÃO DO SETOR	17
2.4.1 Sobre a ANEEL	17
2.4.2 Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE)	17
3 INTERNET DAS COISAS	19
3.1 CONCEITO	19
3.1.1 Aplicações da IoT no Setor Elétrico	21
4 MEDIÇÃO INTELIGENTE DE ENERGIA	22
4.1 SMART METER – MEDIDOR INTELIGENTE	22
5 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO	24
5.1 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	24
5.1.1 Protocolos de Internet: IPv4 e IPv6	24
5.2 REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO	26
5.2.1 Padrões 802.X	27
5.2.1.1 Padrão IEEE 802.15.4	28
5.2.1.2 Padrão 802.15.4g	28
5.3 PROTOCOLOS DE INTERNET PARA IOT	28
5.3.1 6LowPAN - Low Power Wireless Personal Area Networks	29
5.4 REGULAÇÃO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS	30
5.5 ESPECTRO DE FREQUÊNCIA ISM - USO NÃO-LICENCIADO	30
5.6 REDE DE COMUNICAÇÃO PÚBLICA OU PRIVADA	32
5.7 ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO	33
5.8 REDE LPWAN	33
5.8.1 Topologia da LPWAN	33
5.8.2 Vantagens e Desvantagens do LPWAN	34
5.9 COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO	35
5.9.1 Wi-fi	35
5.9.2 SigFox	36
5.9.3 LoRaWAN - Aliança LoRa	37
5.9.4 ZigBee	39
5.9.5 WiSUN	40

6 INFRAESTRUTURA AVANÇADA DE MEDIÇÃO (AMI)	43
6.1 ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO ..	43
6.1.1 Vida Útil dos Equipamentos.....	43
6.1.2 Evolução das Redes de Comunicação	44
6.1.3 Compatibilidade entre Rede Existente e Nova	44
6.1.4 Interoperabilidade entre Fornecedores.....	45
6.1.5 Segurança na Transmissão de Dados da Medição	46
7 PROJETO IPIRANGA COPEL	47
8 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho contextualiza o potencial da Internet das Coisas no setor elétrico com ênfase para a aplicabilidade na COPEL destacando as tecnologias de comunicação e os equipamentos para redes inteligentes de medição de energia.

Este trabalho correlaciona os assuntos sobre as tecnologias atuais de equipamentos e tecnologias de comunicação e visa apresentar dados e informações que sirvam de base para pesquisas futuras sobre o tema.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os específicos do trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Demonstrar a utilização da Internet das Coisas e suas tecnologias de comunicação no setor elétrico na área de medição inteligente de energia.

Aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso no projeto de medição inteligente, em andamento, da COPEL no município de Ipiranga.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, elencam-se os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar o sistema interligado nacional de distribuição de energia;
- Compreender o conceito de Internet das Coisas, as características e aplicabilidades voltadas para o setor elétrico;
- Aprofundar o conhecimento sobre as tecnologias de comunicação e seus protocolos que atendam os requisitos de longa distância e durabilidade de bateria;
- Investigar qual tecnologia de comunicação tem melhor aplicabilidade em concessionárias de distribuição levando em conta diversos fatores de custo

benefício e regulamentação;

- Colaborar com o projeto em andamento de Internet das Coisas da COPEL no município de Ipiranga;
- Exibir o detalhamento das tecnologias, com o propósito de consolidar os benefícios de sua adoção.

1.2 JUSTIFICATIVA

Oferecer serviços de qualidade ao consumidor é uma regulamentação e objetivo das concessionárias de energia que buscam novas tecnologias de tornar suas redes de distribuição de energia mais inteligentes e conectadas.

Para implementar uma rede de medição e comunicação inteligente a concessionária precisa buscar por novas tecnologias que ofereçam garantias de confiabilidade e durabilidade, trazendo retorno financeiro sem custos não previstos de manutenção corretiva.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia de especialização está dividida em 7 (sete) seções divididas conforme abaixo:

- Seção 1: Apresenta uma introdução do que será abordado em todo o trabalho assim como a motivação e o objetivo geral e os específicos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.
- Seção 2: Uma contextualização sobre a COPEL e o sistema elétrico nacional assim como o órgão regulador federal.
- Seção 3: Fornece um resumo da literatura, abordando um conceito sobre Internet das Coisas voltada para o setor elétrico.
- Seção 4: Evidencia ampla pesquisa sobre as tecnologias de comunicação relevantes para o setor elétrico e suas características técnicas.
- Seção 5: Expõe fatores importantes para a escolha da tecnologia mais adequada para a aquisição de equipamentos de redes inteligentes e sua

comunicação.

- Seção 6: Divulga o trabalho em andamento do projeto de medição inteligente no município de Ipiranga no Paraná.
- Seção 7: Apresenta as considerações finais acerca de tudo o que foi explanado nesta monografia.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 SOBRE A COPEL

A Companhia Paranaense de Energia (COPEL) (Figura 1, esquerda) é uma empresa brasileira do estado do Paraná (Figura 1, direita) que gera, transmite e distribui energia elétrica e também atua nas áreas de telecomunicações.

Empresa de economia mista (Governo estadual e iniciativa privada), criada em outubro de 1954.

Figura 1 – Logotipo da COPEL e do governo estado do Paraná



Fonte: Copel (2018a).

A COPEL Distribuição atende mais de 4,6 milhões de consumidores e para isso possui mais de 192 mil quilômetros de linhas e redes de distribuição de energia interligadas por 370 subestações e mais de 400 mil transformadores.

Nas telecomunicações a COPEL Telecom tornou o Paraná o primeiro estado 100% digital, instalando mais de 27 mil quilômetros de fibras óticas para contemplar todos os 399 municípios do estado.

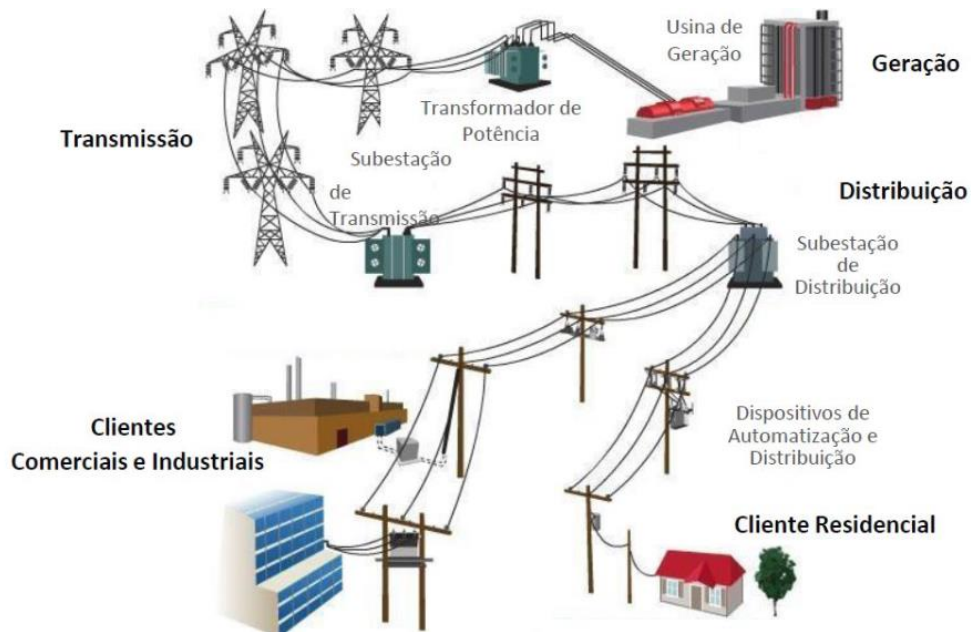
2.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

A distribuição de energia elétrica é a etapa final do sistema elétrico de potência, após a geração e transmissão da energia e consiste na entrega da energia aos consumidores.

Para que a distribuição de energia possa ocorrer de maneira eficiente com a menor quantidade possível de perdas são necessários vários sistemas de

transformação e controle da energia. As subestações interligam o sistema de transmissão de energia ao sistema de distribuição rebaixando a tensão elétrica com objetivo de permitir a utilização de transformadores elétricos que tornam possível a utilização da energia elétrica por parte dos consumidores (Figura 2).

Figura 2 – Ilustração do modelo convencional de distribuição de energia



Fonte: Diniz et al. (2011).

No Paraná a COPEL distribui energia na rede primária na tensão de 12,8kV e 37,5kV e na rede secundária com tensão de 127V e 220V.

2.3 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte.

A interconexão dos sistemas elétricos, por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. A integração dos recursos de geração e transmissão permite o atendimento ao mercado com segurança e economicidade.

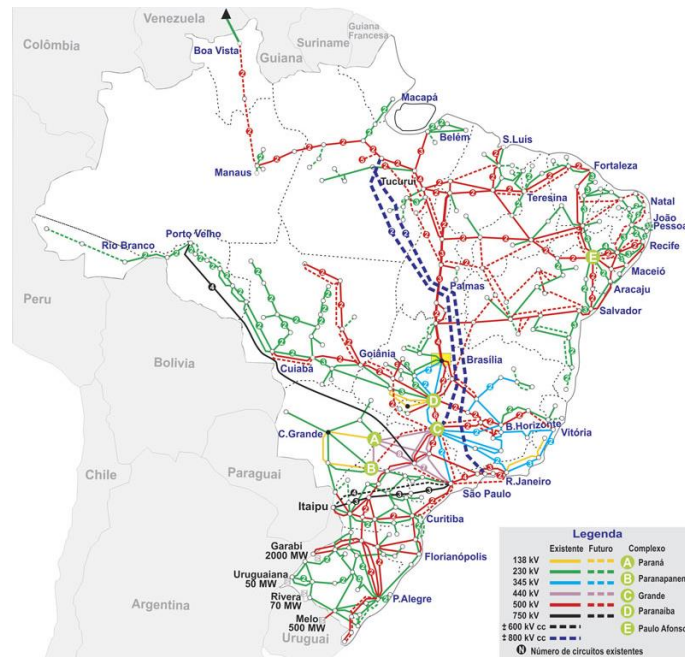
A capacidade instalada de geração do SIN é composta, principalmente, por

usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), criado 1998 e que é a grande responsável por gerenciar o SIN. Os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de produção de energia e possibilitam o suprimento do mercado consumidor.

Um sistema interligado (Figura 3) apresenta inúmeras vantagens para o país como exemplo: maior flexibilidade, segurança e economia.

Figura 3 – Mapa do Sistema Interligado Nacional



Fonte: ONS (2018).

Um dos principais objetivos do SIN é a possibilidade de permutação de energia elétrica entre as empresas dentro do sistema. Quando há seca em uma determinada região do país, e as bacias das hidroelétricas não conseguem fornecer a energia requerida da demanda e no mesmo período do ano há um excedente de energia sendo gerada em outra região, é possível fazer o compartilhamento de onde tem esse excesso para onde há falta de energia (ASTORE, 2016).

2.4 REGULAMENTAÇÃO DO SETOR

2.4.1 Sobre a ANEEL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a agência vinculada ao Ministério de Minas e Energia que normatiza, fiscaliza, regulamenta e rege o sistema de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no território brasileiro, através da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. Iniciou suas atividades em 1997, no mês de dezembro.

A ANEEL (Figura 4) regula desde a geração, passando pela transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em todo o território nacional. Assim como regula, ela também fiscaliza diretamente através de convênios feitos com órgãos estaduais, todas as concessões, bem como permissões e serviços de energia elétrica prestados em todo o Brasil.

Figura 4 – Logotipo da Agência Nacional de Energia Elétrica



Fonte: Aneel (2018).

Com isso, é possível que a agência controle a qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias de energia. Por fim, além de realizar todas as atividades anteriormente descritas, a ANEEL tem também a função de estabelecer tarifas, através de estudos e análises dos custos da geração, distribuição, etc., que serão repassadas a todas as distribuidoras de energia que participam do Sistema Interligado Nacional (SIN).

2.4.2 Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE)

O Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE) representa a metodologia que deve ser utilizada para o controle do cadastro das movimentações de bens e instalações do Setor Elétrico brasileiro por parte das distribuidoras de energia (MCPSE, 2009).

O Manual tem como objetivos principais, padronizar os procedimentos de controle patrimonial, permitindo a fiscalização das atividades por parte da ANEEL e permitir uma avaliação patrimonial adequada da remuneração de capital investido pela distribuidora e repassado na tarifação de energia elétrica.

3 INTERNET DAS COISAS

Para auxiliar no entendimento deste trabalho, serão apresentados aqui os conceitos acerca da Internet das Coisas, que inclui também as tecnologias de comunicação e os principais protocolos além de alguns exemplos básicos da aplicabilidade.

3.1 CONCEITO

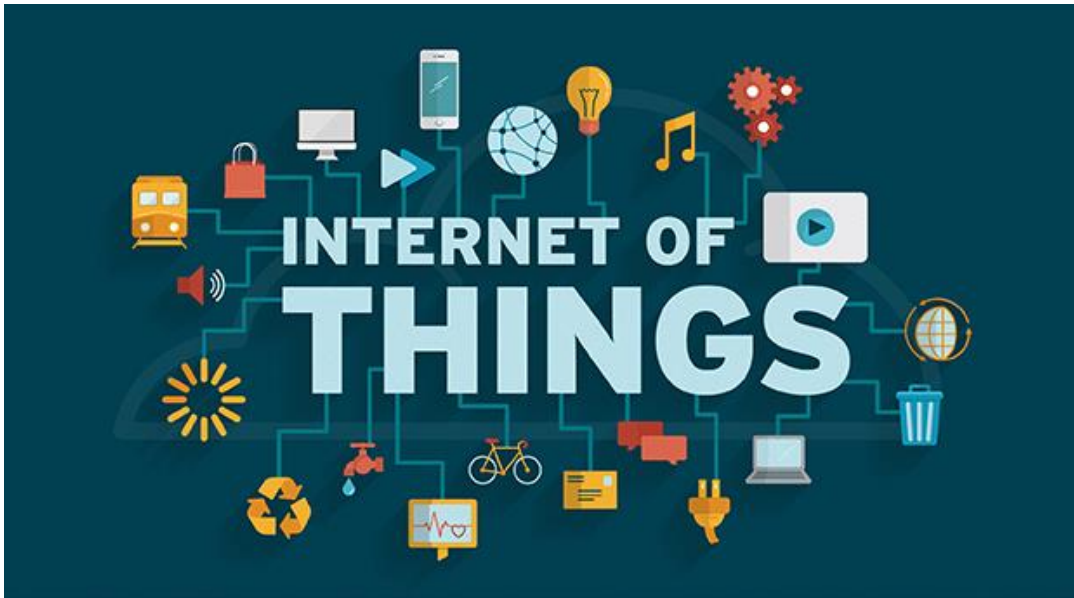
A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) é uma infraestrutura global que habilita serviços avançados por meio da interconexão entre coisas (físicas e virtuais) permitindo a captura, análise e manipulação de dados de forma autônoma e inteligente, através de diversas tecnologias, podendo reagir a eventos iniciados pelos dados obtidos entre essas "coisas" e o ambiente a qual estão inseridos, com base nas tecnologias de informação e comunicação.

O termo Internet das Coisas foi mencionado pela primeira vez por Kevin Ashton, um dos fundadores do centro Auto-ID do MIT, em 1999. Na ocasião, o autor refletiu sobre a possibilidade de computadores terem o conhecimento de tudo o que fosse possível saber sobre o ambiente ao seu redor sem necessitar do auxílio e da intervenção dos usuários. Abaixo um trecho do artigo conforme Lopez (2013).

"Se tivéssemos computadores que soubessem tudo sobre as coisas em geral usando dados que coletassem sem a nossa ajuda - seríamos capazes de rastrear e contar tudo, e reduzir bastante o desperdício, a perda e os custos. Nós saberíamos quando é necessário substituir, reparar ou fazer um recall de um produto, e se estão novos ou ultrapassados. Precisamos capacitar os computadores com seus próprios meios de coletar informações, para que possam ver, ouvir e cheirar o mundo sozinhos, com toda a sua glória aleatória. O RFID e a tecnologia de sensores capacitam os computadores a observar, identificar e entender o mundo sem as limitações dos dados inseridos pelos humanos".

A Internet das Coisas (Figura 5) trouxe o conceito de dispositivos inteligentes, e esses dispositivos podem interagir com os componentes de redes existentes, como terminais, roteadores, entre outros (MAROTTA et al., 2013).

Figura 5 – Ilustração da Internet das Coisas



Fonte: Figura_IoT (2018).

Objetos que fazem parte da Internet das Coisas possuem os seguintes requisitos:

- Forma: Possuir um objeto físico;
- Identificação: Possuir um nome e endereço na internet;
- Comunicação: Capacidade de enviar e receber informações com outros dispositivos;
- Interação: Repassar informações para outros objetos da rede;
- Inteligência: Processar mesmo de maneira básica informações coletadas;
- Sensoriamento: Coletar informações do meio onde está instalado e operando.

Sendo assim os objetos ou coisas inteligentes se tornam participantes ativos nos negócios, na troca de informações e em processos sociais. Esses objetos inteligentes são caracterizados pela habilidade de interação e comunicação entre si através da troca de dados ou informações capturadas por meio de sensores eletrônicos que convertem os sinais analógicos do ambiente em sinais digitais.

Através da combinação de diversas tecnologias, a Internet das Coisas tem encurtado a distância de monitoramento e gerenciamento de processos de maneira crescente nos últimos anos, possibilitando que bilhões de dispositivos estejam

conectados. Segundo Egham (2018), empresa líder em pesquisa e consultoria, a quantidade de "coisas" conectadas que estarão em uso em 2017 deve alcançar o número de 8,4 bilhões. Isso equivale a 31% a mais em comparação a 2016. A estimativa é que esse número atinja 20,4 bilhões de coisas conectadas em 2020.

3.1.1 Aplicações da IoT no Setor Elétrico

Existem diversas aplicações para Internet das Coisas e no setor elétrico é possível evidenciar a aplicabilidade em várias áreas com objetivos financeiros e de fidelização dos consumidores com a companhia. Abaixo alguns exemplos de aplicações:

- Veículos elétricos e a necessidade crescente de postos de recarga rápida;
- Monitoramento e gestão dos ativos da rede de distribuição de energia;
- Redução do desperdício de energia através do controle em tempo real das perdas;
- Comunicação entre equipamentos e equipes de campo;
- Redes inteligentes com reestabelecimento do sistema para continuidade do atendimento;
- Medidores inteligentes que permitem acompanhar o consumo de energia.

Com base nos exemplos acima os capítulos seguintes detalham a Internet das Coisas nos medidores inteligentes (*Smart Meters*) e a tecnologia utilizada para comunicação.

4 MEDIÇÃO INTELIGENTE DE ENERGIA

Os medidores inteligentes proporcionam o acompanhamento em tempo real do consumo e a automação de acionamentos a distância.

4.1 SMART METER – MEDIDOR INTELIGENTE

O *Smart Meter* é a identificação e medição do consumo de energia do consumidor e a transmissão dos dados para concessionária. Pode ainda fornecer em tempo real, além do consumo, valores de qualidade no fornecimento e permitir o controle de eletrodomésticos e dispositivos nas instalações elétricas do consumidor.

Com a adoção dos medidores inteligentes a concessionária consegue controlar remotamente o uso da energia realizando corte e religação do fornecimento sem precisar se deslocar presencialmente até a unidade consumidora.

A cobrança da energia utilizada pode ser acompanhada em tempo real pelo consumidor que pode assim mudar seus hábitos de consumo para reduzir o valor final da fatura.

Para a adoção de um sistema de medição inteligente de energia por parte da distribuidora de energia é necessária a substituição dos medidores eletromecânicos (Fotografia 1, esquerda) por medidores digitais (Fotografia 1, direita) conectados a uma rede sem fio estável.

Fotografia 1 – Medidor eletromecânico (esquerda), medidor IoT inteligente (direita)



Fonte: Autoria própria.

Para a ANEEL, a efetiva implantação do sistema de medidores inteligente representa maior fiscalização com auditoria em tempo real dos dados de fornecimento, principalmente para a consolidação dos indicadores de qualidade e informações de faturamento.

Em relação as características da tecnologia, cada medidor conectado a rede de comunicação possui IP próprio de endereçamento e realizam o envio da página fiscal a cada 15 minutos e o envio da memória de massa por 4 vezes ao dia.

Os *Smart Meters* são elementos fundamentais para a adoção de redes inteligentes por parte das concessionárias, estando ligados diretamente com a infraestrutura avançada de medição ou *Advanced Meter Infrastructure (AMI)*.

5 TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Para que os medidores inteligentes transmitam e recebam informações é preciso implementar tecnologias que permitam a comunicação instantânea dos dados com confiabilidade e segurança.

Nos itens seguintes desta monografia a intenção é destacar as tecnologias e protocolos relacionados com o projeto de *Smart Meter* em implantação na COPEL.

5.1 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Protocolos de comunicação são conjuntos de regras e normas obrigatórias que todo objeto ou equipamento deve seguir para a correta transferência, recepção e interpretação de dados em uma rede IoT. Sem esse protocolos a comunicação se tornaria caótica e ineficiente.

Para o bom funcionamento da comunicação na rede IoT são utilizados os protocolos padronizados existentes como é o caso do protocolo IP, que fornece comunicação com a Internet e possui regras bem definidas para conectar milhares de equipamentos, e os protocolos específicos que são utilizados para a comunicação entre objetos e com concentradores.

Diversos são os protocolos atuais utilizados na Internet das Coisas e abaixo são citados os principais com ênfase no padrão normativo, na aplicabilidade prática e frequência de funcionamento.

Na Internet, para que objetos possam se comunicar corretamente, há um conjunto de protocolos que são necessários. Dentre estes, o protocolo IP é um dos principais e é o responsável por atribuir um endereço a esses dispositivos.

5.1.1 Protocolos de Internet: IPv4 e IPv6

Atualmente a versão mais utilizada do protocolo IP é a versão 4, contudo devido a escassez de novos endereços provocou a criação de uma nova versão do protocolo a versão 6, essa versão surgiu já em por volta dos anos 90 sendo quase 20 anos após o surgimento o protocolo IP.

O IPv4 é baseado em um pool de endereços codificados em 32 bits, o que possibilita quatro bilhões de endereços, disponíveis para que dispositivos estejam diretamente conectados à internet (PESSOA et al., 2015).

No IPv4 os endereços são da forma 179.96.35.170 e utilizam 4 palavras de 8 bits ou octetos, resultando em 2 elevado a 32 bits. Isso gera 4.294.967.296 endereços IP possíveis. O IANA, órgão central atribuição de números de IP da internet, não possui mais estoque de endereços IPv4.

Quando a versão 4 do protocolo IP foi desenvolvida não se imaginava uma rede com bilhões de equipamentos conectados, nem os problemas de segurança ou transporte de tantos tipos de dados e serviços pelas redes. O IPv4 não é escalável o suficiente para antever a demanda de endereçamentos da Internet das Coisas.

O IPv6 substitui o IPv4, sendo "uma abordagem mais eficaz para solucionar a escassez de endereços IPv4" (SANTOS et al., 2016).

Sendo assim é necessária a migração do IPv4 para o IPv6, para não haver uma ruptura bruta entre as tecnologias pois a intenção dos responsáveis pela internet é implantar o IPv6 e fazê-lo funcionar em conjunto com o IPv4 até que tudo possa ser migrado para o IPv6.

No mundo existem organizações públicas e privadas trabalhando em mecanismos de transição, que permitam a interoperabilidade de redes IPv4 e IPv6. Esse mecanismo especifica formas de tunelamento, roteamento e suporte para as duas versões de protocolos IP que a princípio são incompatíveis.

Com a IoT tem-se basicamente um endereço IP para cada dispositivo ou objeto conectado.

O IPv6 chega com endereços codificados em 128 bits, mais ou menos 67 trilhões de endereços por cada milímetro quadrado do planeta. (SANTOS et al., 2016). No IPv6 os endereços são compostos de 8 palavras de 16 bits, isto é, dois elevado a 128 bits na forma FE80:0000:0000:0000:68DA:8909:3A22:FECA. Isso significa que existem 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 endereços IP possíveis. Entretanto, metade deles estão reservados para endereçamento local numa mesma rede, e, portanto, tem-se 18.446.744.073.709.551.616 redes possíveis, quantidade suficiente para atender a internet num futuro imaginável.

Dentre as vantagens do IPv6 podem-se citar:

- Largo espaço de endereçamento, padrão global e Escalabilidade;
- Formato de cabeçalho simplificado para otimização de entrega de pacote;
- Arquitetura hierárquica de rede para um roteamento eficiente;
- Suporte aos atuais protocolos de roteamento;
- Serviços de autoconfiguração;
- Implementação de IPSec de forma nativa;
- Crescimento do número de endereços *multicast*;
- Implementações para qualidade de serviço;
- A disponibilidade de um número quase ilimitado de endereços IP é um dos maiores benefícios da implementação.

Sendo assim o IPv6 é a única tecnologia possível para conectar “bilhões à internet” e construir a Internet das Coisas.

5.2 REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO

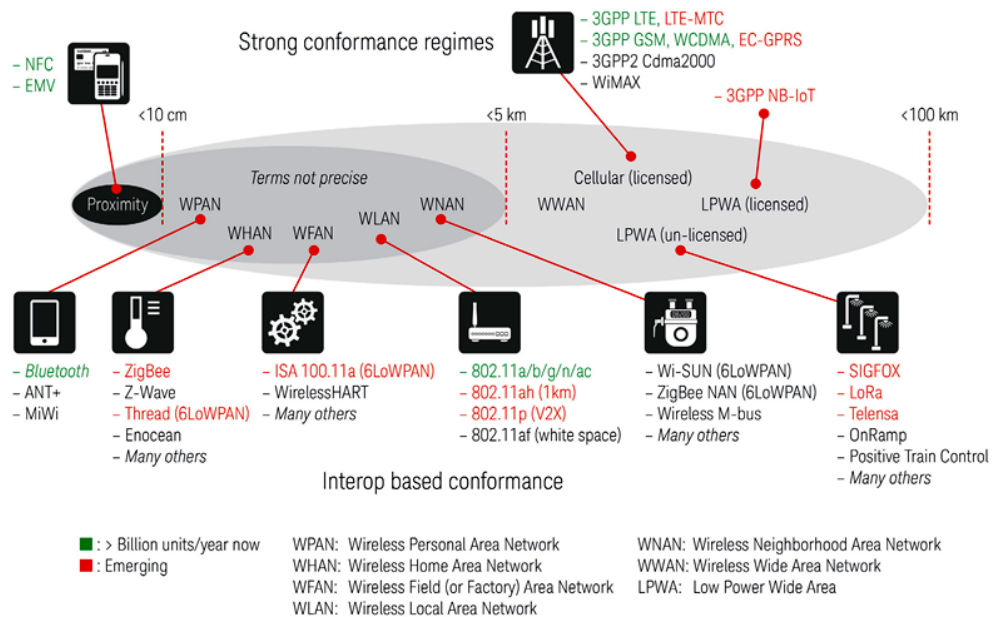
Existem atualmente mais de 60 formatos de protocolos de comunicação sem fio disponíveis para utilização em Internet das Coisas, e essa diversidade cresce a cada dia. O grande desafio é analisar cuidadosamente cada tecnologia para determinar a melhor custo benefício assim como atender todos os requisitos do projeto.

As recomendações do *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* (IEEE), particularmente as recomendações da série IEEE 802.11, são os exemplos mais conhecidos para os padrões de redes sem fio e que nos permitem considerar a existência de 5 grandes grupos, comparados na Figura 6. São eles:

1. *Wireless Personal Area Network* (WPAN): Onde estão as tecnologias wireless de pequeno alcance (entre 10 e 100 metros). É um padrão para redes locais, definido pelo IEEE 802.15, para o endereçamento de redes sem fio que utilizam dispositivos portáteis ou móveis;

2. **Wireless Local Area Network (WLAN):** Onde estão as tecnologias sem fio destinadas à interligação de redes locais com alcance entre 100 e 300 metros. Trata-se de padrão implementado como extensão ou alternativa para as redes com cabeamento convencional (par metálico ou fibra óptica);
3. **Wireless Metropolitan Area Network (WMAN):** São as tecnologias que tratam dos acessos de banda larga com taxas de transmissão de 200Kbps a 1Mbps e são utilizadas para a última milha para redes em áreas metropolitanas, com alcance em torno de 5km;
4. **Wireless Wide Area Network (WWAN):** Tecnologias voltadas para redes de longa distância em telecomunicações, atendendo aos serviços de voz e alguns serviços de dados;
5. **Low Power Wide Area Network (LPWAN):** Essas tecnologias aliam baixo consumo com longo alcance (na casa dos 15km).

Figura 6 – Comparativo entre as redes de comunicação



Fonte: Zemedo (2016).

5.2.1 Padrões 802.X

Devido à necessidade de padronização entre dispositivos sem fio, o IEEE estabeleceu alguns padrões tecnológicos visando à transparência na comunicação sem fio de dispositivos de diversos fabricantes.

5.2.1.1 Padrão IEEE 802.15.4

O IEEE 802.15.4 é um padrão para WPANs de baixa velocidade. Elas são caracterizadas por servir a dispositivos de baixo custo, comunicando-se a distâncias curtas, geralmente alimentados por baterias e com severas restrições quanto ao processamento e memória disponíveis.

A complexidade do IEEE 802.15.4 é considerada baixa se comparada a de outros padrões semelhantes, como o Bluetooth. Ele utiliza três faixas de frequência possíveis: 868Mhz, 915Mhz e 2.4Ghz, adequando-se às normas da maioria dos países. O alcance do rádio geralmente fica entre 10 e 100m, mas pode haver dispositivos com alcances maiores (MOREIRAS, 2013).

5.2.1.2 Padrão 802.15.4g

Em 2012, o IEEE divulgou uma emenda ao padrão IEEE 802.15.4 (IEEE-802.15.4, 2011) com objetivo de atender as necessidades especiais de comunicação dos *Smart Metering Utility Networks* (SUNs), denominadas IEEE 802.15.4g (IEEE-802.15.4g, 2012). Os SUNs desempenham um papel fundamental no contexto das redes inteligentes: eles permitem que múltiplos aplicativos operem sobre recursos de rede compartilhados, suportem comunicações bidirecionais entre dispositivos de medição e controle de um sistema utilitário e frequentemente contemplem áreas difundidas com um grande número de dispositivos externos

Enquanto o IEEE 802.15.4 é dedicado a redes de área pessoal sem fio (WPAN), o IEEE 802.15.4g é projetado para atingir taxas de dados de 2,4 Kbps a 800 Kbps e trabalhar em várias bandas de frequências de 450 MHz a 2,4 GHz.

De acordo com o documento do IEEE, o propósito da emenda era fornecer um padrão global para facilitar aplicações de controle de processo de grande escala, como a rede de rede elétrica de serviços públicos.

5.3 PROTOCOLOS DE INTERNET PARA IOT

Para a viabilidade da comunicação entre dispositivos da Internet das Coisas foi preciso implementar um novo protocolo que permitisse resolver questões de compressão do cabeçalho dos pacotes IPv6 mantendo apenas campos necessários

para a utilização do padrão IEEE 802.15.4, que limita os pacotes a 128 bytes. Para resolver esse problema, a IETF criou o 6LoWPAN (KUSHALNAGAR; MONTENEGRO; SCHUMACHER, 2007).

5.3.1 6LoWPAN - Low Power Wireless Personal Area Networks

O 6LoWPan é um protocolo IP (*Internet Protocol*) e o seu nome é abreviação de *IPv6 Low-power wireless Personal Area Network* que significa “Rede pessoal sem fio de baixa potência”. O 6LoWPAN (Figura 7) é um protocolo que define o encapsulamento, *headers* e os mecanismos de compressão dos pacotes de dados. O atributo chave é o *IPv6 stack*, que foi um passo muito importante para viabilizar a Internet das Coisas.

Figura 7 – Logotipo do protocolo 6LoWPAN



Fonte: Movinture (2016).

O 6LoWPAN refere-se a um grupo de trabalho da *Internet Engineering Task Force* (IETF) que sugere padrões para adaptar os pacotes do protocolo IPv6 ao ambiente de redes pessoais de baixa potência, como as definidas pelo padrão IEEE 802.15.4 e também conhecidas como redes de sensores sem fio.

Conforme definido no padrão IEEE 802.15.4 (2011):

“Uma rede LoWPAN é uma rede de comunicação simples que permite conectividade sem fio para aplicações com limitações de potência e restrições de taxas de transmissão. A rede LoWPAN tipicamente inclui dispositivos que trabalham juntos para conectar o ambiente físico a aplicações do mundo real, como rede de sensores. LoWPAN possui conformidade com o padrão IEEE 802.15.4.”

Devido ao 6LoWPAN sem baseado em comunicação IP é possível aproveitar as ferramentas e gerenciamento existentes para redes IPs existentes sem a necessidade de proxies ou tradutores de conteúdo.

5.4 REGULAÇÃO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS

A Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) (Figura 8) é o órgão federal responsável por regulamentar o uso de frequências no Brasil, sendo que as frequências são classificadas em licenciadas e não licenciadas.

Figura 8 – Logotipo da Agência Nacional de Telecomunicações



Fonte: Anatel (2018).

As frequências licenciadas precisam de autorização por parte da Anatel e são restritas por região de abrangência e envolvem o pagamento dos direitos de uso na forma de leilão e implicam de taxas anuais. Em contrapartida a Anatel garante a fiscalização e impede a operação de outros equipamentos de operar na mesma frequência na mesma operação, de forma a não haver interferência.

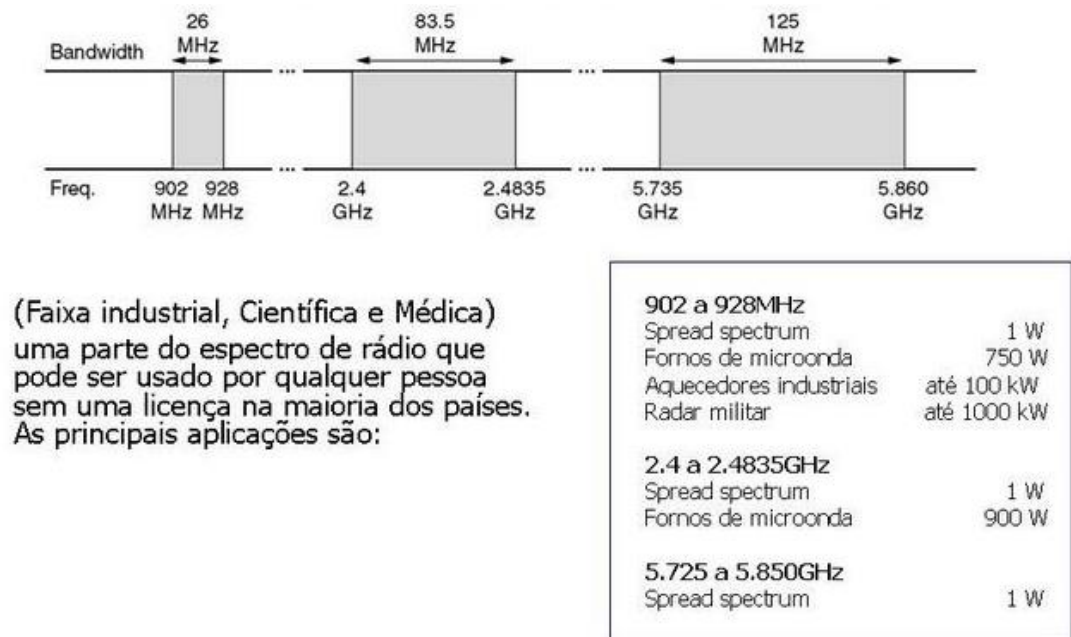
As frequências não licenciadas são livres de autorização da Anatel, porém os equipamentos instalados devem obedecer limitantes de abrangência e potência máxima de transmissão. A principal desvantagem é que os equipamentos que operarem na mesma frequência podem causar interferência entre si (JAMHOUR, 2018).

5.5 ESPECTRO DE FREQUÊNCIA ISM - USO NÃO-LICENCIADO

As faixas de frequência *Industrial Scientific and Medical* (ISM) são bandas reservadas internacionalmente para o desenvolvimento Industrial, científico e médico

(Figura 9). Esse padrão foi estipulado em 1985 e foi uma iniciativa dos Estados Unidos sendo posteriormente adotado por vários países. No Brasil a legislação para este tipo de operação foi inicialmente regulamentado pela Anatel, através da Norma 02/93, posteriormente pela Norma 012/96 (resolução 209 de Jan/2000) e atualmente pela resolução 305 de Jul/2002 – Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita.

Figura 9 – Bandas de frequência ISM



Fonte: Autoria própria.

Os serviços de Radiocomunicação que operam nestas faixas de frequência convivem com interferência prejudicial advinda de dispositivos que operam na mesma faixa. A confiabilidade e segurança das comunicações de dados não é assegurada com técnicas simples, porque não existem restrições ao número de transmissores, nem existem protocolos obrigatórios. Na banda ISM os dispositivos tem que compartilhar o espaço com outros serviços de comunicação.

O espectro de frequência 2,4GHz é de grande importância para as telecomunicações, nele que operam diversas tecnologias de comunicação empregadas em diversos dispositivos, como Bluetooth (IEEE 802.15.1), WIFI (IEEE 802.11b/g), além de equipamentos que utilizam tecnologia de espalhamento espectral, telefones sem fio e fornos de micro-ondas (AUGUSTO; ROQUE, 2018).

5.6 REDE DE COMUNICAÇÃO PÚBLICA OU PRIVADA

As redes de comunicação disponíveis para a realização de projetos de redes inteligentes podem ser divididas em 2 categorias, públicas e privadas.

Rede pública é uma rede compartilhada e disponibilizadas aos usuários finais através de operadoras de telecomunicações. É altamente regulada e com faixas de operação muito bem definidas. A utilização desse modelo de rede depende da sua disponibilidade existente e da contratação dos serviços prestados mediante acordo financeiro entre as partes.

Redes privadas são redes particulares criadas com objetivos específico e permitem o tráfego de informações padronizadas e acesso apenas aos usuários autorizados. Operam em faixa de frequência livre e utilizam protocolos de comunicação homologados e não-homologados. Nesse modelo de rede a infraestrutura física e manutenção é de responsabilidade da empresa que necessita dos serviços de comunicação.

Em sua maioria as concessionárias de energia utilizam as redes de comunicação públicas baseadas na tecnologia GPRS (Serviços Gerais de Pacote por Rádio), destinadas a realização de leitura do consumo de energia de grandes consumidores como indústrias e comércio. Atualmente no Paraná existem 4 operadoras de telefonia móvel que disponibilizam serviços de comunicação de dados a distância disponibilizando chips (SIM CARDS) que transmitem informações em 3G/GPRS.

Existem alguns fatores técnicos que desmotivam a utilização de redes de comunicação pública como a cobertura de sinal ineficiente em áreas rurais e a falta de confiabilidade das estações rádio base quando ocorre a falta de energia. Outro fator desmotivante é que a regulação atual da ANEEL não incentiva, de forma alguma, o aumento dos gastos operacionais com equipamentos de redes inteligentes.

Em contrapartida, a partir de 2015 o MCPSE (MCPSE, 2009, p. 116-117), passou a reconhecer equipamentos de radiocomunicação como itens passíveis de remuneração. Consequentemente, com isso torna-se mais vantajoso o uso de uma rede de comunicação privada para os projetos de redes inteligentes, mesmo

sabendo que a manutenção desta rede é uma tarefa ainda não dominada pela maior parte das concessionárias de energia elétrica do país.

Devido as desvantagens da rede pública de comunicação esse trabalho direciona seu conteúdo para a tecnologia de comunicação de redes privadas.

5.7 ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO

Para a escolha da tecnologia mais adequada de comunicação a ser utilizada nos medidores inteligentes na rede de distribuição de energia foram levantados diversos fatores importantes e a realização de um estudo detalhado de diversas tecnologias existentes atualmente. As tecnologias baseadas em redes públicas foram desconsideradas em razão da inviabilidade de aquisição de licenças e manutenção dos equipamentos necessários.

5.8 REDE LPWAN

A rede *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) é frequentemente utilizada em IoT (*Internet of Things*, ou Internet das Coisas) quando há necessidade de enviar poucos dados, em distâncias relativamente largas, garantindo maior vida útil para as baterias a serem implementadas durante os processos de comunicação e aplicação.

Os sistemas LPWAN, como o LoRa, SIGFOX e Wi-SUN, estão sendo implementados nacionalmente em alguns países, usando um espectro pouco licenciado ou não licenciado.

5.8.1 Topologia da LPWAN

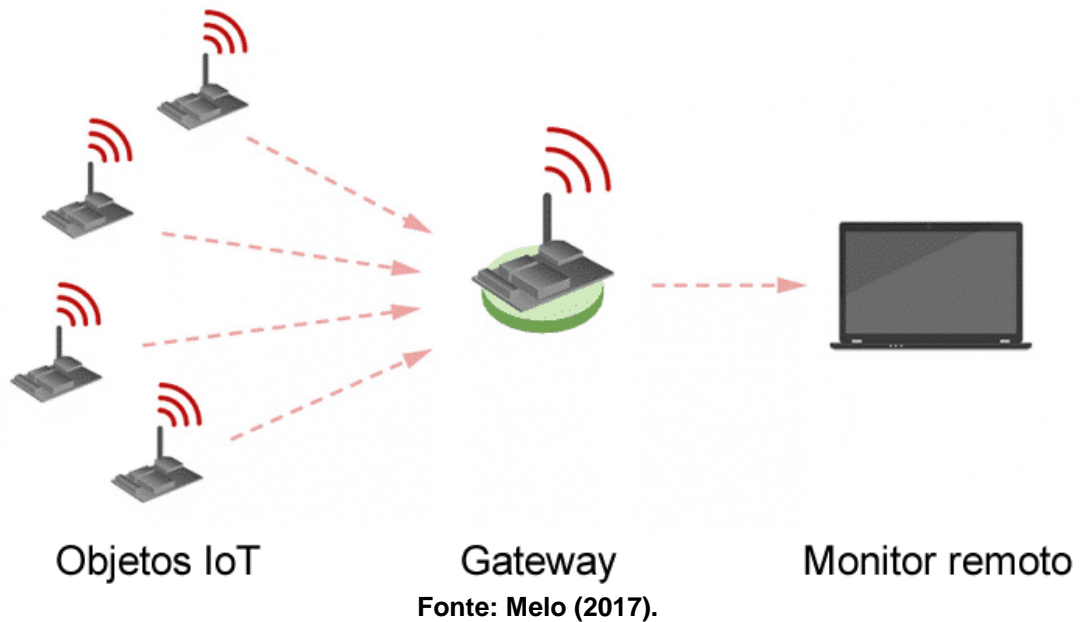
A rede LPWAN utiliza topologia em estrela, isto é, os dispositivos que integrados à tal rede são conectados diretamente ao ponto de acesso.

Para garantir melhorias de comunicações entre dispositivos e o ponto de acesso podem ser aplicados repetidores de sinais, que têm como papel suprir as necessidades de latência, área de cobertura e confiabilidade. É importante ressaltar que a topologia em estrela elimina a implementação de um complicado protocolo de

roteamento de malha sem fio, conhecido também por rede Mesh.

A Figura 10 demonstra a topologia de rede estrela em IoT.

Figura 10 – Topologia de funcionamento da rede LPWAN



5.8.2 Vantagens e Desvantagens do LPWAN

Entre as principais vantagens das redes LPWAN estão:

- Longo Alcance que pode variar de 2 a 50 km em campo aberto;
- Fácil instalação;
- Baixo custo de implementação;
- Poucas estações base para fornecimento de cobertura;
- Autenticação de rede dedicada;
- Grande autonomia de energia, pois as baterias podem durar até 10 anos com uma única recarga.

Com relação às desvantagens, os destaques vão para:

- Baixo tráfego de dados que alcança tipicamente 100 bits/segundo;
- Utilização de faixa espectral não licenciada para LoRa e SIGFOX, ISM

(*Industrial, Scientific and Medical*). Por esse motivo, há restrição na potência emitida pela antena da estação;

- Limite diário de tráfego de dados. Utilizando a rede SIGFOX como exemplo, é possível enviar 140 mensagens ao dia.

5.9 COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO

Tendo em vista as características apresentadas acima nesse trabalho, é realizado um comparativo entre as tecnologias de comunicação privadas que podem ser utilizadas no projeto de Medidores Inteligentes: Wi-fi, SIGFOX, LoRaWAN, ZigBee-NAN, e Wi-SUN.

Sendo assim, abaixo, nesse trabalho são comparadas as tecnologias listadas acima, que se apresentaram como viáveis.

5.9.1 Wi-fi

A tecnologia wi-fi (*“Wireless Fidelity”*) (Figura 11) é uma solução de comunicação sem fio muito popular atualmente e é utilizada para conectar dispositivos como computadores e smartphones nos mais diversos lugares como no trabalho, locais públicos e residências.

Figura 11 – Logotipo da tecnologia Wi-fi



Fonte: Wifi (2018).

Lançado em 1997, wi-fi surgiu com alternativa ao padrão cabeado de Ethernet e segue o padrão IEEE 802.11 onde são definidas as regras de transmissão e codificação. Esse protocolo tem a capacidade de transmitir grandes quantidade de informação utilizando altas taxas de transferência.

O padrão IEEE 802.11 já recebeu diversas versões (a/b/g/n) onde a atual IEEE 802.11ac prevê taxas de comunicação de 0,6 ou 1,3 Gbps. Possui várias tecnologias de criptografia WEP, WPA, WPA2, e é protegido por senha, porém pode ser usado em modo aberto sem qualquer proteção, o que permite que qualquer dispositivo dentro de seu alcance acesse os recursos da rede WLAN.

O 802.11b tem um custo mais baixo, utiliza uma frequência de 2.4 GHz. Já o 802.11a transmite as informações na faixa 5GHz e seu alcance do wi-fi é limitado variando de 10 a 100m dependendo dos obstáculos.

Com alterações recentes o wi-fi esta buscando aumentar as taxas de transferência de dados. O novo padrão 802.11ac opera abaixo de 6GHz e está se tornando o padrão de telefones celulares. O padrão 802.11ad opera na faixa de 60GHz e o padrão 802.11ah destinado a suportar baixo consumo de energia, operar na faixa de sub-ghz com baixa potencia e grande alcance para atender equipamentos de IoT.

5.9.2 SigFox

SIGFOX é um protocolo de comunicação proprietário desenvolvido por uma empresa francesa em 2009 e lançado oficialmente no Brasil em 2017 pela empresa WND Brasil. A tecnologia de transmissão usa a frequência sub-GHz ISM no espectro de frequência livre e não licenciado de 902MHz para a América Latina.

O SIGFOX (Figura 12) é projetado para operar na topologia em estrela, onde os objetos comunicam apenas com o concentrador, com baixa transferência de dados na casa de 10 a 1.000 bps utilizando a tecnologia de banda ultraleve (UNB) que requer pouca energia e permite que os sinais de radio frequência ultrapassem objetos sólidos e até mesmo alcançar objetos subterrâneos com alcance estimado de 30 a 50Km em áreas rurais e de 3 a 10km em áreas urbanas.

Figura 12 – Logotipo do protocolo SIGFOX



Fonte: Sigfox (2018).

A SIGFOX é proprietária do protocolo de comunicação com o mesmo nome e para manter o controle sobre a arquitetura e obter retorno financeiro ela atua como operadora de IoT instalando estações de radio frequência particulares. Assim oferece maior cobertura e concentra os dados coletados em servidores próprios, onde todos os elementos da rede, com exceção do módulo de comunicação e da aplicação do cliente, são de propriedade e controle da SIGFOX. O cliente pode ter o seu próprio processamento em nuvem, mas necessariamente os dados passam pelo *backend* da SIGFOX, para autenticação dos objetos sensores e/ou atuadores.

Essa arquitetura pode ser observada conforme Figura 13.

Figura 13 – Topologia da infraestrutura SIGFOX



Fonte: Sigfox (2018).

Essa tecnologia ainda é recente e já possui bastante aceitação, chegando a milhares de dispositivos espalhados pela Europa e América do Norte. Assim o SIGFOX é uma alternativa de utilização de redes de longo alcance concorrente a tecnologia de redes de celular (3G, 4G e 5G) porém sua implementação torna difícil a migração no futuro para outras tecnologias (SIGFOX, 2013).

5.9.3 LoRaWAN - Aliança LoRa

O *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) é um protocolo em frequência não licenciada cuja patente foi adquirida pela Semtech em 2012 (PRAJZLER, 2015,

p. 1), destinado a aplicações de redes *Wide Area Network* (WAN) com objetivo de proporcionar comunicação M2M a longa distância com baixo consumo de energia. O LoRaWAN é um protocolo de camada de controle de acesso ao MAC dos equipamentos, projetado para ser utilizado em redes públicas com milhões de dispositivos e poucos concentradores.

Cabe aqui ressaltar que o LoRA (Figura 14) trata da camada física da rede e o LoRaWAN refere-se ao camada lógica.

Figura 14 – Logotipo da aliança LoRa

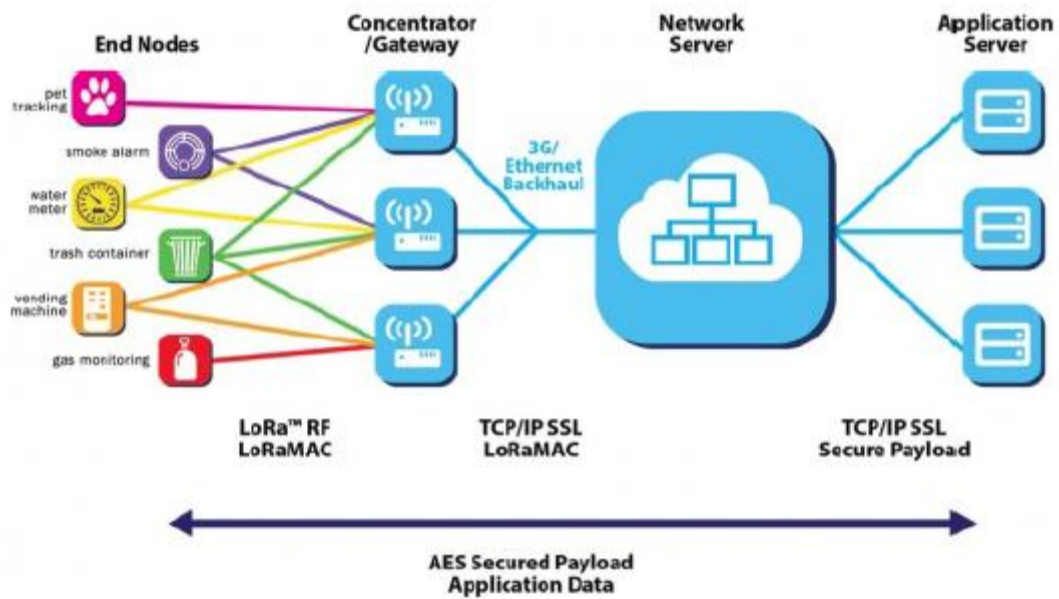


Fonte: Lora_Alliance (2018).

O LoRa segue o modelo de topologia em estrela (semelhante a rede de celulares), onde cada módulo envia e recebe dados de *Gateways* (concentradores), que repassam os dados via conexão IP para servidores locais ou na nuvem. Possui velocidade de acesso de 300 bps até 50 kbps. O padrão LoRa em sua especificação oferece suporte a IPv6 adaptado ao 6LoWPAN e atende aos requisitos de comunicação segura e bidirecional.

A LoRaWANs (Figura 15) opera sob a banda de frequência sub-1Gz ISM nas faixas 109 MHz, 433 MHz, 866 MHz e 915 Mhz dependendo do local de utilização. Cada concentrador pode cobri uma área de 2 a 5km em regiões urbanas e até 15km para áreas rurais.

Figura 15 – Topologia da rede de comunicação LoRa



Fonte: Dekkers (2016).

Mantido pela LoRa Alliance, esse protocolo tem atualmente grande popularidade por sua facilidade de utilização e a disponibilidade de equipamentos destinados a desenvolvimento.

O LoRa possui diversas vantagens com o grande suporte ao desenvolvimento e ampla quantidade de empresas que utilizam a tecnologia e mantêm a LoRa Alliance, porém é preciso ressaltar que por não ser um padrão aberto sua implementação em redes particulares é difícil de ser implementada e sua homologação e aplicação fica limitada a projetos com objetivos comerciais.

5.9.4 ZigBee

O ZigBee é um protocolo baseado no padrão IEEE 802.15.4, que é o padrão para redes wireless industrial operando na faixa dos 2,4GHz (faixa ISM), como exceção da Europa onde opera na faixa dos 800MHz. A taxa máxima de transferência de dados do protocolo está na casa dos 250 Kbps (PFÜTZENREUTER, 2018).

Centenas de empresas, dentre elas fabricantes de componentes eletrônicos e desenvolvedores de softwares, se uniram em uma aliança denominada ZigBee Alliance (Figura 16), visando atender a necessidade das aplicações que necessitam

enorme quantidade de objetos conectados, com transferência constante de pequenos pacotes de dados e baixo consumo de energia.

Figura 16 – Logotipo do protocolo ZigBee



Fonte: ZigBee (2018).

O ZigBee permite que os objetos conectados entrem em modo de suspensão (*sleep*) por longos intervalos de tempo para economizar energia. Pode ser usado com o protocolo IP (incluindo o IPv6) e também utilizando a topologia em malha (Mesh2).

O protocolo ZigBee é considerado uma rede auto gerenciada, onde o próprio protocolo se encarrega da manutenção da comunicação entre os objetos. Assim novos dispositivos conseguem automaticamente encontrar uma rede e se conectarem a ela, rotas de comunicação podem ser criadas e modificadas e providências podem ser tomadas no caso de falhas na transmissão ou recepção de mensagens.

5.9.5 WiSUN

Wireless Smart Ubiquitous Network, conhecido como Wi-SUN, é uma tecnologia baseada no padrão IEEE 802.15.4.g e é conduzido pela Wi-SUN Alliance (WI-SUN_ALLIANCE, 2017, p. 1) que tem o papel de resolver as lacunas existentes no IEEE 802.15.4.g. Wi-SUN Alliance. Oficialmente iniciada em 2012, conta atualmente com mais de 100 empresas colaboradoras. A topologia de rede pode ser estrela, mesh ou misto, mas comumente é aplicado o padrão mesh.

Figura 17 – Logotipo da Wi-SUN Alliance



Fonte: Wi-Sun_Alliance (2017).

A Wi-SUN Alliance possui os seguintes objetivos:

- Promover a implementação e implantação de redes de equipamentos inteligentes sem fio interoperáveis;
- Promover a adoção de padrões industriais abertos, conforme definido pelas organizações de desenvolvimento de normas internacionais e regionais;
- Fornecer assistência quanto a normatização e utilização do padrão;
- Estabelecer programas de certificação de conformidade e interoperabilidade.

A Wi-SUN Alliance define padrões e certifica fornecedores e equipamentos, tanto em níveis de potência, taxa de dados, bandas e modulação de frequência, entre outras atividades.

Em relação à segurança, a Wi-SUN Alliance segue as recomendações do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) Norte Americano e se baseia nos protocolos EAP-TLS e 802.1x para a autenticação e AES-128 para a encriptação.

O Wi-SUN é um padrão de comunicação que permite interconexões entre dispositivos de rede inteligentes produzidos por diferentes fabricantes. A interconectividade sem fio possibilita a criação de uma *Home Area Network* (HAN) que conecta vários equipamentos para implementar instalações HEMS eficientes.

O padrão Wi-SUN opera em bandas de frequência abaixo de 1GHz. Nesta região do espectro de frequências, os regulamentos normalmente permitem rádios de baixa potência não licenciados (ISM) que alcançam um bom desempenho de comunicação, mesmo na presença de interferência e alguns tipos de obstáculos.

Tecnicamente, a tecnologia sem fio Wi-SUN está relacionada, com a conhecida tecnologia Wi-Fi. É um sistema de comunicação de baixa velocidade que adota o padrão IEEE802.15.4g para camadas físicas e pode manter comunicações mesmo em ambientes com mais de 1.000 nós. Sua camada MAC está em conformidade com IEEE802.15.4e.

Wi-SUN alcança melhorias no rendimento e na segurança em comparação com redes sem fio baseadas apenas no IEEE802.15.4.

6 INFRAESTRUTURA AVANÇADA DE MEDIÇÃO (AMI)

A *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) é considerada um sistema de infraestrutura que permite a aquisição de dados e realização de comandos de maneira remota. Esse sistema de tecnologia contém sistemas de comunicação, servidores que processam dados, periféricos e os medidores inteligentes (ROMANO et al., 2015).

Para a efetiva implantação e utilização de milhares de medidores inteligentes é preciso analisar todos os aspectos que envolvam a aquisição e manutenção de equipamentos e tecnologias de comunicação para que o sistema opere plenamente sem interrupções ou custos indesejados.

6.1 ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO

Na sequência desta monografia são apresentados alguns fatores elencados como importantes ao realizar a escolha da infraestrutura de medição avançada.

6.1.1 Vida Útil dos Equipamentos

Os equipamentos de medição e comunicação utilizados pela distribuidora de energia elétrica precisam seguir as regras do MCPSE (MCPS, 2009, p. 116-117). Por meio dele foi estabelecido que uma infraestrutura de telecomunicações para distribuição, TUC 495, precisa ter vida útil de pelo menos 15 anos. Ou seja, se o equipamento falhar antes dos 15 anos o regulador entende que a distribuidora não fez uma boa compra e o concessionário é penalizado com a perda de parte do investimento realizado.

Outro fator que deve ser considerado em relação à vida útil é que caso o equipamento falhe ou apresente defeito será necessário enviar uma equipe de campo para realizar a manutenção. Esta equipe de campo é encarada como “custeio” para o regulador e, conseqüentemente, o custo da mão de obra de manutenção será pago pelo montante recebido pela distribuidora para cobrir custos operacionais. Portanto, o custo de manutenção pode acabar decrementando o lucro

da distribuidora de energia elétrica.

Sendo assim, a solução adotada precisa ser comprovadamente durável, ou seja, precisa fundamentalmente durar pelo menos 15 anos com taxa de falhas o mais próximo de zero possível. Além disso, caso haja falhas elas precisam estar cobertas pela garantia para não perder assim o valor investido inicialmente.

6.1.2 Evolução das Redes de Comunicação

As tecnologias de medição inteligentes evoluem em tempo inferior aos 15 anos regulatórios. Assim, quando se pensa em uma rede é preciso ter em mente que a infraestrutura precisa ser o mais “a prova de futuro” possível, ou seja, mesmo com o avanço tecnológico o sistema precisa continuar sendo útil para a distribuidora de energia. Desta forma, ao realizar a escolha da tecnologia devemos optar por uma tecnologia que possa ser utilizada pelo maior tempo possível.

Quando se projeta uma rede de comunicação para atender as necessidades de redes inteligentes é necessário pensar na quantidade de pontos a serem atendidos no momento inicial do projeto e em várias outras aplicações que poderão ser necessárias ao longo da vida útil da rede de comunicação.

6.1.3 Compatibilidade entre Rede Existente e Nova

Um fator importante para otimização da rede é a compatibilidade entre as redes de automação da distribuição (DA) e de infraestrutura avançada de medição (AMI).

Em um primeiro momento pode parecer um tanto quanto impróprio tentar compatibilizar as redes de DA e AMI, pois as duas aplicações possuem requisitos muito diferentes um do outro. Por exemplo, o Quadro 1 ilustra os principais requisitos de comunicação para as duas aplicações.

Quadro 1 – Comparativo entre as automação existente e a tecnologia nova

Características	Automação (DA)	Medição (AMI)
Protocolo TCP/IP	IPv4	IPv6
Velocidade	128 kbps	9,6 kbps
Latência (RT)	5 s	5 s
Disponibilidade	98,5 %	98 %
Criptografia	Assimétrica	Assimétrica

Fonte: Copel (2018a).

É importante existir uma única rede de comunicação que atenda aos requisitos das aplicações de automação e medição da rede de distribuição de energia.

6.1.4 Interoperabilidade entre Fornecedores

A interoperabilidade é um fator de grande relevância para a aquisição de uma tecnologia de AMI. Sendo assim são citados alguns item importante na decisão:

- Escalabilidade: as soluções proprietárias dificilmente conseguem atingir a mesma escala de evolução e utilização de uma solução aberta;
- Ecossistema: uma solução proprietária tende a ter um ecossistema de fornecedores menor. Portanto, a chance de surgirem inovações é menor do que em uma solução de padrão aberto. Por exemplo, podemos ver o caso do Wi-Fi. Ele é baseado no padrão IEEE 802.11 (WIFI ALLIANCE, 2006, p. 1) e possui uma entidade certificadora que garante que o padrão seja seguido;
- Fornecimento futuro: por maior que seja uma empresa, não é possível garantir que esse fornecedor continue disponível no mercado por um prazo de vários anos e até mesmo décadas.

Portanto, assumir o risco do investimento de milhões de reais em uma solução de infraestrutura de medição inteligente, que pertença a um único fornecedor, não é algo prudente.

6.1.5 Segurança na Transmissão de Dados da Medição

A segurança digital das redes de comunicação para equipamentos de medição de energia é um fator crítico, pois em caso de ataque às redes de medição com consumidores importantes como hospitais, aeroportos e presídios, etc., podem ser desligados a distância ao mesmo tempo.

Para que a segurança seja efetiva é preciso estar atendo a alguns riscos como:

- Os equipamentos não devem estar acessíveis para conexões indevidas;
- Ocorrerem perdas ou roubo dos equipamentos físicos;
- A criptografia dos dados não for eficiente;
- A arquitetura da rede permitir o acesso de conexões com fio.

E não menos importante, são as informações dos consumidores. Além dos consumidores poderem ser desconectados e reconectados à rede de energia por meio de ataques, seria possível, em caso de uma rede não segura, obter informações valiosas sobre hábitos de consumo de energia.

Outra possibilidade seria usar algum tipo de ataque para enviar informações falsas de consumo para as concessionárias, ou seja, seria possível fraudar a fatura do consumidor.

Sendo assim, o quesito segurança deve ser visto como ponto de atenção ao se projetar uma rede de comunicação para atender aos requisitos de medição.

7 PROJETO IPIRANGA COPEL

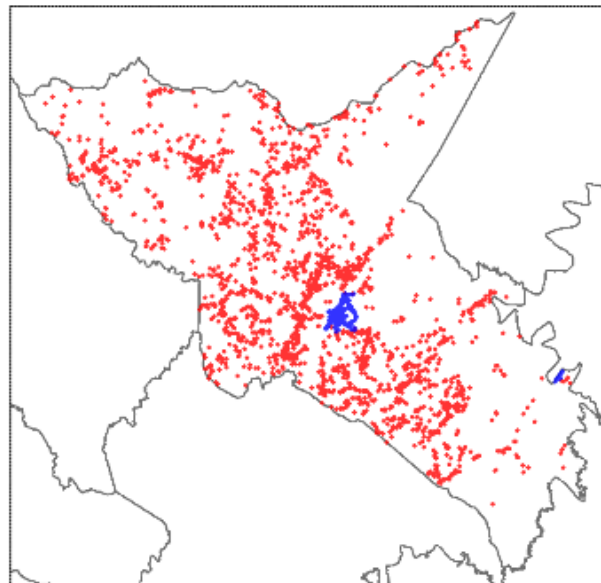
A COPEL está desenvolvendo seu primeiro projeto de aplicação em escala do conceito de redes inteligentes no município de Ipiranga. O projeto está recebendo R\$ 7,9 milhões de investimento.

Com aproximadamente 5.000 consumidores, está sendo aplicado um padrão de tecnologia que utiliza rede mesh em 900 MHz utilizando o protocolo IEEE 802.15.4g, com elementos padronizados pela Wi-SUN Alliance.

Sobre esta rede de dados estão sendo integrados os sistemas de *Advanced Metering Infrastructure* (AMI) e de Automação da Rede de Operação com Religadores e Reguladores de Tensão.

A Figura 18 exibe os mapas territoriais do município de Ipiranga.

Figura 18 – Mapa político do município de Ipiranga e seus consumidores



Azul: consumidores urbanos
Vermelho: consumidores rurais

Fonte: Autoria própria.

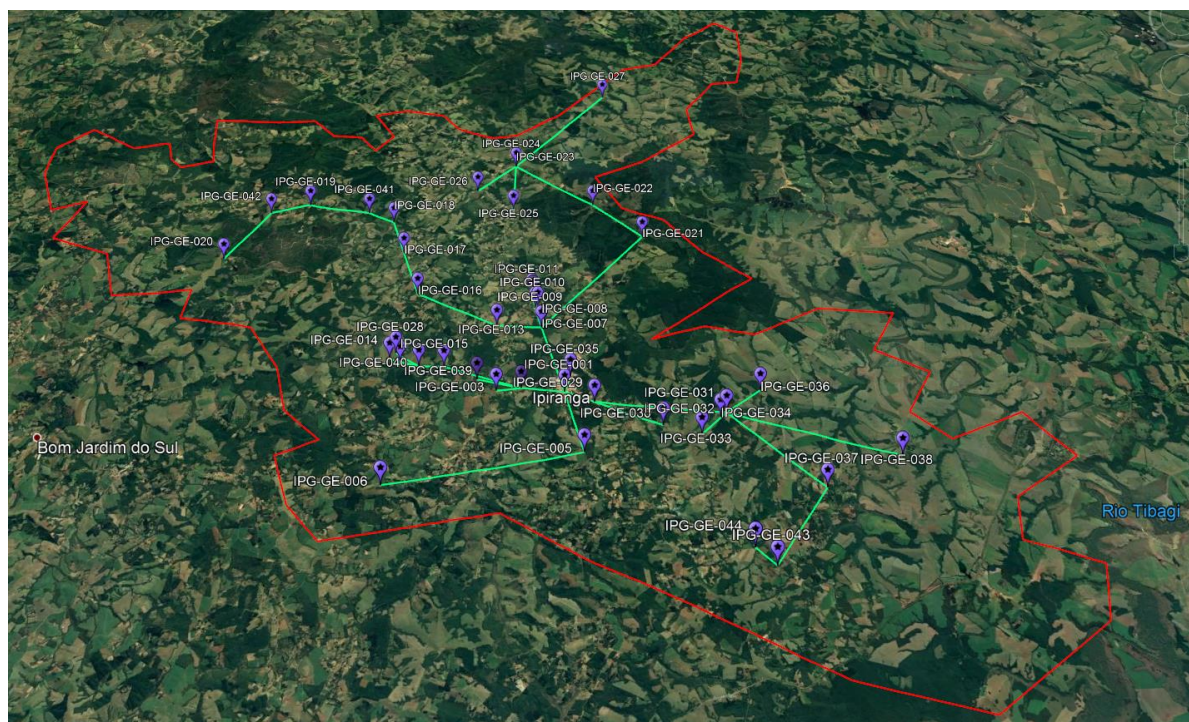
As principais vantagens do sistema implementado em Ipiranga são a medição automática e remota do consumo, o que dispensa a atual leitura manual feita por funcionários da COPEL, e o envio automático de alertas quando houver quedas de

energia. O cliente não precisará mais interagir com a empresa por falta de energia.

Para que o sistema consiga conectar todos os consumidores foi preciso mapear todo território do município com intuito de identificar os pontos ideais de instalações de estações de rádio centralizadoras para rotear e retransmitir o sinal até o servidor central (COPEL, 2018b).

Na Figura 19 é possível observar os 22 pontos onde foram instalados os equipamentos de rádio frequência (*Backhaul*).

Figura 19 – Localização das estações de rádio comunicação



Fonte: Autoria própria.

Os roteadores, coletores e estações de rádio frequência são instalados em postes estratégicos da rede de distribuição de energia.

A Fotografia 2 exibe a estrutura em operação na rede rural.

Fotografia 2 – Estação de rádio comunicação rural



Fonte: Autoria própria.

A Fotografia 3 exibe a estrutura em operação na rede urbana.

Fotografia 3 – Estação de rádio comunicação urbana



Fonte: Autoria própria.

A Fotografia 4 exibe os equipamentos adquiridos para realizar a comunicação dos medidores inteligentes com o centro de operação da COPEL.

Fotografia 4 – Roteador e coletor de dados em campo



Fonte: Autoria própria.

A Fotografia 5 exibe o rádio-base de comunicação que realiza a interligação das estações de comunicação e tem a função de escoar o tráfego de dados.

Fotografia 5 – Rádio de comunicação (backhaul)



Fonte: Autoria própria.

Com o projeto de Redes Inteligentes de Ipiranga vai ser possível formatar um modelo de comunicação de Internet das Coisas que poderá ser replicado para todo o Paraná e posteriormente oferecer novos serviços aos consumidores.

8 CONCLUSÃO

A rede de distribuição das concessionárias de energia elétrica precisa se modernizar para oferecer novas opções de interação com seus consumidores. A busca por controle de consumo e rapidez na realização de serviços é o fator motivante para os investimentos em novas tecnologias de redes inteligentes.

A COPEL demonstra protagonismo ao investir na pesquisa e aquisição de novos equipamentos para implantação de projetos de *Smart Meter* no Paraná.

Os órgãos reguladores buscam acompanhar a evolução das tecnologias para incentivar a implantação das redes inteligentes por parte das concessionárias.

A Internet das Coisas traz luz e padronização para ideias e conceitos há muito tempo almejados por companhias que querem oferecer novos serviços a seus clientes.

Diversos protocolos de comunicação estão surgindo e é preciso buscar alianças que permitam uma padronização e interoperabilidade entre equipamentos antigos e novos.

Com base nos comparativos exibidos nesta monografia ficou claro que o protocolo Wi-SUN é o mais adequado para os projetos de medição inteligentes devido as suas características técnicas e principalmente por ser um projeto colaborativo com atualização constante.

A escolha de equipamentos e tecnologias é um processo que merece pensamento sistêmico com visão no futuro para que o investimento não seja perdido com o passar dos anos.

Por fim, o curso de especialização alinou-se perfeitamente com o contexto atual da COPEL e esta trazendo ganhos pessoais e profissionais com a possibilidade de envolvimento direto nos projetos de tecnologia em andamento na COPEL.

REFERÊNCIAS

ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)**. Copyright© Anatel, 2016. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/institucional/>>. Acesso em: 16 set. 2018.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)**. Copyright© ANEEL, 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ASTORE, Lucas. **O Sistema Interligado Nacional**. PET Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, publicado em: 17 mai. 2016. Disponível em: <<https://www.peteletricaufes.com/single-post/2016/05/17/O-Sistema-Interligado-Nacional-1>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

AUGUSTO, Marcone; ROQUE, Guilherme. **Spread spectrum banda ISM 2.4GHz**. Instituto Federal Santa Catarina, Câmpus São José, publicado em: 05 jun. 2018. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/f/f2/lsm_24.pdf>. Acesso em: 16 set. 2018.

COPEL. **Chamada pública P&D COPEL DIS 001/2018**. Copyright© Copel Distribuição S.A, 2018. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/edital_chamada_publica_pd_0012018/\\$FILE/Edital%20Chamada%20Publica%20P&D%20001-2018-Internet.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/edital_chamada_publica_pd_0012018/$FILE/Edital%20Chamada%20Publica%20P&D%20001-2018-Internet.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2018.

COPEL. **Companhia Paranaense de Energia**. Copyright© COPEL, 2011. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/index.jsp>>. Acesso em: 16 set. 2018.

DEKKERS, Paul. **LoRa, the Internet of Things**. Innovation Blog, publicado em: 25 jan. 2016. Disponível em: <<https://blog.surf.nl/en/lora-the-internet-of-things/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

DINIZ, Glauber Fonseca; et al. **A geração, transporte e distribuição da eletricidade**. Blog Três Marias em Foco, publicado em: 02 out. 2011. Disponível em: <<http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

EGHAM, U. K. **Gartner says 8.4 billion connected “things” will be in use in 2017, up 31 percent from 2016.** Copyright© 2018 Gartner, Inc. Publicado em: 07 fev. 2017. Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>>. Acesso em: 15 set. 2018.

FIGURA_IOT. **Internet das coisas exigirá plataformas para criação de aplicativos para usuários.** Copyright© Conversa de TI, publicado em: 19 out. 2018. Disponível em: <<https://www.conversadeti.com.br/internet-das-coisas-exigira-plataformas-para-criacao-de-aplicativos-para-usuarios/>>. Acesso em: 16 set. 2018.

IEEE-802.15.4. **802.15.4-2011 - IEEE standard for local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs).** IEEE Xplore Digital Library, publicado em: 05 set. 2011. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6012487>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

IEEE-802.15.4g. **802.15.4g-2012 - IEEE standard for local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 3: Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Data-Rate, Wireless, Smart Metering Utility Networks.** IEEE Xplore Digital Library, publicado em: 27 abr. 2012. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6190698>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

JAMHOUR, Edgard. **Comunicação sem fio WLAN (802.11).** Copyright© Edgard Jamhour, 2018. Disponível em: <<http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/Pessoal/Atual/WLAN-Parte1.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

KUSHALNAGAR, N.; MONTENEGRO, G.; SCHUMACHER, C. **IPv6 over low-power wireless personal area networks (6lowpans): overview, assumptions, problem statement, and goals.** Copyright© The IETF Trust, publicado em: ago. 2007. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc4919>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

LOPEZ, Maribel. **Uma introdução à Internet da Coisas (IoT).** Copyright© 2018 Lopez Research LLC. Publicado em: nov. 2013. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/brand/iot/iot/pdfs/lopez_research_an_introduction_to_iiot_102413_final_portuguese.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2018.

LORA_ALLIANCE. **Logotipo da aliança LoRa.** Copyright© LoRa Alliance, 2018. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

MAROTTA, Marcelo Antonio; et al. **Through the internet of things: A Management by Delegation Smart object Aware System (MbDSAS)**. In: COMPUTER SOFTWARE AND APPLICATIONS CONFERENCE (COMPSAC), 2013 IEEE 37th Annual, p. 732-741. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6649911>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

MCPSE. **Manual de controle patrimonial do setor elétrico**. Anexo à resolução normativa nº 367/2009, de 02 de junho de 2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2009_Ma_nualControlePatrimonialSetorEletrico/8d2dad99-ea0f-a5b6-39dc-3c7e32cce951>. Acesso em: 10 set. 2018.

MELO, Pablo. **Introdução ao LPWAN (Low Power Wide Area Network)**. Copyright© Embarcados. Publicado em: 27 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-lpwan/>>. Acesso em: 16 set. 2018.

MOREIRAS, Antônio M. **ZigBee usa agora 6LoWPAN! Sua próxima lâmpada terá IPv6?** Blog IPv6.br, publicado em: 30 mar. 2013. Disponível em: <<http://ipv6.br/post/zigbee-usa-agora-6lowpan-sua-proxima-lampada-tera-ipv6/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

MOVINTURE. **Movinture: moving the future closer to you**. Copyright© Movinture, 2016. Disponível em: <<http://movinture.com/iot-expertise/>>. Acesso em: 16 set. 2018.

ONS. **Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)**. Copyright© ONS, 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso 15 set. 2018.

PESSOA, Claudio Roberto Magalhães; et al. **A Internet das Coisas: será a internet do futuro ou está prestes a se tornar a realidade do presente?** Engenharias Online, Faculdade de Engenharia da Universidade FUMEC, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/eol/article/view/2961>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

PFÜTZENREUTER, Elvis. **Zigbee: a rede das pequenas coisas**. Copyright© Elvis Pfützenreuter, 2018. Disponível em: <<https://epxx.co/artigos/zigbee.html>>. Acesso em: 15 set. 2018.

PRAJZLER, Vit. **LoRa, LoRaWAN and LORIIOT.io**. Publicado em: 01 ago. 2015. Disponível em: <<https://www.loriot.io/lorawan.html>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

ROMANO, Rogério Botteon; et al. **Infraestrutura Avançada de Medição (AMI)**. Copyright© Portal O Setor Elétrico, publicado em: dez. 2015. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/infraestrutura-avancada-de-medicao-ami/>>. Acesso em: 20 out. 2018.

SANTOS, Bruno P.; et al. **Internet das Coisas: da teoria à prática**. Departamento de Ciência da Computação. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <<https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2018.

SIGFOX. **M2M and IoT redefined through cost effective and energy optimized connectivity**. Copyright© SIGFOX, publicado em: fev. 2013. Disponível em: <https://lafibre.info/images/3g/201302_sigfox_whitepaper.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

SIGFOX. **Site oficial Sigfox**. Copyright© SIGFOX, 2018. Disponível em: <<https://www.sigfox.com/en>>. Acesso em: 20 set. 2018.

WIFI. **Logotipo da tecnologia Wi-fi**. Copyright© Wi-Fi Alliance, 2018. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

WI-SUN_ALLIANCE. **Comparing IoT networks at a Glance, 2017**. Copyright© Wi-SUN Alliance, 2017. Disponível em: <<https://www.wi-sun.org/wp-content/uploads/Wi-SUN-Comparing-IoT-Networks.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ZEMEDE, Martha. Design and Test for the IoT. Copyright© WTWH Media LLC, 2018. Publicado em: 22 abr. 2016. Disponível em: <<https://www.testandmeasurementtips.com/design-test-iot/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ZIGBEE. **Logotipo do protocolo ZigBee**. Copyright© Zigbee, 2018. Disponível em: <<https://www.zigbee.org/>>. Acesso em: 15 set. 2018.