

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

LUCAS MUMBERGER

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE AMBIENTES INDUSTRIAIS
CONFIGURÁVEL BASEADO EM INTERNET DAS COISAS**

**São Leopoldo
2018**

LUCAS MUMBERGER

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE AMBIENTES INDUSTRIAIS
CONFIGURÁVEL BASEADO EM INTERNET DAS COISAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica, pelo Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Marques de Figueiredo

São Leopoldo

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais e a minha noiva que sempre me apoiaram, incentivaram e torceram durante minha trajetória, fornecendo todo o suporte necessário para que fosse possível chegar até este momento. Agradeço também ao Prof. Dr. Rodrigo Marques de Figueiredo, que aceitou me orientar ao longo deste trabalho, acreditando e estando sempre de prontidão para ajudar em todas as dificuldades encontradas ao longo do mesmo. Por fim, agradeço aos demais professores que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, assim como aos colegas e amigos com os quais enfrentei as dificuldades deste curso.

RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema para monitoramento de ambientes industriais configurável baseado em Internet das Coisas, utilizando rádio LoRa e o protocolo MQTT para efetuar a comunicação entre os dispositivos deste sistema. Além do objetivo principal de criar e implementar o sistema, este trabalho busca também fomentar o interesse de pequenas e médias empresas através de um sistema modular e barato, com o qual é possível fazer uma aproximação destas empresas ao segmento da Internet das Coisas, que é uma parte muito importante na quarta revolução industrial denominada de Indústria 4.0. São apresentados fundamentos teóricos nas áreas de redes e Internet das Coisas juntamente com padrões e protocolos de comunicação. O trabalho mostra também a metodologia empregada, explanando o sistema proposto para a criação dos dispositivos que compõem o sistema, aos quais foram submetidos a testes em bancada para verificar as funcionalidades empregadas e também a testes em campo, verificando a eficiência de comunicação dos dispositivos em distâncias entre 20 e 840 metros além de efetuar sua validação durante cinco dias de testes realizados em uma empresa localizada em Novo Hamburgo – RS, que disponibilizou seus colaboradores para utilizarem o sistema. Através destes testes simulando uma situação real da aplicação do sistema, obteve-se uma avaliação geral satisfatória por parte dos 6 usuários, gerando uma nota de 9,83, considerando 0 a pior e 10 a melhor nota.

Palavras-chave: Internet das Coisas. LoRa. MQTT. Indústria. IoT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura para IoT	18
Figura 2 - Arquitetura de um dispositivo para IoT.....	19
Figura 3 - Hierarquias de redes.....	22
Figura 4 - Topologias de redes.....	23
Figura 5 - Modelo publicador/assinante MQTT	31
Figura 6 - Gráfico de taxa de perda de pacotes	33
Figura 7 - Dados recebidos por um cliente, descryptografados e organizados.....	34
Figura 8 - Diagrama do <i>gateway</i> elaborado por Tietz	35
Figura 9 - <i>Raspberry Pi</i> instalada em uma caixa.....	35
Figura 10 - Dispositivo <i>SigSense</i>	36
Figura 11 - Dispositivo <i>Sonoof Basic</i>	37
Figura 12 - Fluxograma da metodologia proposta.....	39
Figura 13 - Arquitetura geral do sistema	41
Figura 14 - Arquitetura dos nós	42
Figura 15 - Arquitetura do <i>gateway</i>	43
Figura 16 - Placa WIFI LoRa 32	44
Figura 17 - Arduino Nano V3.0.....	45
Figura 18 - Fonte de alimentação.....	46
Figura 19 - Sensor de proximidade infravermelho E18-D80NK.....	46
Figura 20 - Sensor de temperatura DS18B20	47
Figura 21 - Sensor de proximidade indutivo LJ12A3-NPN	48
Figura 22 - Teclado matricial 4x4	48
Figura 23 - Kit módulo leitor RFID Mfrc522 Mifare	49
Figura 24 - Conversor de nível lógico bidirecional.....	50
Figura 25 - Modelo de mensagem entre nó e módulos leitores.....	50
Figura 26 - Modelo de mensagem entre o <i>gateway</i> e o nó	51
Figura 27 - Metodologia de testes	52
Figura 28 - Circuito do módulo de <i>gateway</i>	55
Figura 29 - Montagem da placa do <i>gateway</i>	55
Figura 30 - Montagem da caixa do <i>gateway</i>	56
Figura 31 - <i>Gateway</i> montado.....	56
Figura 32 - Circuito do módulo de nó	58

Figura 33 - Pinagem conector DB-9 fêmea dos canais 1, 2 e 3	59
Figura 34 - Pinagem conector DB-9 fêmea do canal de comunicação.....	59
Figura 35 - Montagem da placa do nó.....	60
Figura 36 - Montagem da caixa do nó.....	60
Figura 37 - Nó montado	61
Figura 38 - Circuito do módulo leitor RFID	63
Figura 39 - Montagem da placa do módulo leitor RFID.....	63
Figura 40 - Montagem da caixa do módulo leitor RFID	64
Figura 41 - Módulo leitor RFID montado	64
Figura 42 - Circuito do módulo leitor de teclado	65
Figura 43 - Montagem da placa do módulo leitor de teclado.....	66
Figura 44 - Montagem da placa do módulo leitor de teclado.....	66
Figura 45 - Módulo leitor de teclado montado	67
Figura 46 - Circuito dos sensores.....	68
Figura 47 - Sensor de temperatura DS18B20 montado	68
Figura 48 - Sensor óptico E18-D80NK montado	69
Figura 49 - Sensor indutivo LJ12A3-NPN montado.....	69
Figura 50 - Fluxograma do programa do módulo de <i>gateway</i>	70
Figura 51 - Página criada através da Placa WiFi LoRa 32.....	71
Figura 52 - Página para inserir dados de conexão.....	72
Figura 53 - <i>Display</i> do módulo de <i>gateway</i>	72
Figura 54 - Fluxograma do programa do módulo de nó parte 1	73
Figura 55 - Fluxograma do programa do módulo de nó parte 2	74
Figura 56 - Fluxograma do programa do módulo leitor RFID	75
Figura 57 - Fluxograma do programa do módulo leitor de teclado	76
Figura 58 - Criando aplicação no IoT MQTT <i>Panel</i> parte 1.....	77
Figura 59 - Criando aplicação no IoT MQTT <i>Panel</i> parte 2.....	78
Figura 60 - Adicionando instâncias no IoT MQTT <i>Panel</i> parte 1	79
Figura 61 - Adicionando instâncias no IoT MQTT <i>Panel</i> parte 2.....	79
Figura 62 - Adicionando instâncias no IoT MQTT <i>Panel</i> parte 3.....	80
Figura 63 - Teste de perda de dados em 20 metros	81
Figura 64 - Teste de perda de dados em 500 metros	82
Figura 65 - Teste de cadastro de nó	82
Figura 66 - Teste de <i>reset</i> de acionamentos e contadores	83

Figura 67 - Teste de funcionamento de acionamentos e estados atuais	83
Figura 68 - Teste dos contadores.....	83
Figura 69 - Teste de cadastro de módulo leitor	84
Figura 70 - Teste de verificação de número digitado no teclado	84
Figura 71 - Teste de envio de valor digitado no teclado.....	84
Figura 72 - Teste de módulo leitor desconectado	85
Figura 73 - Teste de leitura de <i>tag</i> RFID	85
Figura 74 - Teste de alarme RFID.....	85
Figura 75 - Teste de sensores de temperatura	86
Figura 76 - Teste de desligamento do nó	86
Figura 77 - Teste descadastro do módulo leitor	86
Figura 78 - Teste de nó descadastrado.....	87
Figura 79 - Aplicação criada pelo usuário	87
Figura 80 - Nó e sensores instalados na máquina	88
Figura 81 - Sensor indutivo no interior da máquina.....	89
Figura 82 - Nó e sensores instalados no almoxarifado	89
Figura 83 - Nó e leitor RFID instalados no relógio ponto.....	90
Figura 84 - <i>Gateway</i> instalado no escritório	90
Figura 85 - Temperaturas pela manhã e tarde	91
Figura 86 - Ordens de serviço registradas nos quatro dias.....	91
Figura 87 - Contador de produção da máquina nos quatro dias	92
Figura 88 - Contador de produção registrado nos quatro dias	92
Figura 89 - Alarmes registrados no último dia de testes	93
Figura 90 - Cartão ponto do usuário 1.....	93
Figura 91 - Cartão ponto do usuário 2.....	94
Figura 92 - Cartão ponto do usuário 3.....	94
Figura 93 - Registro do cartão ponto dos dias 1 e 2.....	94
Figura 94 - Registro do cartão ponto dos dias 3 e 4.....	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resposta para a pergunta 1 do questionário.....	96
Gráfico 2 - Resposta para a pergunta 2 do questionário.....	96
Gráfico 3 - Resposta para a pergunta 3 do questionário.....	97
Gráfico 4 - Resposta para a pergunta 4 do questionário.....	97
Gráfico 5 - Resposta para a pergunta 5 do questionário.....	98
Gráfico 6 - Resposta para a pergunta 6 do questionário.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características da placa WIFI LoRa 32.....	44
Quadro 2 - Características da placa Arduino Nano V3.0.....	45
Quadro 3 - Características do sensor de temperatura DS18B20	47
Quadro 4 - Características do kit módulo leitor Mfrc522 Mifare.....	49
Quadro 5 - Relação de componentes e custos para 1 módulo de <i>gateway</i>	57
Quadro 6 - Relação de componentes e custos para 1 módulo de nó.....	61
Quadro 7 - Relação de componentes e custos para 1 módulo leitor RFID	65
Quadro 8 - Relação de componentes e custos para 1 módulo leitor de teclado	67
Quadro 9 - Relação de componentes e custos para 1 sensor de cada tipo	69
Quadro 10 - Justificativa para a pergunta 2 do questionário	96
Quadro 11 - Justificativa para a resposta 4 do questionário	98
Quadro 12 - Justificativa para a pergunta 6 do questionário	99
Quadro 13 - Resposta para a pergunta 7 do questionário	99

LISTA DE SIGLAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicação
AP	<i>Access Point</i> (Ponto de Acesso)
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> (Código Americano Padrão para Troca de Informações)
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i> (<i>Bluetooth</i> de Baixo Consumo)
CI	Circuito Integrado
CLP	Controlador Lógico Programável
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i> (Protocolo de Aplicação Restrita)
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection</i> (Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora com Anulação/Prevenção de Colisão)
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i> (Espalhamento Espectral <i>Chirp</i>)
EIA	<i>Electronics Industry Alliance</i> (Aliança da Indústria Eletrônica)
EUA	Estados Unidos da América
FSK	<i>Frequency Shifting Keying</i> (Modulação por Chaveamento de Frequência)
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> (Internet Industrial das Coisas)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo de Internet)
ISP	<i>Internet Service Provider</i> (Provedor de Serviço Internet)
ISO	<i>International Standard Organization</i> (Organização Internacional de Padronização)
LAN	<i>Local Area Network</i> (Rede de Área Local)
LoRa	<i>Long Range</i> (Longo Alcance)
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i> (Rede de Longa Distância e Baixo Consumo)
M2M	<i>Machine to Machine</i> (Máquina para máquina)
MAC	<i>Media Access Protocol</i> (Controle de Acesso ao Meio)
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i> (Rede de Área Metropolitana)

MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (Enfileiramento de Mensagens de Transporte de Telemetria)
NFC	<i>Near Field Communication</i> (Comunicação de Campo Próximo)
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i> (Rede de Área Pessoal)
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (Identificação por Radiofrequência)
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
SD	<i>Secure Digital</i> (Seguro Digital)
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> (Protocolo de Controle de Transmissão)
UID	<i>Unique Identifier</i> (Identificação Única)
VoIP	<i>Voice Over Internet Protocol</i> (Voz Sobre Protocolo de Internet)
WAN	<i>Wide Area Network</i> (Rede de Longa Distância)
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i> (Fidelidade Sem Fio)
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> (Rede de Área Local Sem Fio)
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i> (Rede de Área Metropolitana Sem Fio)
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i> (Rede de Área Pessoal Sem Fio)
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i> (Rede de Longa Distância Sem Fio)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 CONCEITOS BÁSICOS	16
2.1 Internet das Coisas	16
2.2 Indústria 4.0	17
2.3 Arquitetura da IoT	18
2.4 Dispositivos para IoT	19
2.5 Rede	20
2.5.1 Extensão Geográfica	21
2.5.2 Hierarquia	21
2.5.3 Topologias.....	22
2.6 Modelo ISO/OSI	24
2.7 Padrões e Protocolos de Comunicação	25
2.7.1 IEEE 802.3 – Ethernet.....	26
2.7.2 IEEE 802.11 – Wi-Fi	26
2.7.3 IEEE 802.15.4 – <i>Low-Rate Wireless Personal Area Networks</i>	27
2.7.4 Rede LoRa/LoRaWAN™	28
2.7.5 RFID e NFC.....	29
2.7.6 Protocolos de Aplicação	30
3 ESTADO DA ARTE	32
3.1 Trabalhos Relacionados	32
3.1.1 Avaliação de Desempenho de Protocolos de Transmissão para Redes de Sensores sem Fio Aplicadas à Agricultura	32
3.1.2 Estudo do Protocolo LoRaWAN e Implementação de uma Rede Privada com Nós Distribuídos	33
3.1.3 Desenvolvimento de um <i>Gateway</i> de Internet das Coisas para Automação Industrial.....	34
3.2 Produtos no Mercado	36
3.2.1 SIGMAIS IoT <i>Company</i>	36
3.2.2 SONOFF	37
3.3 Diferenciais do Sistema Proposto	37
4 METODOLOGIA	39
4.1 Arquitetura do Sistema	40

4.1.1 Arquitetura dos Nós.....	42
4.1.2 Arquitetura do <i>Gateway</i>	43
4.2 Materiais e Ferramentas	43
4.2.1 Microcontroladores.....	43
4.2.2 Fonte de Energia.....	46
4.2.3 Sensores	46
4.2.4 Teclado.....	48
4.2.5 Módulo RFID	48
4.2.6 Conversores.....	49
4.3 Protocolos.....	50
4.4 Estudo de Caso	51
4.4.1 Monitoramento de Máquina.....	51
4.4.2 Monitoramento de Acesso do Almojarifado.....	51
4.4.3 Monitoramento de Entrada e Saída.....	52
4.5 Testes	52
5 SISTEMA PROPOSTO	54
5.1 Montagem	54
5.1.1 Montagem do <i>Gateway</i>	54
5.1.2 Montagem dos Módulos de Nós.....	57
5.1.3 Montagem do Módulo Leitor RFID	62
5.1.4 Montagem do Módulo Leitor de Teclado	65
5.1.5 Montagem dos Sensores.....	68
5.2 Programação	70
5.2.1 Programação do <i>Gateway</i>	70
5.2.2 Programação do Módulo de Nó.....	73
5.2.3 Programação do Módulo Leitor RFID.....	74
5.2.4 Programação do Módulo Leitor de Teclado.....	75
5.3 Configuração do <i>Broker</i>.....	76
5.4 Aplicativo	77
6 TESTES E VALIDAÇÃO.....	81
6.1 Testes Preliminares	81
6.2 Testes Funcionais	82
6.3 Testes de Interface.....	87
6.4 Testes de Instalação	88

6.5 Testes Operacionais	91
6.6 Testes de Aceitação	95
7 CONCLUSÃO	101
REFERÊNCIAS.....	103
APÊNDICE A – MANUAL DE USUÁRIO DO SISTEMA.....	106
APÊNDICE B – QUADRO DE TÓPICOS PUBLICADOS PELO GATEWAY.....	130
APÊNDICE C – QUADRO DE TÓPICOS ASSINADOS PELO GATEWAY.....	132
APÊNDICE D – QUADRO DE TÓPICOS PUBLICADOS PELO GATEWAY PARA COMANDOS E ALARMES.....	133

1 INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas traz diversas comodidades para os seus usuários, através de redes de dispositivos que permitem obter muitos tipos de informações e controlar processos de forma remota. Existem várias aplicações neste segmento, tendo desde o monitoramento de carros, eletrodomésticos, máquinas e até mesmo monitores cardíacos, de modo que mais dispositivos serão conectados nos próximos anos com o crescimento da Internet das Coisas (HERRERA, 2017). Quando o termo se aplica ao segmento residencial possibilita aos usuários obter o controle de eletrodomésticos a distância, assim como de câmeras, alarmes e iluminação, utilizando recursos de forma mais eficiente também (TIMOKHINA, 2017). De mesma forma, na agricultura pode se obter informações como temperatura, umidade do solo, controle de irrigação, entre outros. Demais setores também se beneficiam destas novas tecnologias como os setores de saúde e transporte (PADILHA, 2018). Contudo, estas tecnologias também não ficariam longe dos setores industriais, tendo como consequência a denominada Indústria 4.0, que consiste em uma revolução industrial emergente.

Quando a Internet das Coisas é aplicada nas indústrias, vários benefícios são adquiridos, tendo por exemplo melhorias na produtividade, redução de custos, agilidade na troca de informações, rápida tomada de decisões, previsão de possíveis problemas, entre outros. No entanto, mesmo com estes benefícios, muitas empresas não investem no segmento. Isto pode acontecer por diversos motivos, sendo um deles a falta de conhecimento sobre as tecnologias por parte dos empresários, considerando uma pesquisa com 2225 empresas realizada pela CNI (Confederação Nacional da Indústria), na qual 58 % destas conhecem os benefícios e nem metade delas utilizam as tecnologias. Este fator é mais agravante nas empresas de pequeno porte, sendo que 57 % destas não reconhecem as tecnologias digitais para alavancar e melhorar os seus processos. Também há o motivo de custos de implantação elevados, no qual 66 % das empresas alegam ser o principal motivo para não aderirem as tecnologias digitais, o que pode ser amenizado através de parcerias e implantações de tecnologias por etapas (CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

Este último problema pode fazer com que empresas de pequeno e médio porte não tenham condições de adquirir as tecnologias necessárias para solucionar

as dificuldades, que muitas vezes podem ser mais simples, se comparadas a grandes corporações. Dessa forma, se faz necessário uma solução de menor complexidade e mais barata para que estas empresas possam começar a integralizar o conceito de Internet das Coisas em suas aplicações.

Neste trabalho, é proposto o desenvolvimento de um sistema que utiliza o conceito de Internet das Coisas para efetuar o monitoramento de ambientes industriais, podendo ser tanto o monitoramento de máquinas como de pessoas. O objetivo é elaborar um sistema de monitoramento de ambientes industriais de forma que o mesmo apresente uma interface simples para que desenvolvedores possam utilizá-lo de forma fácil e prática, assim como os usuários do produto desenvolvido com o sistema possam instalá-lo e utilizá-lo também de forma simples e amigável.

Como objetivos específicos tem-se que o sistema deverá apresentar um certo nível de modularidade, de modo a ser utilizado em aplicações industriais diferentes, utilizando poucos dispositivos sensores para cobrir o ambiente monitorado. Além disso, deverá ter um valor acessível para que empresas de pequeno e médio porte se sintam motivadas e investir em um produto para o monitoramento de seus sistemas.

Este trabalho está dividido em 7 capítulos, sendo este primeiro a introdução, que visa contextualizar e apresentar as motivações do estudo proposto. Em seguida no capítulo 2, são apresentados os conceitos básicos sobre as tecnologias e possíveis ferramentas que são utilizadas na implementação do projeto. O capítulo 3, apresenta alguns trabalhos que se assemelham de alguma forma ao trabalho proposto, assim como uma pesquisa de mercado para verificar aplicações e tecnologias atuais. O capítulo 4, contém a metodologia seguida para o desenvolvimento do trabalho. No quinto capítulo, é mostrado o sistema proposto, de modo a apresentar de forma mais detalhada as delimitações especificadas. Em seguida, são realizadas as análises de resultados no capítulo 6, tendo por fim no capítulo 7, a conclusão do trabalho proposto.

2 CONCEITOS BÁSICOS

A Internet das Coisas conta com diversos meios de implementação diferentes, visto que ela engloba vários ramos da sociedade, como por exemplo a agricultura, domicílios, indústria, entre outros. Existem muitas tecnologias antigas que são utilizadas, assim como diversas tecnologias que hoje podem ser ditas como emergentes. Também com o desenvolvimento da quarta revolução industrial, foram aplicados diversos tipos de tecnologias especificamente para a área industrial, visando melhores performances, relações de custo benefício, dentre outros fatores. Desta forma, percebe-se que para escolher determinadas redes industriais, protocolos, dispositivos, entre outros, deve-se verificar com cuidado o tipo da aplicação proposta, baseando-se nela para verificar quais tecnologias se adaptam melhor ao sistema proposto (HERRERA, 2017). Neste capítulo serão introduzidos os conhecimentos básicos necessários para o bom entendimento deste trabalho.

2.1 Internet das Coisas

Ao pesquisar na literatura, pode-se verificar uma grande dificuldade em descobrir o significado da Internet das Coisas (IoT, *Internet of Things*), quais as ideias básicas que sustentam este conceito, além das implicações que o termo levará para as áreas sociais, econômicas e técnicas (ATZORI; LERA; MORABITO, 2010).

Em mais de 30 anos, a Internet destinava-se a aplicações como *e-mail*, *chat*, *VoIP* (*Voice Over Internet Protocol*, *Voz Sobre Protocolo de Internet*), além de aplicação de navegação na *web*, através de transferências de arquivos e pesquisas, todas estas focadas para pessoas e de pessoas para pessoas. Contudo, a IoT tem seu foco em sistemas embarcados, diferentemente das aplicações ditas anteriormente que utilizam computadores convencionais. Isto quer dizer que os dispositivos utilizados têm seus serviços integrados, podendo ser aplicados em diversas áreas como residencial, segurança, redes de energia inteligentes, entre outras (COMER, 2016).

Em 1999, *Kevin Ashton*, cofundador e diretor executivo da *Auto-ID Center*, utilizou o termo pela primeira vez em uma apresentação na qual refletiu sobre os computadores saberem tudo sobre as coisas no ambiente ao seu redor de forma

autônoma, sem auxílio dos usuários. Seria possível rastrear e contar coisas reduzindo perdas e custos (ASHTON, 2009).

Segundo Dorsemaine *et al* (2016), uma definição para o termo Internet das Coisas é um conjunto de infra-estruturas que se comunicam com dispositivos conectados, permitindo todo o acesso aos conteúdos gerados pelos mesmos, assim como o gerenciamento e exploração dos dados.

Outra definição é de que a IoT constitui-se de um conjunto de objetos ou coisas (sensores, atuadores, celulares, computadores, entre outros) que possuem endereços únicos estando localizados em torno das pessoas, e conseguem se comunicar uns com os outros através de redes para atingirem um objetivo comum através da mutua colaboração (ATZORI; LERA; MORABITO, 2010).

Também, segundo Meola (2016), a Internet das Coisas acontece quando existe a conexão de itens diferentes dos habituais (computadores ou celulares) na rede, como por exemplo, um carro, aparelhos domésticos em geral, entre outros, e pode se definir como uma rede que através de sensores e atuadores é capaz de coletar e trocar dados com a Internet.

Apesar da IoT ter diversas definições e aplicações, uma delas segue na área industrial, a chamada Internet das Coisas Industrial (IIoT, *Industrial Internet of Things*). Ela basicamente consiste na integração do “chão de fábrica” industrial com a rede, enviando e recebendo informações de forma que não seja efetivamente necessário que pessoas atuem no sistema (CORREA; *et al.*, 2016). Este conceito está inserido na Indústria 4.0.

2.2 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 faz referência a chamada Quarta Revolução Industrial, que está atualmente acontecendo. Este conceito é proveniente das revoluções anteriores, sendo a primeira, a mecanização de processos em meados dos anos 1800, a segunda, a produção em linhas de montagem e utilização da eletricidade e a terceira, a automação e digitalização dos processos da indústria. No entanto, algo que difere a quarta revolução industrial das anteriores, é que nesta o fato da transformação já é conhecido antes dela acontecer, o que proporciona a chance de conduzir e orientar seus avanços de forma eficiente e organizada para o benefício de todos (GILCHRIST, 2016).

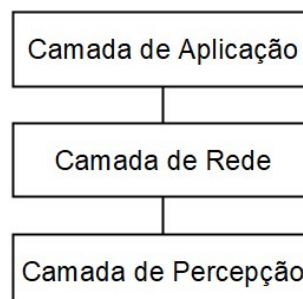
Graças a um crescimento muito grande de variedade de dispositivos, como computadores, *tablets* e celulares, servindo de canal de acesso e comando para os dados coletados, a Internet das Coisas promete um grande crescimento de dispositivos conectados. Hoje, os dados coletados em máquinas através de dispositivos IoT representam cerca de 15% do total de dados das organizações, sendo que ao longo dos próximos 10 anos há uma perspectiva de crescimento para cerca de 50% (GREENGARD, 2015).

Logo, através dos dispositivos para IoT, serão fornecidos dados sobre a utilização das máquinas, ambientes, comportamento de operadores, condições de integridade, entre outros. Nas próximas seções, as arquiteturas da IoT e de seus dispositivos são abordadas de forma mais aprofundada.

2.3 Arquitetura da IoT

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) conta com um projeto chamado IEEE P2413™, que tem por objetivos básicos definir uma arquitetura para IoT de modo a unificar plataformas, acelerar o crescimento de mercado, reduzir a fragmentação da indústria, entre outros. A arquitetura proposta pelo projeto consiste em três camadas, sendo elas: a camada de aplicações e serviços, a camada de redes e comunicações de dados e por fim camada de percepção (IEEE P2413 WORKING GROUP, 2015). A Figura 1 apresenta este conceito de camadas.

Figura 1 - Arquitetura para IoT



Fonte: Adaptado de Santos *et al* (2016).

A camada de percepção consiste nas “coisas” que contém os sensores para aquisição de dados, sendo o nível mais baixo. A camada de rede deve receber os dados da camada de percepção e efetuar o gerenciamento, roteamento, e

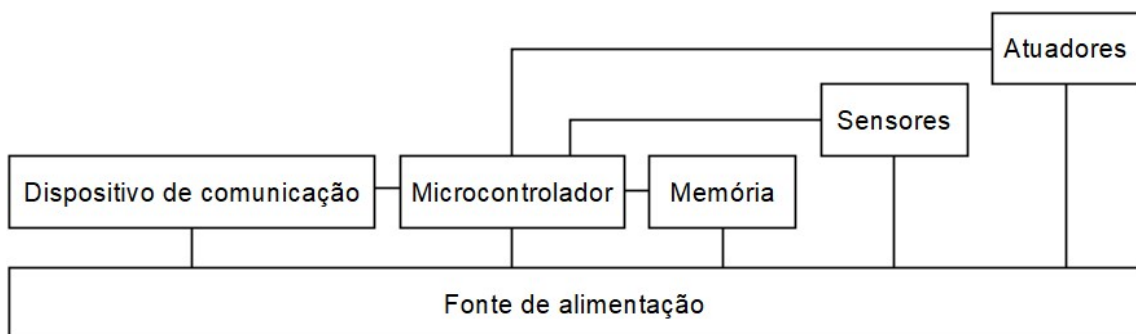
tratamento das tecnologias de comunicação utilizadas. Já a camada de aplicação deve fornecer serviços aos usuários finais (SANTOS; *et al.*, 2016).

2.4 Dispositivos para IoT

Um dispositivo IoT possui sensor e/ou atuador ou um conjunto dos mesmos que realizam uma determinada função em um ambiente e são capazes de se comunicar com outros equipamentos ligados em rede. O mesmo deve estar inserido em uma infraestrutura, permitindo que os dados gerados sejam transmitidos, armazenados e visualizados por um outro equipamento ou usuário (DORSEMAINE; *et al.*, 2016).

Segundo Dutta e Dunkels (2011), uma arquitetura típica de um dispositivo em uma rede de sensores e atuadores sem fios (o que caracteriza um dispositivo para IoT) deve conter os seguintes itens: um microcontrolador, uma fonte de energia, uma memória, alguns dispositivos de comunicação e conjuntos de sensores e atuadores. Dependendo da forma como o dispositivo for configurado, o mesmo pode funcionar de diferentes formas, podendo ser um nó, um *gateway*, entre outros. Abaixo a Figura 2 mostra um diagrama para melhor compreensão.

Figura 2 - Arquitetura de um dispositivo para IoT



Fonte: Adaptado de Dutta e Dunkels (2011).

Os sensores são dispositivos que respondem de forma proporcional com um sinal de saída (elétrico, magnético, etc.) em relação a exposição a algum fenômeno físico (pressão, temperatura, etc.). O termo Sensor é comumente confundido com o termo Transdutor. Os sensores respondem basicamente a mudanças de um fenômeno físico, enquanto os transdutores são capazes de transformar uma forma de energia em outra. Para exemplificar, o termopar é um sensor que converte uma

diferença de temperatura em uma diferença proporcional de energia elétrica, e dessa forma podendo ser chamado tanto de sensor quanto de transdutor (BISHOP, 2008).

Os atuadores, por outro lado, são dispositivos que geram uma mudança em um estado físico (calor, força, movimento, etc.) através de um comando, que normalmente é elétrico. De forma geral, os atuadores são utilizados em conjunto com um dispositivo de acoplamento, que atua como interface entre o atuador em si e o sistema físico, e uma fonte de energia que fornece normalmente tensão ou corrente para o mesmo (BISHOP, 2008).

A memória secundária, além da própria memória do microcontrolador, normalmente é utilizada com circuitos integrados *on-board*, ou cartões SD (*Secure Digital Cards*). De mesma forma, normalmente são memórias do tipo *flash*. Na questão de energia, a fonte de alimentação pode ser de diversos tipos diferentes, como por exemplo uma bateria, fonte chaveada ou até mesmo uma célula solar. O ideal é que os dispositivos consumam o mínimo de energia necessário (DUTTA; DUNKELS, 2011). Já o dispositivo de comunicação pode ser tanto para um meio físico cabeado como para um meio físico sem fio. É através dele que o dispositivo tomará forma como uma parte da rede, conceito este que será visto em seguida.

2.5 Rede

Uma rede pode ser caracterizada como um conjunto de dispositivos que trocam informações entre si, uma vez que estão interconectados uns aos outros. As redes podem ser percebidas em diversos locais diferentes, desde grandes e pequenas empresas, até mesmo em escolas e residências. Um exemplo que se pode verificar é a própria Internet, que se constitui por uma rede na qual os usuários de computadores possam acessar e enviar informações uns aos outros de forma descentralizada. As redes podem ser constituídas por dispositivos ligados por cabos ou até mesmo por tecnologias sem fio, tendo suas características definidas pelos dispositivos que as compõem. (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014). As redes podem ser caracterizadas por diversos tipos de classificação que serão verificadas nas próximas seções.

2.5.1 Extensão Geográfica

Nesta seção, as redes são classificadas de acordo com seus alcances e aplicações. Segundo Cristo, Perlin e Franciscatto (2014), seguem abaixo as definições principais de acordo com a caracterização de cada tipo.

- Rede de Área Pessoal (PAN, *Personal Area Network*) – Rede formada por dispositivos próximos uns dos outros, podendo-se dar como exemplo alguns computadores ligados em rede dentro de uma sala trocando informações entre os mesmos;
- Rede de Área Local (LAN, *Local Area Network*) – Este tipo de rede é constituído geralmente por dispositivos ligados uns aos outros através de concentradores e gerenciadores, tendo uma área da atuação “limitada” quanto ao alcance;
- Rede de Área Metropolitana (MAN, *Metropolitan Area Network*) – Corresponde a uma rede com um alcance mediano, podendo cobrir até mesmo uma cidade ou região. Um exemplo são as redes provedoras de internet (ISP, *Internet Service Provider*);
- Rede de Longa Distância (WAN, *Wide Area Network*) – É uma rede que pode abranger países, continentes, entre outros. Logo, é uma rede de grande cobertura.

Para as redes citadas acima ainda existem as redes sem fio (*wireless*): WPAN, WLAN, WMAN e WWAN. Outro modelo de rede que aparece de forma emergente aliada as novas tecnologias da IoT é a Rede de Longa Distância e Baixo Consumo (LPWAN, *Low Power Wide Area Network*). Basicamente é uma rede que tem um longo alcance, juntamente com um baixo consumo de energia por parte dos dispositivos que fazem parte dela (DIAS, 2016).

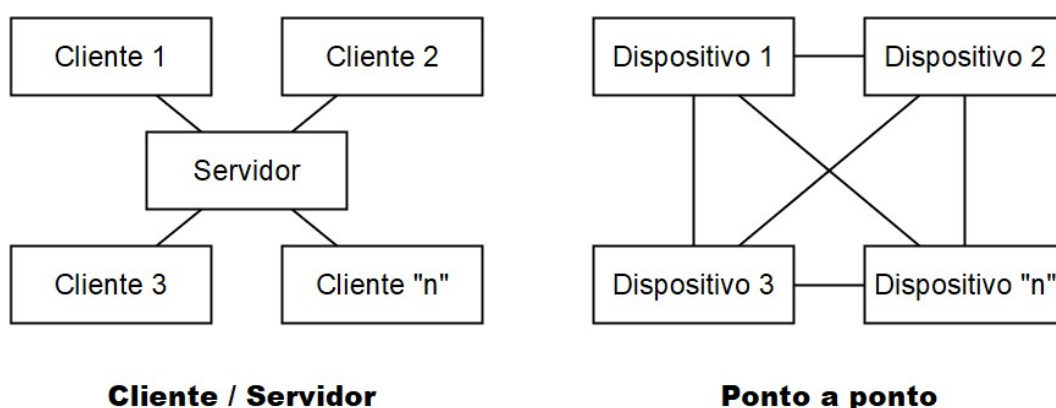
2.5.2 Hierarquia

Esta seção trata sobre a forma com a qual os dispositivos que estão inseridos em uma rede trocam os dados, sendo as duas principais formas as redes ponto-a-ponto e cliente-servidor. Na rede ponto-a-ponto as informações são trocadas diretamente entre os dispositivos, dividindo as informações. Normalmente são redes de pequeno porte. Esta rede possui a característica de ter baixa segurança, porém é

de fácil implementação e baixo custo, tendo uma camada física simples (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014).

Já as redes na modalidade cliente-servidor, contam com dois tipos de dispositivos: os servidores que fornecem serviços de rede para outros dispositivos, e os clientes que requerem algum tipo de serviço ou informação ao servidor. O objetivo maior deste tipo de rede é concentrar os dados nos servidores, sendo que os clientes ou também chamados de “nós” apenas trocam dados com os servidores e não diretamente com outro nó. Esta rede apresenta um custo e complexidade de implementação maior, porém conta com uma segurança melhorada não admitindo falhas (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014). A Figura 3 apresenta a hierarquia das redes cliente/servidor e ponto a ponto.

Figura 3 - Hierarquias de redes



Fonte: Adaptador de Cristo, Perlin e Franciscatto (2014).

Existem diversos tipos de servidores como por exemplo, servidores de arquivos, de *e-mail*, de aplicativos, entre outros, além do servidor *web*, que também é conhecido por servir como hospedeiro para páginas disponíveis na internet de forma acessível através de navegadores. Também este tipo de servidor que é utilizado em IoT está normalmente associado a outros tipos de serviços como por exemplo o de banco de dados, de aplicações, entre outros. (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014).

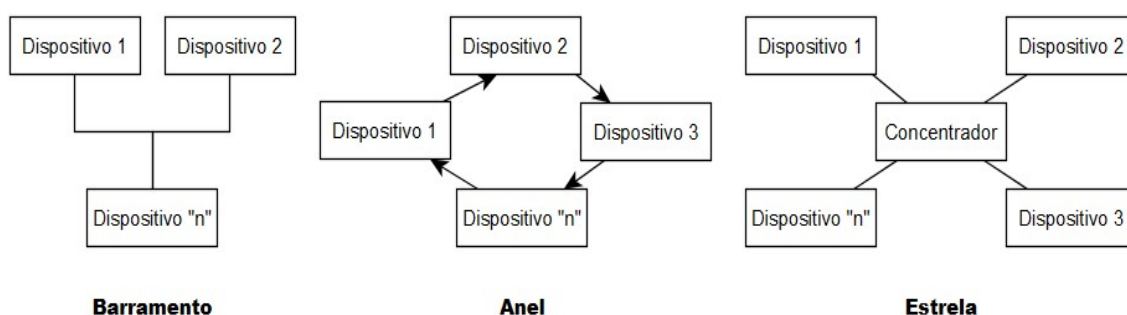
2.5.3 Topologias

A topologia de uma rede tem por definição mostrar tanto física como logicamente como ela está estruturada. A parte física da topologia, como o próprio

nome demonstra, faz referência a aparência física da rede, ou seja, como os dispositivos estão distribuídos nela. Já a parte lógica, faz referência a parte dos dados e como os mesmos trafegam por ela (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014).

As redes podem ser classificadas de acordo com sua topologia. Algumas delas são muito utilizadas nos segmentos industriais, como por exemplo as topologias de barramento, em anel e estrela. Seguem abaixo as definições de cada tipo de topologia segundo Cristo, Perlin e Franciscatto (2014). A Figura 4 apresenta um esquema explicativo das topologias de redes.

Figura 4 - Topologias de redes



Fonte: Adaptador de Cristo, Perlin e Franciscatto (2014).

Em redes conectadas em barramento, os dispositivos compartilham o mesmo meio físico, e todos trocam dados uns com os outros. Neste tipo de rede há problemas como a colisão de pacotes e quando há problema no meio físico, todos os dispositivos são afetados, contudo são de fácil instalação e baixo custo.

As redes conectadas em anel recebem este nome pela disposição física dos dispositivos que a compõe, que formam uma espécie de circuito. Os dados trafegam em um único sentido, passando pelos dispositivos que estiverem no caminho entre o ponto de origem e ponto de destino dos dados, ou seja, os dispositivos que estão entre a origem e o destino dos dados, retransmitem os mesmos até chegarem no ponto de destino. Um dos problemas deste tipo de rede é o atraso no processamento dos dados e outro é que a confiabilidade diminui com o aumento de dispositivos na rede. No entanto, é uma rede de fácil identificação de falhas de transmissão.

Já as redes conectadas em estrela contam com um dispositivo concentrador, que nada mais é do que um dispositivo que se comunica com todos os outros da

mesma rede. Sendo assim, para haver a troca de dados entre os dispositivos da rede, os mesmos devem ser enviados para o concentrador para que ele reenvie os dados para o dispositivo de destino. Um problema deste tipo de topologia é que a falha do concentrador afeta todo o funcionamento da rede. Porém, a identificação de falhas nos meios de transmissão e a colocação de novos dispositivos na rede são realizadas de uma forma fácil e a ocorrência de falhas em um dispositivo não afeta a rede como um todo.

2.6 Modelo ISO/OSI

O modelo de Interconexão de Sistemas Abertos (*OSI, Open System Interconnection*) faz referência a um conjunto de padrões da ISO (*International Standard Organization*) que servem para que se possa construir uma arquitetura de rede de forma simples através de camadas com funções distintas. Estas têm o objetivo de tornar a comunicação mais simples e fornecer serviços para as camadas próximas (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014).

Ainda, segundo Cristo, Perlin e Franciscatto (2014), seguem abaixo as funções e características de cada uma das 7 camadas em que o modelo é organizado.

- Camada Física – Esta camada refere-se apenas aos meios físicos para transmitir e manter o tráfego de *bits* pela rede. Exemplos destes meios podem ser fios, cabos ópticos ou ondas eletromagnéticas. Não são realizados controles de erros nesta camada;
- Camada de Enlace – Esta camada é responsável pela montagem de quadros de *bits* e verificação de erros, não necessariamente os corrigindo. Além disto, também há a função de controle de fluxo, na qual se controlam os dados enviados por um transmissor de modo a não sobrecarregar um receptor;
- Camada de Rede – Camada que efetua o encaminhamento ou roteamento de pacotes de dados pela rede através de endereços, ou seja, fornece um caminho para os dados através dos dispositivos da rede desde o ponto de transmissão até o ponto de recepção;
- Camada de Transporte – Tem a função de controlar o fluxo dos dados de modo que não ocorram erros e os mesmos sejam entregues na

ordem correta. Ainda tem a função de multiplexar os envios dos pacotes;

- Camada de Sessão – Basicamente é a camada responsável pela “negociação” para troca de dados com outros dispositivos, além de estabelecer e manter a conexão durante a sessão. De modo geral, é a camada que gerencia a troca de dados com outros dispositivos;
- Camada de Apresentação – Esta camada tem a função de formatar, codificar, criptografar e comprimir os dados transmitidos ou recebidos. Ainda tem a função de modificação ou tradução da camada de aplicação em relação a rede;
- Camada de Aplicação – Camada que contém os aplicativos em si, tanto de usuários como de serviços. Estabelece uma interface entre os aplicativos e as camadas inferiores.

Nas camadas são adicionados cabeçalhos e são estabelecidos também os meios de envio e recebimento dos dados. Cada camada passa por um processamento de acordo com padrões e protocolos adotados para a troca de informação. Na próxima seção, são melhor aprofundados alguns padrões e protocolos utilizados na indústria e na IoT.

2.7 Padrões e Protocolos de Comunicação

Um protocolo de comunicação, pode ser dito como um conjunto de regras que os dispositivos inseridos em uma rede devem seguir para poder efetuar a troca de dados de forma segura, evitando problemas de incompatibilidade. Os protocolos não são definidos por alguma aplicação, isto quer dizer que, mesmo dispositivos de fabricantes diferentes, ou com funções diferentes, podem compartilhar informações entre si, desde que os mesmos sigam um determinado protocolo com suas regras aplicadas a comunicação (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014).

Já os padrões são documentos que regem procedimentos e especificações feitos para fornecer confiabilidade de materiais, métodos e produtos. Eles abordam diversos tipos de protocolos para melhorar a compatibilidade e interoperabilidade entre dispositivos, trazendo a ideia de credibilidade para os produtos que utilizam os mesmos (IEEE, 2018).

Os padrões que serão vistos na sequência foram definidos pelo IEEE. Já os protocolos foram definidos por diversas organizações ou fabricantes de produtos diferentes e são mantidos pelos mesmos de forma proprietária ou aberta.

Há diversos tipos de padrões e protocolos que são utilizados atualmente, sendo que focados na indústria podem ser citados o Modbus, EIA-485, EIA-232, ProfiBus, Device Net, Ethernet, entre muitos outros. Contudo, nas próximas seções serão priorizados os aprofundamentos nos protocolos utilizados tanto na indústria, como aplicados em Internet das Coisas, fornecendo certa ênfase nos que podem ser utilizados com meio físico sem fio.

2.7.1 IEEE 802.3 – Ethernet

O padrão foi publicado em sua primeira versão em 1985. Ele é muito utilizado para redes locais do tipo LAN, dando ênfase nas camadas inferiores do modelo OSI, ou seja, na camada física fornecendo características de cabeamento e sinais elétricos e na camada de enlace caracterizando os formatos dos pacotes de dados transmitidos (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014).

O conceito básico é de dispositivos trocando dados entre si, de forma que para isto, cada um conta com um endereço fixo de fábrica, o MAC (*Media Access Protocol*). Este é um endereço de 48 *bits*, sendo metade fornecido pelo IEEE para os fabricantes, e a outra metade fornecido pelo próprio fabricante dos dispositivos, ou seja, não há endereços repetidos em dispositivos que utilizam ethernet. Este padrão conta com diversas atualizações, sendo que a taxa de transmissão de dados pode variar de acordo com a variação do protocolo, podendo ter valores de 10 Mbps até 10 Gbps (CRISTO; PERLIN; FRANCISCATTO, 2014).

Este padrão também faz o uso do protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), que dita como os dispositivos inseridos na rede utilizam o canal de comunicação. Ele serve para detectar se o canal está livre, gerenciar e verificar a ocorrência de colisões (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2015).

2.7.2 IEEE 802.11 – Wi-Fi

A tecnologia Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) tem como base o padrão IEEE 802.11 e é uma marca da Wi-Fi *Aliance*, que tem como finalidade a comunicação sem fio de

curto alcance e alta velocidade. A tecnologia trabalha na frequência de 2,4 GHz podendo ter uma taxa de transferência de dados de 5,5 até 11 Mbps. Também há evoluções deste padrão que oferecem taxas de transmissão de dados de até 600 Mbps (IEEE 802.11n) e também há equipamentos que operam na faixa de frequência de até 5 GHz (DIAS, 2016).

A topologia de rede mais utilizada com este tipo de tecnologia é a em estrela, na qual há um centralizador, chamado de Ponto de Acesso (AP, *Access Point*), onde todos os dispositivos periféricos se comunicam através deste dispositivo central. Este ponto de acesso normalmente conecta os dispositivos a internet, sendo que para que os dispositivos periféricos possam se comunicar na rede, primeiramente, eles devem se associar a um ponto de acesso através de uma requisição, que após aceita, permite a comunicação do dispositivo com o restante da rede (DIAS, 2016).

Este padrão pode ser dito como uma versão sem fio do padrão IEEE 802.3 (Ethernet cabeada). Logo, é um padrão com ênfase na taxa de comunicação de dados e não no consumo de energia, o que diverge da linha emergente da IoT, e assim é provável que este não seja adotado como padrão em várias configurações para IoT (SANTOS; *et al.*, 2016).

Uma alternativa ao Wi-Fi é o padrão IEEE 802.15.1 (*Bluetooth* e BLE), tendo a frequência de operação em 2,4 GHz, assim como no Wi-Fi, e distâncias de comunicação que podem chegar até 100 metros (DIAS, 2016).

O padrão é muito utilizado em computadores, *tablets*, *smartphones* e outros dispositivos comuns no cotidiano das pessoas. Nas configurações originais, o *bluetooth* focava na taxa de transmissão de dados, trabalhando com topologia do tipo estrela, tendo de 2 até 8 dispositivos na rede. Já as versões recentes recebem o nome de BLE (*Bluetooth Low Energy*), sendo focadas na redução do consumo energético dos dispositivos, trazendo a ideia do uso de baterias associadas aos mesmos. Além disto, as novas versões permitem um número muito maior de dispositivos conectados em rede (SANTOS; *et al.*, 2016).

2.7.3 IEEE 802.15.4 – *Low-Rate Wireless Personal Area Networks*

Este padrão tem como foco a utilização de recursos de forma reduzida para redes sem fio, com baixo consumo de energia, baixa taxa de transmissão de dados e curtas distâncias. Isto remete novamente a ideia de utilização de dispositivos com

bateria, assim como no padrão BLE citado anteriormente. Também, assim como no padrão Ethernet, são providas especificações somente para a camada física e de enlace (DIAS, 2016).

O padrão utiliza três faixas de frequências distintas com características diferentes. Na faixa em torno de 868 MHz, é disponibilizado 1 canal para troca de dados com uma taxa de transmissão de até 20 kbps. São disponibilizados 10 canais na faixa em torno de 915 MHz, com taxa de transmissão de até 40 kbps. Por fim, na faixa em torno de 2,4 GHz, são disponibilizados 16 canais com taxa de transmissão de até 250 kbps (DIAS, 2016).

O protocolo *ZigBee* é uma das alternativas que utiliza como base o padrão IEEE 802.15.4 para as camadas física e de enlace, sendo que são adicionadas pelo mesmo as outras camadas. É um protocolo que fornece uma taxa de transmissão de dados de até 250 kbps e geralmente trabalha na faixa de 2,4 GHz. Dessa forma, pode ser muito bem aplicado no monitoramento de sensores em áreas industriais e residenciais, de modo que o mesmo proporciona esta flexibilidade de transmitir uma quantidade de dados razoáveis com baixo consumo em curto alcance (DIAS, 2016).

A rede Sigfox é outra que atua nas faixas de frequência do padrão, em torno de 868 MHz e 915 MHz dependendo da região em que é aplicada, visto que são frequências não licenciadas (DIAS, 2016). É caracterizada como LPWAN, ou seja, uma rede de baixo consumo e longo alcance com baixa largura de banda. Possui um baixo custo e facilidade de implementação, poucos dispositivos para cobrir grandes áreas, além de uma boa penetração *indoor*. Contudo, é um tipo de rede que é utilizada para baixos tráfegos de dados, tendo restrições quanto a potência de transmissão, e apresentando um certo grau de latência, se comparado com o ZigBee ou outros tipos de protocolos. Além disto, é uma rede paga e cada mensagem enviada tem o tamanho de 12 *bytes*, tendo limitações de mensagens enviadas por dia e de ocupação de canais (DIAS, 2016).

2.7.4 Rede LoRa/LoRaWAN™

A Rede LoRa (abreviação de *Long Range* ou Longa Distância) tem as mesmas características LWPAN da Rede Sigfox, porém é uma rede aberta, ao contrário da anterior. LoRa corresponde a parte física enquanto que LoRaWAN™ corresponde a um protocolo criado especificamente para atuar sobre esta camada.

A modulação utilizada pela camada física é baseada em CSS (*chirp spread spectrum*) mantendo características de baixa potência como nos casos em que se utiliza modulação FSK (*frequency shifting keying*), mas aumentando o alcance. Este tipo de tecnologia já é utilizada em meios militares e espaciais, porém LoRa é a primeira com baixo custo para uso comercial (LORA ALLIANCE, 2015).

A Rede trabalha em três faixas distintas: 433 MHz, 868 MHz ou 915 MHz, dependendo da região aplicada, sendo que o Brasil, assim como os Estados Unidos da América (EUA), utiliza a faixa entre 902 e 928 MHz, que é uma faixa não licenciada (LORA ALLIANCE, 2015). Contudo, no Brasil, de acordo com a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicação), segundo a resolução 680, é estabelecido que as frequências entre 902 MHz e 907,5 MHz, e entre 915 MHz e 928 MHz não necessitam de cadastramento para operação (ANATEL, 2017).

As taxas de transmissão de dados variam de 250 bps até 50 Kbps dependendo do protocolo utilizado e de suas características. Além disto, conta com uma alta imunidade a interferências e alta eficiência energética (LORA ALLIANCE, 2015).

Já o protocolo LoRaWAN™, utiliza a topologia estrela tendo em sua rede dispositivos finais (nós), concentradores (*gateways*), servidores de rede e servidor de aplicação. A comunicação é bidirecional, sendo que entre o *gateway* e os nós, a comunicação é realizada via rádio, e entre o *gateway* e o servidor é utilizado o protocolo IP. Para a comunicação, são utilizados vários canais diferentes com taxas de transmissão que variam de acordo com os tamanhos de pacotes estabelecidos para as mensagens. Para questões de segurança, são implementadas duas chaves distintas de criptografia, sendo uma para nível de rede e outra para nível de aplicação (DIAS, 2016).

2.7.5 RFID e NFC

O sistema de Identificação por Radiofrequência (RFID, *Radio Frequency Identification*) utiliza ondas eletromagnéticas para se comunicar com etiquetas (*tags*) compatíveis com a tecnologia, garantindo que cada uma delas possua uma identificação única. Esta *tag* é constituída em geral por um *microchip* com armazenamento de informações e uma antena para troca de dados sem contato físico. O sistema também deve conter uma leitora para as *tags*, tendo uma antena

para comunicação com estas e uma interface de comunicação para troca de dados com a rede, podendo ser Ethernet, Wi-Fi, serial, entre outras (DIAS, 2016).

De modo geral as leitoras buscam uma *tag* próxima e através das ondas eletromagnéticas efetuam o acoplamento de modo a energizar o CI (circuito integrado) da etiqueta, sendo que este ao ser acionado realiza as ações solicitadas e retorna a resposta para a leitora. Este acoplamento quando feito nas frequências de 125 kHz ou 13,56 MHz é indutivo, tendo as antenas com o formato de bobinas, caracterizando o sistema chamado de Comunicação de Campo Próximo (NFC, *Near Field Communication*) muito utilizado para identificação de pessoas (DIAS, 2016).

Os protocolos citados até esta parte fazem parte da camada de percepção, que transmitem dados dos dispositivos sensores até o *gateway*, e da camada de rede, que permitem a comunicação dos *gateways* com a Internet. Na próxima seção são apresentados os protocolos utilizados na camada de aplicação.

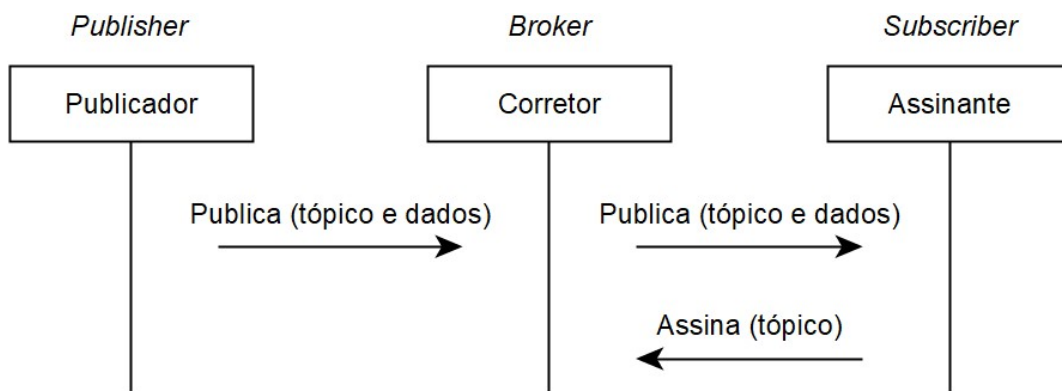
2.7.6 Protocolos de Aplicação

Para realizar a transferência de dados para a nuvem, se faz necessário um protocolo na camada de aplicação, sendo muito comum o uso dos protocolos CoAP (*Constrained Application Protocol* ou Protocolo de Aplicação Restrita) e MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport* ou Enfileiramento de Mensagens de Transporte de Telemetria). O protocolo CoAP foi criado para comunicação Máquina para Máquina (M2M, *Machine to Machine*) com dispositivos de baixo consumo de energia, com baixas perdas, e com baixos recursos computacionais, sendo utilizado até mesmo com microcontroladores de 8 *bits* com baixos níveis de memória. Ele pode interoperar com o Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP, *Hypertext Transfer Protocol*), sendo de certa forma compatível com a internet. O mesmo também conta com um modelo cliente/servidor com interação *request/response* entre dois pontos, também suportando modos *multicast* (mensagens enviadas para múltiplos destinatários) (DIAS, 2016).

O protocolo MQTT também foi projetado para utilização com dispositivos de baixos recursos computacionais com larguras de banda limitadas ou não confiáveis, ou seja, é um protocolo aberto que traz confiabilidade (através do TCP) com baixo consumo, sendo uma ótima alternativa para IoT. O protocolo utiliza um modelo *publish/subscribe* (publicador/assinante) para o envio das mensagens e tem como

base de sua arquitetura o *broker* (corretor), que é responsável por rotear e gerenciar as mensagens dentro da rede. Assim a rede funciona de forma que os dispositivos remetentes das mensagens as publicam para o *broker* utilizando um tópico (espécie de cabeçalho), de modo que este *broker* gerencia as mensagens recebidas e envia para os destinatários que assinaram estes tópicos. Assim quando um destinatário subscreve um tópico, ele receberá todas as mensagens que o *broker* receber com este mesmo tópico (DIAS, 2016). A Figura 5 mostra um modelo de comunicação via protocolo MQTT.

Figura 5 - Modelo publicador/assinante MQTT



Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2016)

3 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo são apresentados trabalhos e produtos que tem seus conteúdos relacionados com o trabalho proposto, servindo de base para o desenvolvimento do mesmo. Ao final, são apresentados também os diferenciais do sistema proposto.

3.1 Trabalhos Relacionados

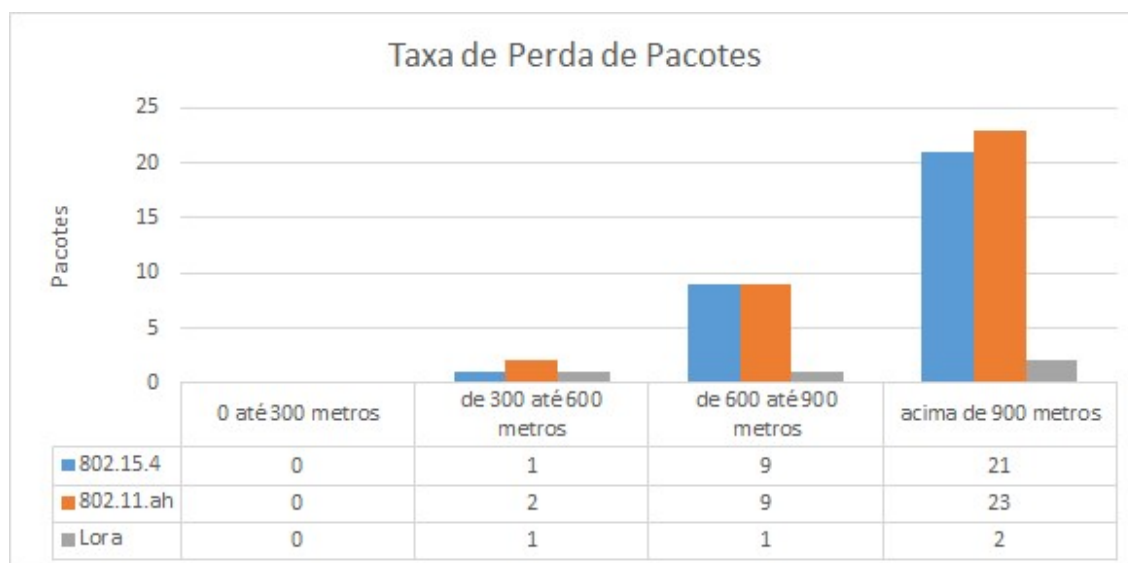
Nesta seção são apresentados alguns trabalhos de conclusão de curso com foco nas tecnologias utilizadas, metodologias seguidas e resultados obtidos. Estas informações auxiliam nas escolhas e definições seguidas neste trabalho.

3.1.1 Avaliação de Desempenho de Protocolos de Transmissão para Redes de Sensores sem Fio Aplicadas à Agricultura

Um estudo sobre a aplicação de redes de sensores sem fio (RSSF) para agricultura, avaliando tecnologias com os padrões 802.15.4, 802.11ah e LoRa, foi realizado por Yuri Crotti (2017) em sua monografia para obtenção de Grau de Bacharelado em Engenharia da Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Através de software de simulação para RSSF, foram avaliados os três tipos de tecnologias através da criação de diversos cenários diferentes, sendo que estes contavam com os dispositivos distribuídos em distâncias e densidades diferentes em relação ao receptor. Parâmetros relacionados a latência, eficiência e taxa de perda de pacotes foram utilizados para análise das diferentes tecnologias. Ao longo do trabalho é demonstrada a metodologia utilizada assim como os recursos utilizados para cada análise feita. Já na análise de resultados, são apresentados diversos gráficos que auxiliam na demonstração de resultados, comparando as três tecnologias aplicadas. Um exemplo pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Gráfico de taxa de perda de pacotes



Fonte: Crotti (2017).

3.1.2 Estudo do Protocolo LoRaWAN e Implementação de uma Rede Privada com Nós Distribuídos

Matheus Henrique Baumgarten Rabuske (2017), em seu trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia da Computação pela Universidade Federal de Santa Maria, apresentou um estudo sobre o protocolo LoRaWAN™, abordando características principais como arquitetura de rede, funcionamento, segurança, entre outros de forma clara e rica de informações. Também realizou um comparativo entre este protocolo e outros que são utilizados frequentemente para IoT, como por exemplo Wi-Fi e BLE. São apresentados todos os componentes que constituem a rede LoRaWAN™, assim como o funcionamento de cada um deles.

Após o estudo é realizada uma implementação de forma cliente/servidor em linguagem *Python* no qual os clientes com acesso à internet solicitam dados aos dispositivos da rede LoRaWAN™. Estes dados são apresentados em uma tela juntamente com outros dados específicos do funcionamento da rede de comunicação. São apresentados os passos para conexão dos *gateways* aos servidores LoRa assim como informações das requisições dos clientes, como podem ser vistos no exemplo da Figura 7.

Figura 7 - Dados recebidos por um cliente, descryptografados e organizados

```
-----  
| Mensagem Recebida |  
-----  
Aplicacao: app-teste (1)  
-----  
Mote: teste01 (006974f61f40507e)  
-----  
Informacoes do Gateway:  
  Nome: tcc-teste  
  MAC: b827ebfffedb9603  
  RSSI: -4  
  SNR: 12.5  
  Latitude - Longitude: 0 - 0  
-----  
Informacoes do canal:  
  Modulacao: LORA  
  Frequencia: 904700000  
  BandWidth: 125  
  SpreadFactor: 10  
  ADR: Yes  
  CodeRate: 4/5  
  FrameCount: 473  
  FramePort: 8  
-----  
Mensagem recebida:  
  Usagem de memoria: 10.7 %;  
  Usagem de disco: 12.1 %;  
  Temperatura da CPU: 52.1 C;  
-----  
Fim da janela de respostas;  
Cancelando subscrição no tópico...  
Pressione ENTER para requisitar dados dos motes
```

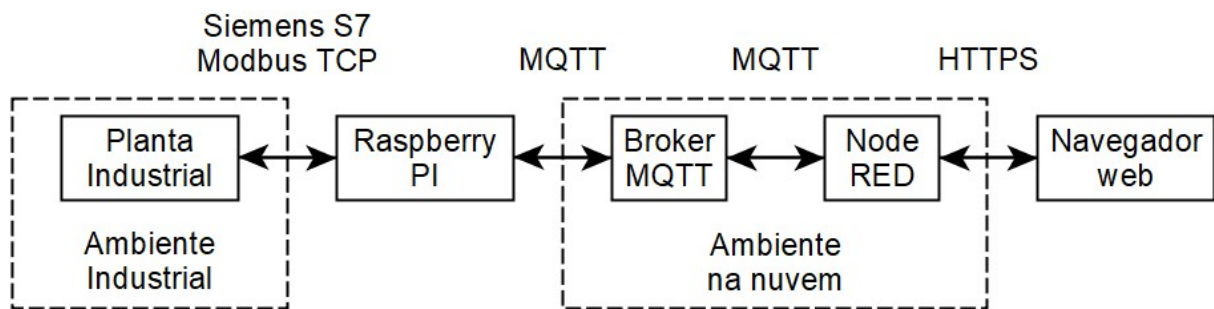
Fonte: Rabuske (2017).

3.1.3 Desenvolvimento de um *Gateway* de Internet das Coisas para Automação Industrial

Fabrcio Tietz (2017), em seu trabalho de conclus3o do curso de Engenharia El3trica com 4nfase em Sistemas de Energia e Automaç3o pela Universidade de S3o Paulo, realizou o desenvolvimento de um *gateway* para realizar a comunicaç3o de dispositivos em ambiente industrial com o usu3rio final atrav3s de um navegador *web*. Para a comunicaç3o do *gateway* com o ambiente industrial, foram utilizados os protocolos *Siemens S7* e *Modbus TCP*. J3 para a comunicaç3o do *gateway* com a rede de internet, foi utilizado o protocolo *MQTT* para trocar mensagens com o servidor (*broker*). O trabalho visou a implementaç3o de ferramentas abertas ou dando prefer4ncia a um baixo custo, tendo como base protocolos que tem grande utilizaç3o em ambientes industriais e IoT.

A proposta geral consistiu em comunicar uma placa *Raspberry PI* com controladores lógicos programáveis (CLP) monitorando variáveis em uma planta industrial através dos protocolos *Siemens S7* e *Modbus TCP*. A placa enviava as informações para o *broker* através do protocolo *MQTT*. Para a comunicação do *broker* com o usuário foi realizado um painel de controle através da ferramenta *Node-RED* (ferramenta de programação que oferece um editor baseado em navegador *web* para a criação dos fluxos de dados). Os resultados foram verificados através de testes de tempo de resposta entre o CLP e o *broker*. Na Figura 8 é possível verificar o diagrama proposto e na Figura 9 o protótipo utilizado.

Figura 8 - Diagrama do *gateway* elaborado por Tietz



Fonte: Adaptado de Tietz (2017).

Figura 9 - *Raspberry PI* instalada em uma caixa



Fonte: Tietz (2017).

3.2 Produtos no Mercado

Nesta seção são apresentados alguns produtos de mercado que utilizam sistemas para IoT. Esta pesquisa ajuda a entender de melhor forma, como a proposta deste projeto se diferencia em relação aos produtos atuais, além de auxiliar na tomada de decisões, verificando o que há de pontos positivos e negativos no mercado.

3.2.1 SIGMAIS IoT Company

A Sigmais é uma empresa voltada para o mercado de IoT, focada em fornecer soluções com a finalidade de facilitar o cotidiano de empresas e pessoas. Ela fornece o desenvolvimento de produtos físicos com conectividade através de padrões Sigfox, LoRa, Wi-Fi, BLE entre outros, com aplicações customizadas via *web* ou *mobile*. A empresa fornece a solução completa de forma customizada para o cliente (SIGMAIS, 2018).

Um dos produtos da empresa voltado para ambientes industriais é o *SigSense*, apresentado na Figura 10, que é uma solução para monitoramento de ativos e infraestruturas, efetuando leitura de parâmetros de máquinas e de ambientes. Medição de temperatura, tempo de funcionamento de máquinas, nível de bateria, entre outros, são exemplos dos parâmetros mensurados. Ele utiliza o protocolo Sigfox, sendo alimentado por uma bateria (SIGMAIS, 2018).

Figura 10 - Dispositivo *SigSense*

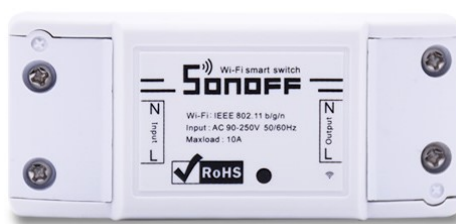


Fonte: Sigmais (2018).

3.2.2 SONOFF

O *Sonoff*, apresentado na Figura 11, é um produto da empresa chinesa ITEAD, que é especializada no desenvolvimento de produtos inteligentes para aplicações residenciais. Este produto, em sua versão básica, consiste de um relé que pode ser conectado em uma rede Wi-Fi e controlado via *smartphone*. O funcionamento consiste em instalar o relé na rede elétrica de modo a controlar uma carga de uma residência, e através do aplicativo instalado em um *smartphone*, efetuar o pareamento do relé com a rede Wi-Fi. Em seguida é possível configurar o modo de funcionamento do relé através do aplicativo, sendo possível configurar temporizadores para acionar o relé, assim como criar botões para acionar o relé via aplicativo em qualquer instante. A empresa conta com diversos modelos do dispositivo com aplicações diferenciadas, como sensores, lâmpadas e tomadas (ITEAD, 2018).

Figura 11 - Dispositivo *Sonoff Basic*



Fonte: Itead (2018).

Com esta base de trabalhos de conclusão de curso e de empresas e produtos pesquisados, é possível identificar os diferenciais do trabalho proposto.

3.3 Diferenciais do Sistema Proposto

Conforme visto anteriormente, os trabalhos de conclusão de curso podem oferecer recursos para o desenvolvimento deste trabalho, tendo em vista que este busca trazer uma solução do sistema para IoT e não para um dispositivo da rede em específico. Já as empresas e produtos mostrados anteriormente, assim como muitas outras, trazem soluções customizadas para o cliente, o que poderia acarretar em custos mais elevados e maior complexidade para o desenvolvimento dos sistemas. Outras soluções, como no caso do *Sonoff*, mostram uma ideia de utilização do

sistema de uma forma mais genérica, porém ainda ficando atrelado ao aplicativo e aplicações do fornecedor.

A principal proposta deste trabalho é a realização de um sistema de IoT para monitoramento de ambientes industriais que possa ter os seus dispositivos instalados de forma simples pelo próprio usuário, cobrir uma área industrial utilizando o menor número de dispositivos possíveis, fornecendo um protocolo simples para o desenvolvimento de aplicações para IoT.

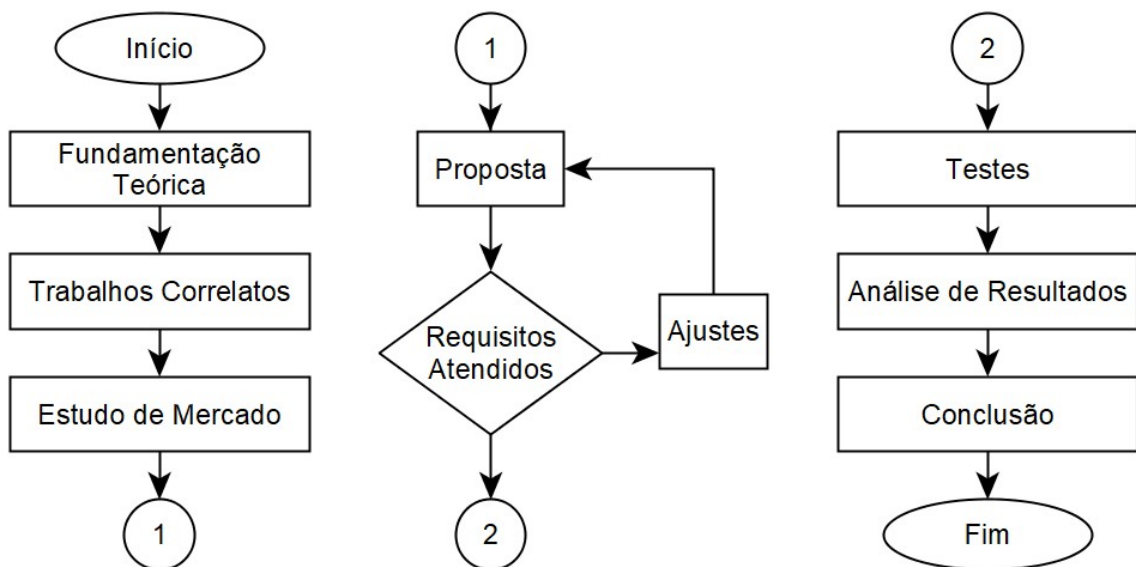
4 METODOLOGIA

Sistemas de monitoramento industriais normalmente são constituídos por soluções completas e customizadas de acordo com a aplicação e processos de cada cliente. Isto pode acarretar em uma complexidade maior no que se refere ao desenvolvimento e aplicação destes sistemas, podendo gerar custos relativamente elevados, assim como uma certa dependência do desenvolvedor do sistema.

Dessa forma, com base nos estudos e pesquisas realizadas, é apresentada uma proposta para desenvolvimento de um sistema de monitoramento de máquinas e procedimentos industriais, trazendo a ideia de um sistema robusto, leve, eficiente e de fácil aplicação para usuários finais, assim como para desenvolvedores de aplicativos que utilizem IoT. Logo, neste capítulo é descrita a proposta para a resolução dos problemas citados nas seções anteriores, além de descrever as etapas e procedimentos seguidos para o desenvolvimento deste trabalho.

Para melhor explicar o desenvolvimento de cada etapa deste trabalho, foi desenvolvido um fluxograma, apresentado na Figura 12, que mostra os passos básicos para que sejam atingidos os objetivos de forma consistente e organizada.

Figura 12 - Fluxograma da metodologia proposta



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode-se verificar, o fluxograma da metodologia proposta foi organizado em três colunas, sendo a primeira parte referente as pesquisas iniciais que foram vistas nos capítulos anteriores. Nela tem-se a fundamentação teórica, que consiste

em um estudo de diversos autores que tratam de assuntos relacionados ao conteúdo deste trabalho, trazendo um bom embasamento para os conceitos que são utilizados em etapas posteriores. Em seguida, há uma verificação de trabalhos correlatos, que fornecem orientações de tecnologias utilizadas, assim como metodologias e análises implementadas de modo a proporcionar ideias para as escolhas e definições realizadas neste trabalho. Ao final da primeira parte, é realizada uma pesquisa de mercado para verificação de tecnologias utilizadas, além de formas de implementação para verificação de diferenciais e pontos positivos e negativos do sistema proposto.

Na segunda parte do fluxograma está a proposta. Ela contém a definição básica da topologia do projeto, para melhor atender aos requisitos propostos. Nesta etapa são definidos métodos utilizados no trabalho, assim como as ferramentas e materiais necessários para atingir os objetivos. A proposta é gerada através de estudos e ajustes até que se obtenha uma resposta satisfatória para proceder as próximas etapas.

Já na terceira coluna do fluxograma, encontram-se as fases de finalização do trabalho, sendo primeiramente realizados os testes com o sistema proposto, de modo a validá-lo, obtendo dados consistentes para uma boa análise de resultados, terminando com a conclusão sobre todas as etapas que constituíram o trabalho. Estas etapas são melhor aprofundadas nas próximas seções.

4.1 Arquitetura do Sistema

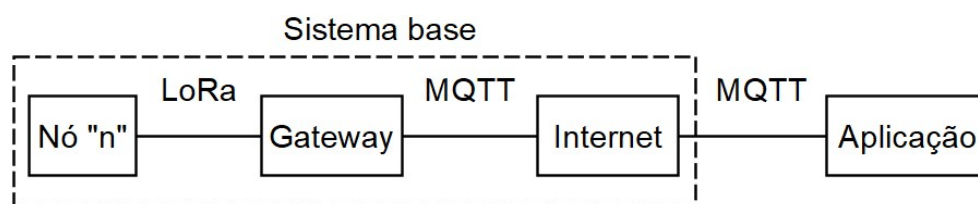
A arquitetura do sistema proposto, apresentada na Figura 13, é constituída por quatro partes básicas. A primeira corresponde aos dispositivos de ponta de rede (dispositivos sensores ou nós) que tem por objetivo colher os dados do ambiente no qual os mesmos estão inseridos e transmiti-los via rádio LoRa para um concentrador. Neste ponto a comunicação via rádio LoRa foi escolhida por diversas características que fornecem variadas possibilidades de implementações para o sistema, tais como: longo alcance (tanto em áreas abertas como fechadas tendo boa penetração), baixa largura de banda sendo menos suscetível a ruídos presentes em um ambiente industrial, baixo custo e baixo consumo de energia.

Na segunda parte, recebendo e enviando os dados dos nós, encontra-se o *gateway*, que atua como um concentrador e roteador (ele é o mestre da rede

cliente/servidor em relação aos nós, para que dessa forma não ocorram colisões de dados), fazendo a conversão dos dados provenientes do rádio LoRa para o padrão Wi-Fi, utilizando o protocolo MQTT sobre TCP para a comunicação com a nuvem. O protocolo MQTT foi escolhido por ser leve e de fácil implementação, possuindo um baixo consumo de banda de rede, sendo caracterizado como um bom protocolo para aplicações em IoT.

Na terceira parte da arquitetura do sistema encontra-se um bloco representando como “Internet”, que representa os serviços que conectam o *gateway* com a aplicação. Com a utilização do protocolo MQTT, dentro deste bloco está inserido o *broker*, sendo utilizado o servidor Mosquitto™ que consiste em um *broker* de código fonte aberto que é parte de um projeto da *Eclipse Foundation*. Este *broker* pode rodar em computadores em redes fechadas e até mesmo hospedados em grandes servidores. Estas três partes constituem o sistema base proposto para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 13 - Arquitetura geral do sistema



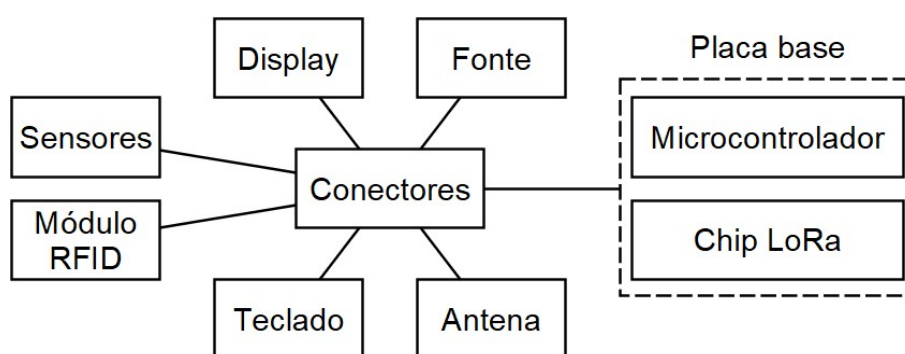
Fonte: Elaborado pelo autor.

A quarta parte do sistema, que é a aplicação, não faz parte do sistema base. Ela não faz parte visto que a ideia geral da proposta é proporcionar um sistema para implementação de tecnologias IoT com uma interface simples para desenvolvimento de aplicações. Logo, esta parte pode ser constituída das mais diversas aplicações ficando a cargo do desenvolvedor ou usuário final, utilizar o sistema para atender alguma determinada demanda que necessite de monitoramento utilizando os conceitos de IoT para ambientes industriais. Esta etapa será abordada posteriormente através de um estudo de caso. A topologia de rede adotada entre os nós e o *gateway* é a do tipo estrela, na qual todos os nós comunicam-se exclusivamente como o *gateway* através de um protocolo próprio do tipo cliente/servidor rodando sobre a modulação LoRa. Este protocolo será explorado de maneira mais aprofundada no próximo capítulo.

4.1.1 Arquitetura dos Nós

A arquitetura dos nós é constituída por uma placa base contendo o microcontrolador e o *chip* modulador LoRa, tendo todos os seus periféricos ligados a placa base através de conectores, conforme mostra a Figura 14. Isto traz a ideia de modularidade ao sistema, sendo que como os dispositivos podem ser utilizados em aplicações variadas, é possível que em algumas não sejam necessários todos os periféricos. Desta forma cabe ao cliente final e ao desenvolvedor, escolherem quais os módulos de periféricos que serão utilizados para cada aplicação distinta.

Figura 14 - Arquitetura dos nós



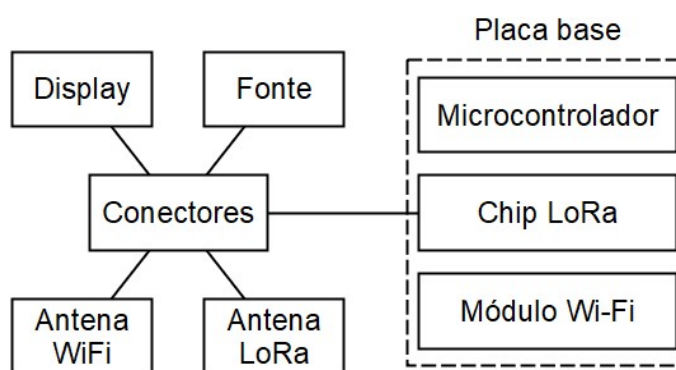
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como periféricos essenciais ao funcionamento do sistema estão a antena para transmitir os dados em LoRa, e a fonte de energia, podendo esta ser uma bateria ou uma fonte de tensão ligada a rede elétrica. Já os periféricos opcionais são os que não necessariamente são utilizados em todas as aplicações. Esses são um *display*, um teclado, um módulo para leitura de *tags* RFID, e os sensores. Os sensores servem para efetuar as leituras necessárias para o monitoramento do ambiente. O módulo leitor RFID serve para as funções nas quais se faz necessário efetuar algum tipo de cadastramento ou efetuar a identificação de algum dispositivo ou pessoa que o utiliza. O teclado serve para que sejam efetuadas entradas de códigos numéricos, para serem transmitidos ao *gateway*, de modo a caracterizar um comando ou pedido relativo ao processo monitorado. E por fim o *display* serve para auxiliar o usuário do nó a identificar o andamento do processo. Cada parte que constitui o nó será abordada de forma aprofundada posteriormente na seção de escolha de materiais.

4.1.2 Arquitetura do *Gateway*

Assim como a arquitetura dos nós, a arquitetura do *gateway* também conta com uma placa base contendo os elementos essenciais que são o microcontrolador, o *chip* modulador LoRa e o módulo Wi-Fi, tendo os seus periféricos também ligados através de conectores, conforme mostra a Figura 15. Destes, a fonte de energia deve ser uma fonte de tensão ligada a rede elétrica, o *display* serve para auxiliar em configurações do dispositivo, e além da antena para transmissão de dados por LoRa também se faz necessária uma antena para transmissão de dados via Wi-Fi para comunicação com a internet. Cada parte que constitui o *gateway* será abordada de forma mais aprofundada posteriormente na seção de escolha de materiais.

Figura 15 - Arquitetura do *gateway*



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Materiais e Ferramentas

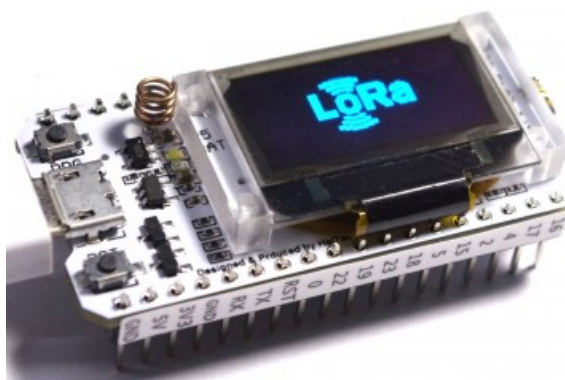
Nesta seção são apresentados os materiais e ferramentas utilizados para implementação da parte prática deste trabalho. Cada item contará com uma breve explicação do seu funcionamento mostrando suas principais características e a função que exerce na proposta.

4.2.1 Microcontroladores

Para a elaboração prática do sistema proposto é utilizada a placa WIFI LoRa 32, do fabricante *Heltec Automation*, apresentada na Figura 16. Ela é utilizada como placa base para a construção de três dispositivos finais (nós) e um *gateway* de forma a simular uma aplicação real do sistema proposto. Ela é utilizada apenas para

meios de estudos do sistema proposto. Esta placa foi escolhida por apresentar um microprocessador Xtensa LX6 com arquitetura *Harvard* de 32 *bits* sendo suficiente para as aplicações, tendo baixo custo de aquisição, fácil prototipação e programação através do software aberto Arduino IDE, além de possuir módulos para comunicação LoRa e Wi-Fi (HELTEC AUTOMATION, 2018).

Figura 16 - Placa WIFI LoRa 32



Fonte: Heltec Automation (2018).

O Quadro 1, apresentado abaixo, mostra as características técnicas da placa WIFI LoRa 32.

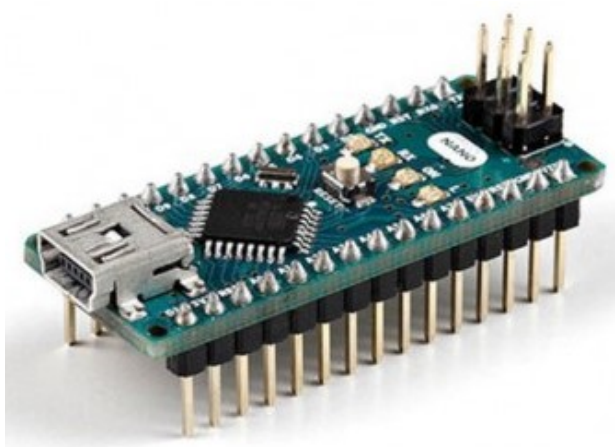
Quadro 1 - Características da placa WIFI LoRa 32

Tensão de entrada	2,7 – 3,6 V
Processador / Frequência de <i>clock</i>	ESP32 (32 <i>bits dual core</i>) / 240 MHz
Memória ROM / SRAM	448 KB / 520 Kb
Memória <i>flash</i> externa	4 Mb
Quantidade de pinos de I/O	29
Conversor AD / DA	16 canais (12 <i>bits</i>) / 2 canais (8 <i>bits</i>)
<i>Display</i>	OLED 0,96"
Wi-Fi	802.11 b/g/n/e/i (antena integrada)
LoRa	Chip SX1276
Frequência LoRa	868 – 915 MHz
Conector para antena	I-PEX e SMA
Temperatura de trabalho	-40 – 80 °C
Interfaces de comunicação	3 UART – 3 SPI – 2 I2C

Fonte: Heltec Automation (2018).

Também é utilizada a placa Arduino Nano V3.0 para auxiliar a comunicação de alguns componentes com a placa especificada anteriormente. Ela é baseada no microcontrolador ATmega328 com 16 MHz de frequência de *clock*, e também utiliza o software aberto Arduino IDE para programação. A placa não possui um desempenho alto como a anterior, porém atende muito bem as aplicações que não necessitam de tanto processamento (ARDUINO, 2018). A placa é apresentada na Figura 17 e suas características no Quadro 2.

Figura 17 - Arduino Nano V3.0



Fonte: Arduino (2018).

Quadro 2 - Características da placa Arduino Nano V3.0

Tensão de entrada	7 – 12 V
Processador	ATmega 328
Frequência de <i>clock</i>	16 MHz
Memória <i>flash</i> / SRAM	32 KB
Memória SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Quantidade de pinos de I/O	22
Conversor AD	8 canais (10 <i>bits</i>)
Interfaces de comunicação	1 UART – 1 SPI – 1 I2C

Fonte: Arduino (2018).

4.2.2 Fonte de Energia

A fonte de alimentação utilizada nos dispositivos tem saída de 12 Vdc e 1 A. É utilizado um plug do tipo P4 para conexão, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Fonte de alimentação



Fonte: Felipeflop (2018).

4.2.3 Sensores

Os sensores utilizados em conjunto com os módulos são escolhidos de acordo com a aplicação realizada. Dessa forma podem ser utilizadas chaves, botões, chaves fim de curso, entre outros, que podem realizar o acionamento das entradas digitais do microcontrolador. Contudo, para este trabalho também são utilizados outros sensores, apresentados a seguir, que podem ser implementados de acordo com a aplicação.

Figura 19 - Sensor de proximidade infravermelho E18-D80NK



Fonte: FelipeFlop (2018).

O sensor de proximidade infravermelho E18-D80NK, apresentado na Figura 19, utiliza o princípio da reflexão integrando um emissor e um receptor

infravermelho. Ele tem seu alcance regulável através de um parafuso na parte de trás de seu encapsulamento. O sensor é alimentado com uma tensão de 5 Vdc, podendo medir distâncias entre 3 e 80 centímetros. Ele funciona em modo digital, ou seja, ao detectar o obstáculo ele aciona a saída (E-GIZMO MECHATRONIX CENTRAL, 2016).

Para medições de temperatura é utilizado o sensor DS18B20, apresentado na Figura 20, visto que o mesmo não necessita utilização de canais analógicos, servindo qualquer entrada digital do microcontrolador. Ele possui três fios, sendo dois para alimentação e um para comunicação. O sensor também pode ser utilizado em ambientes úmidos e molhados devido ao seu encapsulamento (FELIPEFLOP, 2018).

Figura 20 - Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: FelipeFlop (2018).

No Quadro 3 abaixo, seguem as características técnicas do sensor DS18B20.

Quadro 3 - Características do sensor de temperatura DS18B20

Tensão de operação	3,3 Vdc
Faixa de medição	-55 - +125 °C
Precisão	0,5 % (entre -10 °C e +85 °C)
Material	Aço inoxidável
Chip	DS18B20

Fonte: FelipeFlop (2018).

Outro sensor de proximidade é o indutivo LJ12A3-NPN, que é capaz de detectar metais a distância de até 4 mm. O sensor é alimentado com tensões entre 6 e 36 Vdc e é apresentado na Figura 21 (FELIPEFLOP, 2018).

Figura 21 - Sensor de proximidade indutivo LJ12A3-NPN



Fonte: FelipeFlop (2018).

4.2.4 Teclado

O teclado utilizado é um matricial de membrana de 16 teclas, sendo constituído por quatro linhas e quatro colunas, que são conectadas nas entradas digitais do microcontrolador através de oito pinos. Ele é utilizado como um módulo periférico que poderá ser acoplado ao sistema se necessário. Serve para que operadores do dispositivo possam inserir códigos e enviá-los para a aplicação final, onde os mesmos serão tratados da forma como foram previamente configurados. Ele é apresentado abaixo na Figura 22.

Figura 22 - Teclado matricial 4x4



Fonte: Felipeflop (2018).

4.2.5 Módulo RFID

Este módulo leitor RFID, apresentado na Figura 23, é baseado no *chip* Mfrc522 da NXP *Semiconductor* e é muito utilizado para comunicação *wireless* com uma frequência de 13,56 MHz, conforme Figura 24. Através da antena contida na placa é possível ler e escrever nas *tags* que utilizam o padrão Mifare (FELIPEFLOP, 2018). Assim como o teclado matricial, este leitor é utilizado como um módulo que poderá ser utilizado ou não em conjunto com o sistema, dependendo da aplicação.

Figura 23 - Kit módulo leitor RFID Mfrc522 Mifare



Fonte: Felipeflop (2018).

O Quadro 4 abaixo mostra as características técnicas do kit módulo leitor Mfrc522 Mifare.

Quadro 4 - Características do kit módulo leitor Mfrc522 Mifare

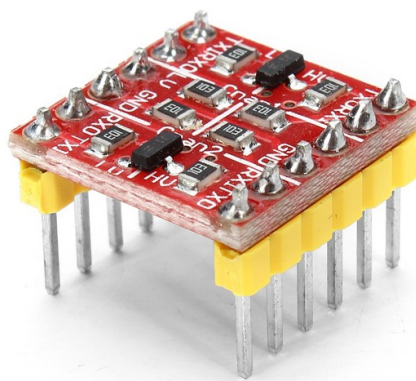
Tensão de alimentação	3,3 Vdc
Corrente de trabalho	13 – 26 mA
Frequência de operação	13,56 MHz
Interface	SPI
Tipos de <i>tags</i> suportadas	Mifare1 S50, S70 Mifare1, Mifare <i>UltraLight</i> , Mifare Pro, Mifare Desfire
Taxa de transferência	10 Mbps

Fonte: Felipeflop (2018)

4.2.6 Conversores

O conversor de nível lógico bidirecional, conforme Figura 24, é utilizado na comunicação entre placas que não trabalham com os mesmos níveis de tensão. Neste caso, os sinais são convertidos de 5 V para 3,3 V e de 3,3 V para 5 V, o que o torna bidirecional. A placa possui entrada para o nível de tensão alto (5 V) e para o nível de tensão baixo (3,3 V), que servem de referência para os outros quatro pinos que são os canais utilizados para converter os sinais.

Figura 24 - Conversor de nível lógico bidirecional



Fonte: Felipeflop (2018)

4.3 Protocolos

Para que os módulos de nós leiam o teclado e o leitor RFID é utilizado como ponte o Arduino Nano V3.0, de modo que o mesmo leia os dados do teclado matricial e envie ao nó através de uma comunicação serial. O mesmo acontece para o leitor Mfrc522, que se comunica com o Arduino através de uma comunicação SPI e envia os dados para o nó via serial. O módulo de nó envia uma mensagem de requisição a cada segundo para o módulo leitor (leitor do teclado ou RFID), sendo que se houver um módulo leitor conectado ao nó o mesmo irá responder a requisição. Se nenhuma resposta for recebida pelo nó durante um período de tempo, o mesmo identifica que ocorreu um *timeout* e armazena esta informação para enviar posteriormente para o *gateway*. Para o protocolo, é utilizado um cabeçalho de dois *bytes*, um *byte* de tamanho da mensagem seguidos da mensagem, finalizando com um *byte* de *checksum*. A Figura 25 mostra o modelo de mensagem entre nós e módulos leitores.

Figura 25 - Modelo de mensagem entre nó e módulos leitores

Cabeçalho (2 bytes)	Tamanho (1 byte)	Mensagem ("n" bytes)	Checksum (1 byte)
------------------------	---------------------	-------------------------	----------------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

A implementação da comunicação entre os nós e o *gateway* é realizada através de um protocolo próprio sobre o padrão LoRa. São utilizados os números de série dos microcontroladores (ID) de forma a identificar as mensagens.

Primeiramente se tem 2 *bytes* de cabeçalho, 1 *byte* de tamanho da mensagem seguidos por 3 *bytes* do ID do destinatário, 3 *bytes* de ID do remetente da mensagem seguidos pela mensagem, finalizando com um *byte* de *checksum*. A Figura 26 mostra o modelo de mensagem entre o *gateway* e o nó.

Figura 26 - Modelo de mensagem entre o *gateway* e o nó

Cabeçalho (2 bytes)	Tamanho (1 byte)	ID destinatário (3 bytes)	ID remetente (3 bytes)	Mensagem ("n" bytes)	Checksum (1 byte)
------------------------	---------------------	------------------------------	---------------------------	-------------------------	----------------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a comunicação entre o *gateway* e a aplicação é utilizado o protocolo MQTT sobre TCP/IP utilizando o padrão Wi-Fi. Os tópicos utilizados serão abordados de forma mais aprofundada no próximo capítulo.

4.4 Estudo de Caso

O estudo de caso é implementado em três aplicações diferentes dentro de uma empresa que forneceu suas instalações para os testes. A primeira é monitorando uma máquina, a segunda um ponto de acesso de um almoxarifado e a terceira a de entrada e saída de pessoas.

4.4.1 Monitoramento de Máquina

O monitoramento da máquina utiliza o módulo (nó) com o teclado acoplado. Ele serve para que o operador da máquina insira códigos numéricos referentes a trabalhos concluídos (ordens de serviço). São utilizados sensores de temperatura e proximidade para verificar se o processo atende as temperaturas especificadas e também implementar um contador de produção. Os botões do nó são utilizados para requisitar atenção ou informar problemas no processo produtivo. O processo, assim como a máquina serão melhores abordados no próximo capítulo.

4.4.2 Monitoramento de Acesso do Almoxarifado

Este monitoramento consiste em verificar, através de um sensor óptico e do módulo leitor RFID, se alguém entrou ou saiu do almoxarifado. Quando a porta for

aberta, deve-se aproximar o cartão (*tag*) ao leitor RFID em menos de dez segundos. Se a condição não for executada, é gerada uma não conformidade no sistema e o mesmo irá gerar um alarme.

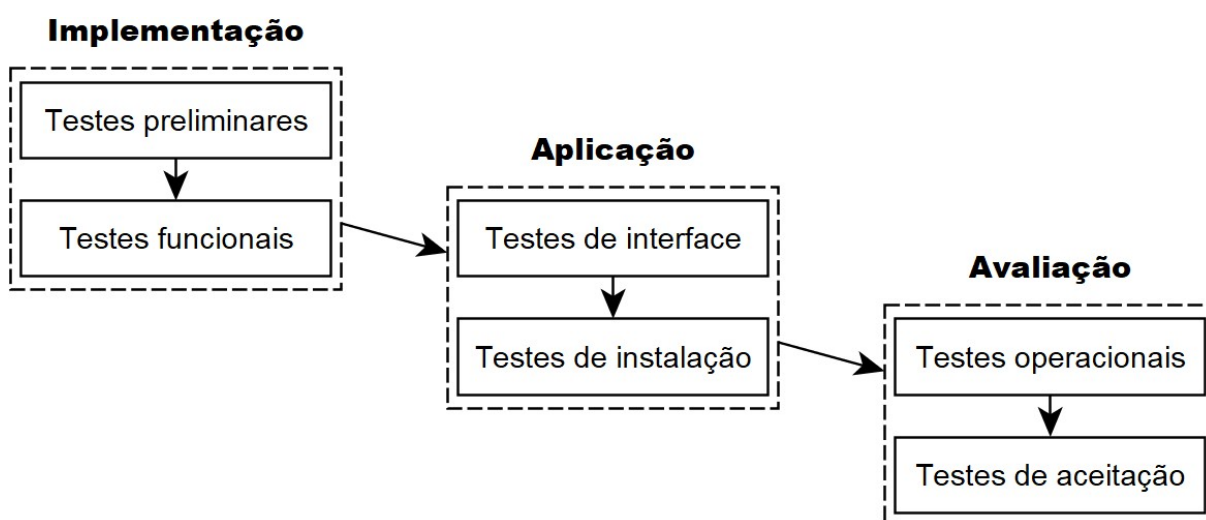
4.4.3 Monitoramento de Entrada e Saída

Este monitoramento de entrada e saída é basicamente o funcionamento de um cartão ponto. O usuário, possuindo sua *tag* RFID única, deve ao entrar no ambiente de trabalho, aproximar o cartão do módulo leitor, e ao sair do ambiente da mesma forma. Assim é realizado o controle de quais funcionários estão no ambiente.

4.5 Testes

Como o objetivo deste estudo é desenvolver uma aplicação que utiliza software e hardware para que ao final se obtenha um produto, foram escolhidos alguns testes principais que podem verificar e apresentar possíveis falhas, para que se possa então chegar a um bom funcionamento do sistema. Assim, foi estabelecida uma metodologia de testes que abordam algumas das principais características que definem o sistema proposto. A Figura 27 apresenta um diagrama desta metodologia.

Figura 27 - Metodologia de testes



Fonte: Elaborado pelo autor.

A metodologia de testes é dividida em três grupos com dois blocos cada. No grupo de implementação, são primeiramente efetuados alguns testes preliminares

com o sistema, de modo a verificar dados como o alcance dos nós em relação ao *gateway* e taxa de perda de dados. Em seguida são realizados testes com o sistema em bancada, fazendo aplicações de modo simplificado apenas para verificar as funcionalidades implementadas.

No grupo de aplicação, é primeiramente realizado um teste de interface, ou seja, um teste no qual o sistema desenvolvido é utilizado por um usuário para fazer aplicações utilizando o manual disponibilizado. Em seguida é realizado um teste de instalação e configuração do dispositivo em campo. Estes testes serão realizados pelos usuários consumidores do produto, e serão avaliados de forma qualitativa.

Já no grupo de avaliação, será realizado um teste de operacionalidade, no qual é mantido o sistema em funcionamento por um período de tempo, sendo ao final realizados testes de aceitação por parte dos usuários da aplicação do sistema, ou seja, de quem utilizou o sistema de forma aplicada aos processos industriais.

5 SISTEMA PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o sistema proposto para monitoramento de ambientes industriais baseado em Internet das Coisas, mostrando todos os passos para o desenvolvimento do mesmo, considerando os dimensionamentos de circuitos utilizados, materiais escolhidos e custos, montagens, programação e configurações.

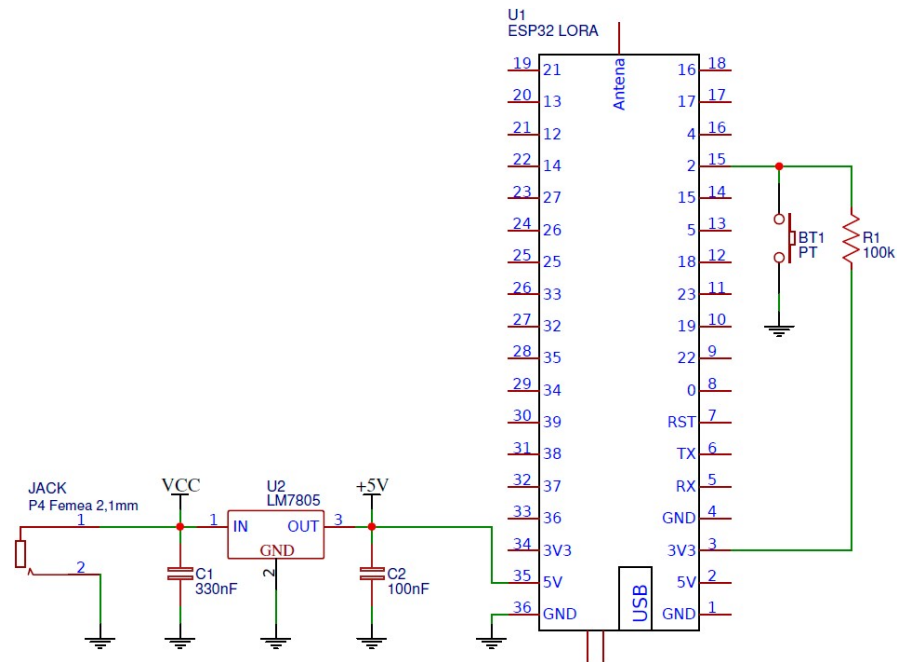
5.1 Montagem

Após a metodologia ser especificada, o primeiro passo é planejar os circuitos de modo a atenderem os requisitos do sistema como um todo. Para isto, é apresentado a seguir o desenvolvimento das etapas de montagem de todos os dispositivos utilizados no sistema.

5.1.1 Montagem do *Gateway*

O circuito do *gateway*, apresentado na Figura 28, é composto pela Placa WiFi LoRa 32, tendo um botão para configurações ligado ao pino 2 da placa com um *pull-up* externo ligado ao pino de 3,3 V. A placa é alimentada por uma tensão de 5 V, e para isto foi utilizado um regulador de tensão que suporta entradas de tensão maiores (especificação definida em 12 V). O regulador foi utilizado, pois os outros circuitos necessitam de entradas de tensão em 12 V. Dessa forma, é possível manter um padrão nas fontes de alimentação de todos os dispositivos, além de evitar pequenos surtos que possam ser gerados pela fonte. Para a entrada de energia é utilizado um conector *jack* P4 fêmea de 2,1 mm.

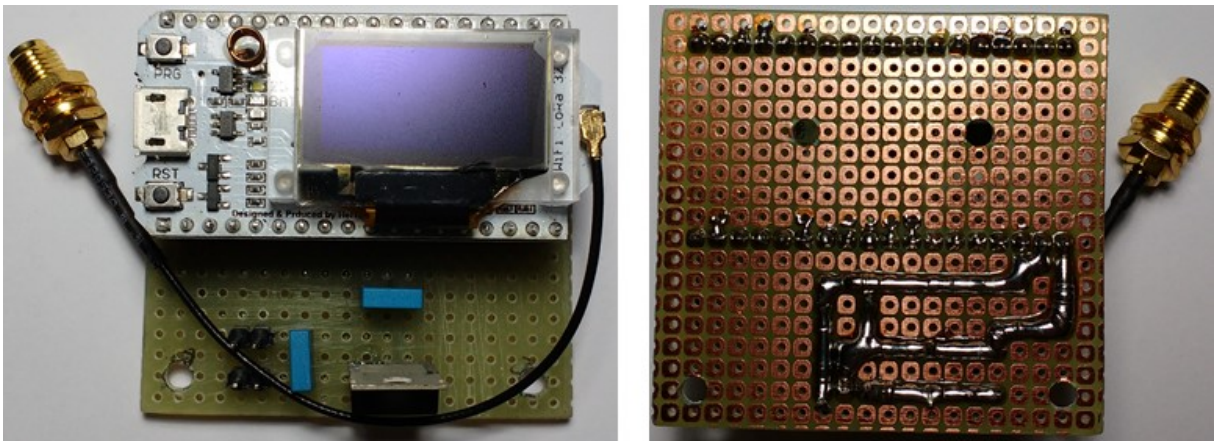
Figura 28 - Circuito do módulo de *gateway*



Fonte: Elaborado pelo autor.

A montagem do circuito tem como base uma placa de fenolite perfurada. Nela foram soldados os componentes e realizados quatro furos para fixação da mesma conforme a Figura 29.

Figura 29 - Montagem da placa do *gateway*

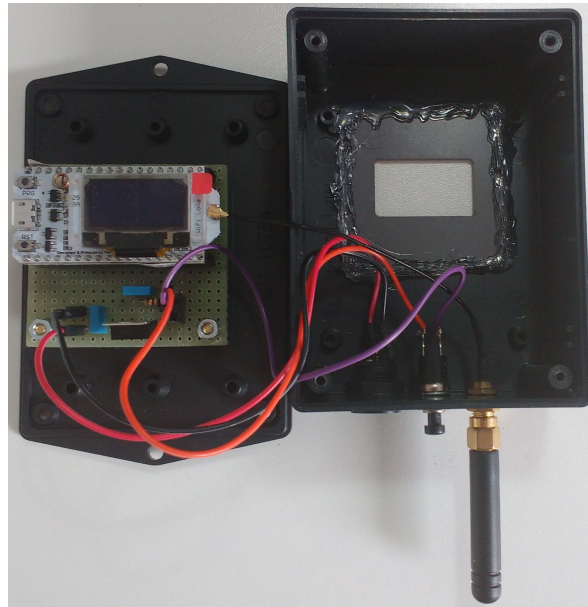


Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a montagem da placa, foram realizadas as furações da caixa na qual a placa é fixada e adicionada uma proteção acrílica no visor do *display* para que o circuito não fosse danificado. Também foram realizadas as ligações e acomodações

dos componentes externos a caixa, tendo assim o módulo montado conforme mostram as Figuras 30 e 31.

Figura 30 - Montagem da caixa do *gateway*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 - *Gateway* montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 5 é possível verificar a relação de componentes e gastos realizados com os mesmos para a montagem do protótipo. Para o sistema proposto é utilizado apenas 1 *gateway* como objeto de estudo.

Quadro 5 - Relação de componentes e custos para 1 módulo de *gateway*

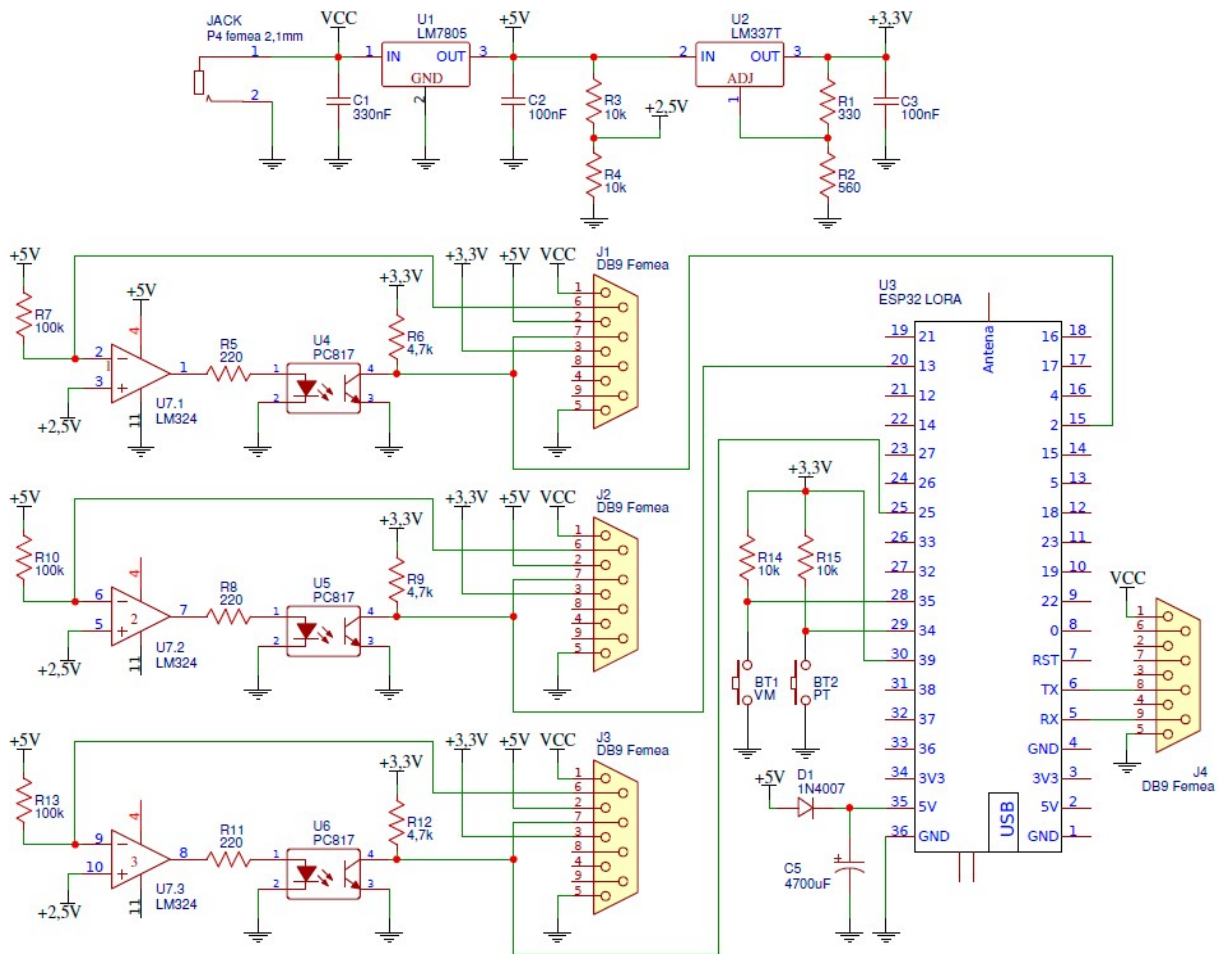
Quantidade	Item	Valor unitário	Total
01 peça	Barra de pinos fêmea 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
01 peça	Barra de pinos macho 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
01 peça	Botão <i>push-button</i> 10x27 mm preto	R\$2,00	R\$2,00
04 peças	Cabo <i>jumper</i> macho/fêmea 20 cm	R\$0,25	R\$1,00
01 peça	Caixa plástica 33 mm x 72 mm x 85 mm	R\$7,90	R\$7,90
01 peça	Capacitor poliéster 100 nF 63 V	R\$0,15	R\$0,15
01 peça	Capacitor poliéster 330 nF 63 V	R\$0,15	R\$0,15
01 peça	Conector <i>jack</i> fêmea P4 painel	R\$0,80	R\$0,80
01 peça	Fonte chaveada 12 V 1 A P4 2,1 x 5,5 mm	R\$9,90	R\$9,90
01 peça	Placa fenolite perfurada 55 mm x 55 mm	R\$1,80	R\$1,80
01 peça	Placa WiFi LoRa 32 915 MHz Heltec	R\$52,00	R\$52,00
01 peça	Regulador de tensão LM7805	R\$0,90	R\$0,90
01 peça	Resistor 10 K Ω 5 % 1/4 W	R\$0,10	R\$0,10
01 peça	Placa de acrílico 50 mm x 50 mm x 2 mm	R\$1,25	R\$1,25
03 Peças	Parafuso M3 x 12 mm com 2 porcas M3	R\$0,40	R\$1,20
TOTAL		R\$80,15	

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2 Montagem dos Módulos de Nós

O circuito do módulo de nó, necessita de vários níveis de tensão diferentes. Assim, tem-se a entrada de energia através de um conector como no módulo de *gateway*, com entrada de 12 V, passando por um regulador de tensão para 5 V e em seguida outro para 3,3 V. Nesta parte do circuito também há um divisor de tensão para gerar um sinal de 2,5 V, utilizado como referência de tensão para o circuito de proteção das entradas digitais da placa, conforme mostra a Figura 32.

Figura 32 - Circuito do módulo de nó

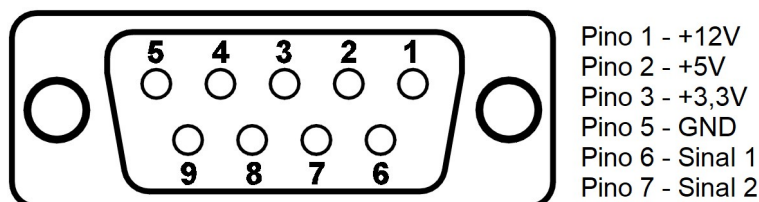


Fonte: Elaborado pelo autor.

A parte do circuito de proteção das entradas digitais também serve como um conversor de tensões, visto que os três sensores utilizados são alimentados com tensões diferentes. Estes sensores são conectados ao módulo através de conectores tipo DB-9 fêmea, tendo nestes conectores os valores de tensão de 12 V, 5 V e 3,3 V, nos pinos 1, 2 e 3, respectivamente. Desta forma, qualquer um dos sensores utilizados pode ser conectado em qualquer um dos conectores, de modo que os componentes não são danificados por incompatibilidade de níveis de tensão. No pino 5 dos conectores há o GND e nos pinos 6 e 7 os sinais provenientes dos sensores conectados. Se o sensor estiver conectado através do pino 7, ele não passa pelo circuito de proteção, visto que este utiliza comunicação digital para a leitura das informações e é alimentado com tensão de 3,3 V. Já se o sensor estiver conectado através do pino 6, ele passa primeiramente por um circuito comparador através de um amplificador operacional e em seguida passa por um acoplador óptico

para então emitir o sinal para a placa. Os conectores referentes as estradas digitais para leitura de sensores são denominadas de canais 1, 2 e 3, tendo suas pinagens de acordo com a Figura 33.

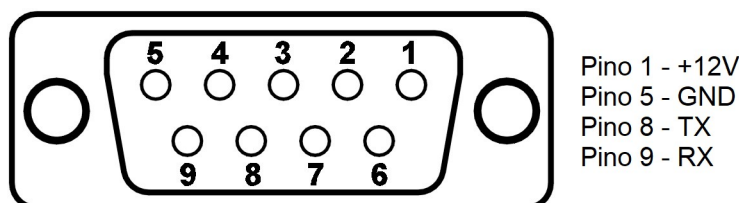
Figura 33 - Pinagem conector DB-9 fêmea dos canais 1, 2 e 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também há um conector DB-9 referente ao canal de comunicação entre o módulo de nó e um dos módulos leitores que esteja conectado. Neste conector são utilizados os pinos 1 e 2 para alimentação dos módulos leitores, e os pinos 8 e 9 para a comunicação serial, conforme Figura 34. Os pinos de comunicação funcionam com a tensão de 3,3 V.

Figura 34 - Pinagem conector DB-9 fêmea do canal de comunicação

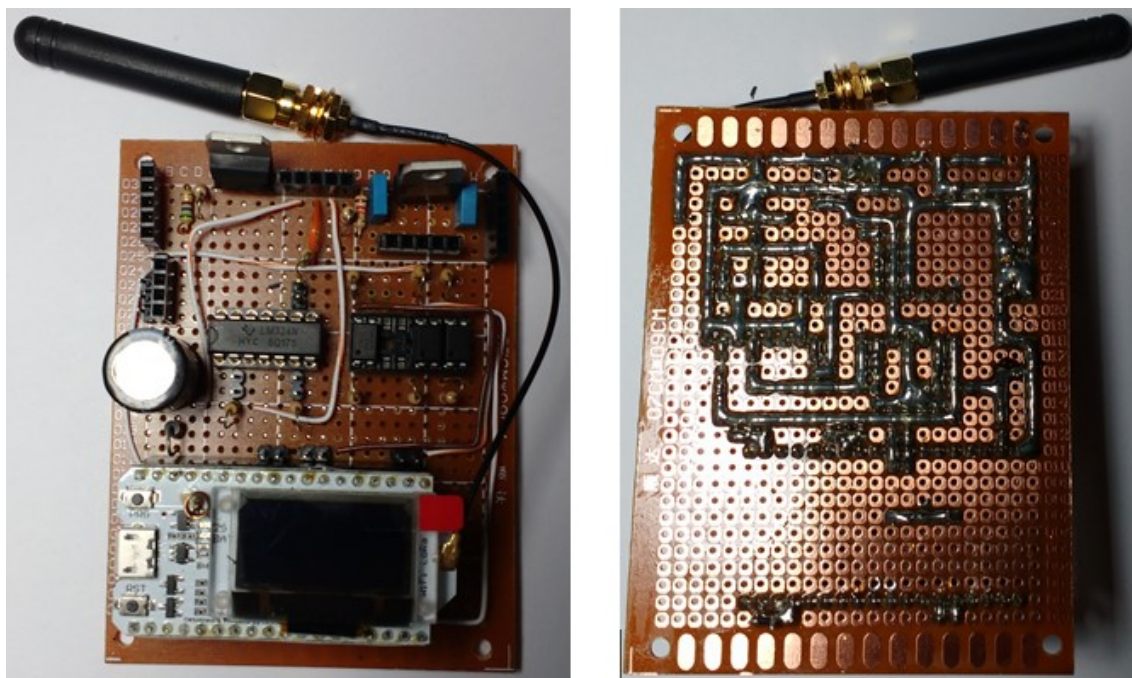


Fonte: Elaborado pelo autor.

O módulo ainda conta com dois botões, um preto e outro vermelho, para que o usuário possa utilizá-los da forma que desejar. Eles usam resistores externos de *pull-up* e estão conectados aos pinos 34 e 35 da placa.

Para a montagem do módulo também foi utilizada como base uma placa de fenolite perfurada, conforme a Figura 35. Assim como na placa do *gateway*, foram soldados os componentes na placa e realizadas as furações para fixação da mesma.

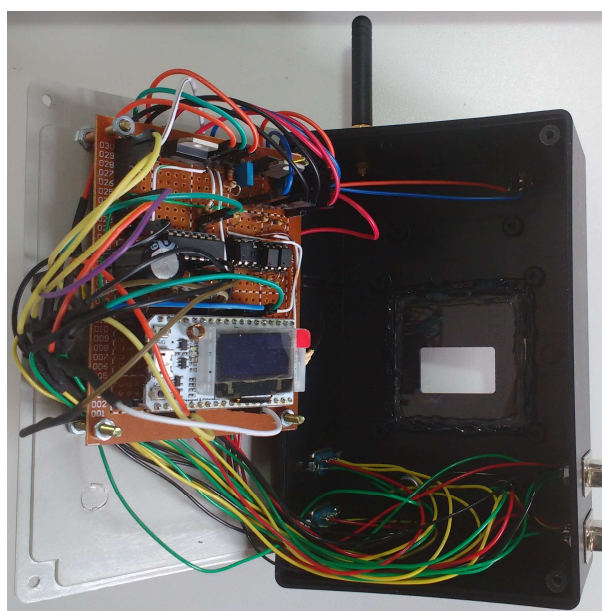
Figura 35 - Montagem da placa do nó



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foram realizadas as furações na caixa, fixando a placa na mesma, de acordo com a Figura 36. Os componentes foram acomodados e fixados nas laterais da caixa conectando-os aos terminais da placa. Na Figura 37 é apresentada a caixa fechada tendo o módulo montado.

Figura 36 - Montagem da caixa do nó



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37 - Nó montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Através do Quadro 6, verifica-se a relação de componentes e gastos realizados com os mesmos para a montagem do protótipo. No sistema proposto são utilizados 3 nós como objetos de estudo.

Quadro 6 - Relação de componentes e custos para 1 módulo de nó

Quantidade	Item	Valor unitário	Total
01 peça	Barra de pinos fêmea 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
01 peça	Barra de pinos macho 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
01 peça	Botão <i>push-button</i> 10x27 mm preto	R\$2,00	R\$2,00
01 peça	Botão <i>push-button</i> 10x27 mm vermelho	R\$2,00	R\$2,00
15 peças	Cabo <i>jumper</i> macho/fêmea 20 cm	R\$0,25	R\$3,75
01 metro	Cabo 4 vias 26 AWG com blindagem	R\$2,55	R\$2,55
01 peça	Caixa plástica 55 mm x 97 mm x 147 mm	R\$15,00	R\$15,00
01 peça	Capacitor eletrolítico 4700 uF 6,3 V	R\$1,90	R\$1,90
02 peças	Capacitor poliéster 100 nF 63 V	R\$0,15	R\$0,30
01 peça	Capacitor poliéster 330 nF 63 V	R\$0,15	R\$0,15
01 peça	Circuito integrado LM324N	R\$0,80	R\$0,80
04 peças	Conector DB-9 fêmea 180 graus	R\$0,80	R\$3,20
01 peça	Conector <i>jack</i> fêmea P4 painel	R\$0,80	R\$0,80
01 peça	Diodo 1N4007	R\$0,10	R\$0,10
0,5 metro	Espaguete termo-retrátil preto 1,5 mm	R\$0,80	R\$0,40

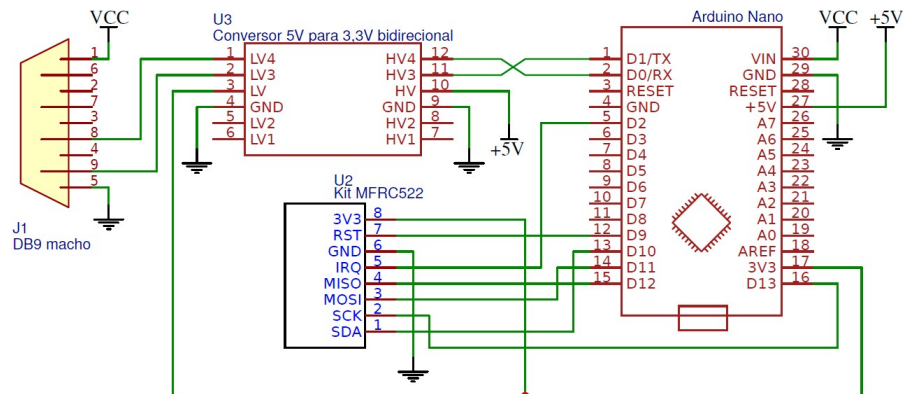
01 peça	Fonte chaveada 12 V 1 A P4 2,1 x 5,5 mm	R\$9,90	R\$9,90
03 peças	Acoplador óptico PC817	R\$0,50	R\$1,50
01 peça	Placa fenolite perfurada 70 mm x 90 mm	R\$1,80	R\$1,80
01 peça	Placa WiFi LoRa 32 915 MHz <i>Heltec</i>	R\$52,00	R\$52,00
01 peça	Regulador de tensão LM317T	R\$1,10	R\$1,10
01 peça	Regulador de tensão LM7805	R\$0,90	R\$0,90
03 peças	Resistor 100 K Ω 5 % 1/4 W	R\$0,10	R\$0,30
04 peças	Resistor 10 K Ω 5 % 1/4 W	R\$0,10	R\$0,40
03 peças	Resistor 4,7 K Ω 5 % 1/4 W	R\$0,10	R\$0,30
01 peça	Resistor 560 Ω 5 % 1/4 W	R\$0,10	R\$0,10
01 peça	Resistor 330 Ω 5 % 1/4 W	R\$0,10	R\$0,10
03 peças	Resistor 220 Ω 5 % 1/4 W	R\$0,10	R\$0,30
01 peça	Soquete 14 pinos estampado DIP14	R\$0,40	R\$0,40
02 peças	Soquete 8 pinos estampado DIP8	R\$0,25	R\$0,50
01 peça	Placa de acrílico 50 mm x 50 mm x 2 mm	R\$1,25	R\$1,25
04 Peças	Parafuso M3 x 30 mm com 3 porcas M3	R\$0,60	R\$2,40
TOTAL		R\$107,20	

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3 Montagem do Módulo Leitor RFID

O circuito do módulo leitor RFID utiliza o Kit Mfrc522 que efetua a leitura das *tags* e envia as informações para um Arduino Nano através de uma comunicação SPI. Para a comunicação deste módulo com um nó, utiliza-se um conversor de nível de tensão, pois o Arduino trabalha em 5 V e a Placa WiFi LoRa 32 trabalha com sinais de 3,3 V. Os sinais da comunicação estão conectados nos pinos 8 e 9 do conector DB-9 macho, assim como a alimentação de 12 V através dos pinos 1 e 5 do conector, conforme mostra a Figura 38.

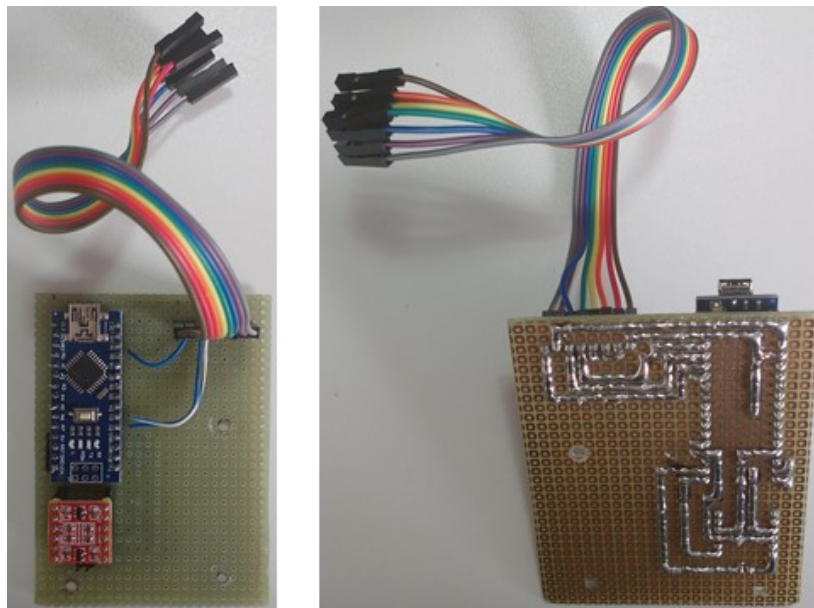
Figura 38 - Circuito do módulo leitor RFID



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a montagem do módulo foi utilizada como base uma placa de fenolite perfurada. Assim como nas placas anteriores, foram soldados os componentes nela e realizadas as furações para fixação da mesma conforme a Figura 39.

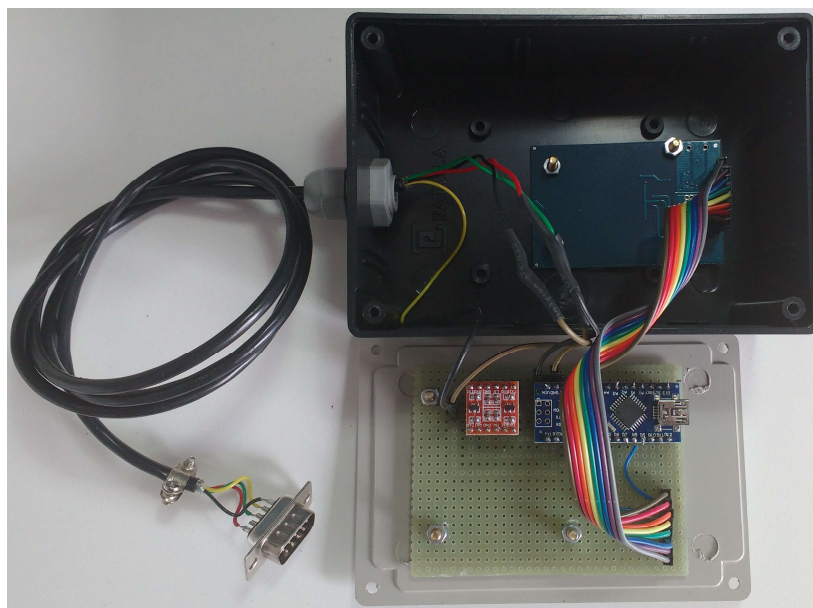
Figura 39 - Montagem da placa do módulo leitor RFID



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 40, são mostrados os componentes acomodados e fixados nas laterais da caixa conectando-os aos terminais da placa. Fechando a caixa tem-se o módulo montado conforme a Figura 41.

Figura 40 - Montagem da caixa do módulo leitor RFID



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 - Módulo leitor RFID montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a montagem é possível verificar a relação de componentes e gastos realizados com os mesmos para a montagem do protótipo, apresentados no Quadro 7. Para o sistema proposto são utilizados 2 módulos leitores RFID como objetos de estudo.

Quadro 7 - Relação de componentes e custos para 1 módulo leitor RFID

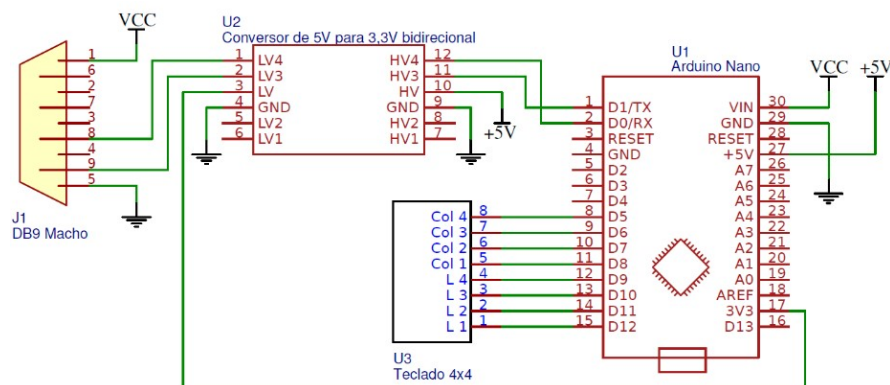
Quantidade	Item	Valor unitário	Total
01 peça	Barra de pinos fêmea 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
01 peça	Barra de pinos macho 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
02 peças	Cabo <i>jumper</i> macho/fêmea 20 cm	R\$0,25	R\$0,50
01 metro	Cabo 4 vias 26 AWG com blindagem	R\$2,55	R\$2,55
01 peça	Caixa plástica 36 mm x 85 mm x 123 mm	R\$14,00	R\$14,00
01 peça	Capa para conector DB-9 cinza	R\$1,30	R\$1,30
01 peça	Conversor de nível lógico 3,3 - 5 V	R\$1,90	R\$1,90
01 peça	Kit módulo leitor Mfrc522 Mifare	R\$11,90	R\$11,90
01 peça	Conector DB-9 macho 180 graus	R\$0,80	R\$0,80
01 peça	Placa fenolite perfurada 70 mm x 90 mm	R\$1,80	R\$1,80
01 peça	Placa Arduino Nano V3.0	R\$11,50	R\$11,50
01 peça	Prensa cabo 1/4" cinza	R\$1,40	R\$1,40
07 Peças	Parafuso M3 x 12 mm com 2 porcas M3	R\$0,40	R\$2,80
TOTAL		R\$51,45	

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.4 Montagem do Módulo Leitor de Teclado

O circuito do módulo leitor de teclado é praticamente igual ao do módulo leitor RFID, com a diferença de que no lugar do leitor RFID é colocado o teclado matricial, conforme a Figura 42. O Arduino efetua a leitura através dos pinos D5 até D12.

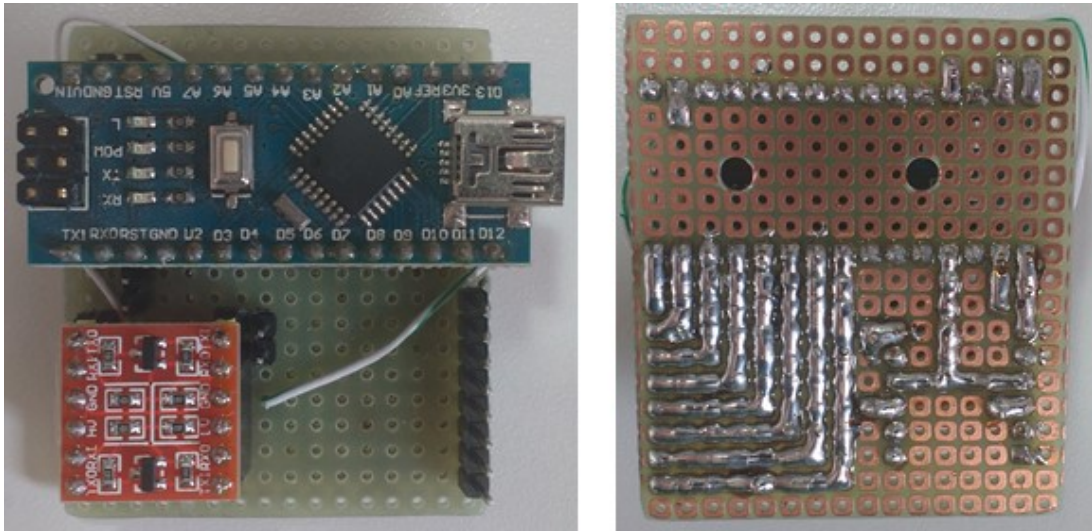
Figura 42 - Circuito do módulo leitor de teclado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a montagem do módulo foi utilizada como base uma placa de fenolite perfurada. Assim como nas placas anteriores, foram soldados os componentes nela e realizadas as furações para fixação da mesma de acordo com a Figura 43.

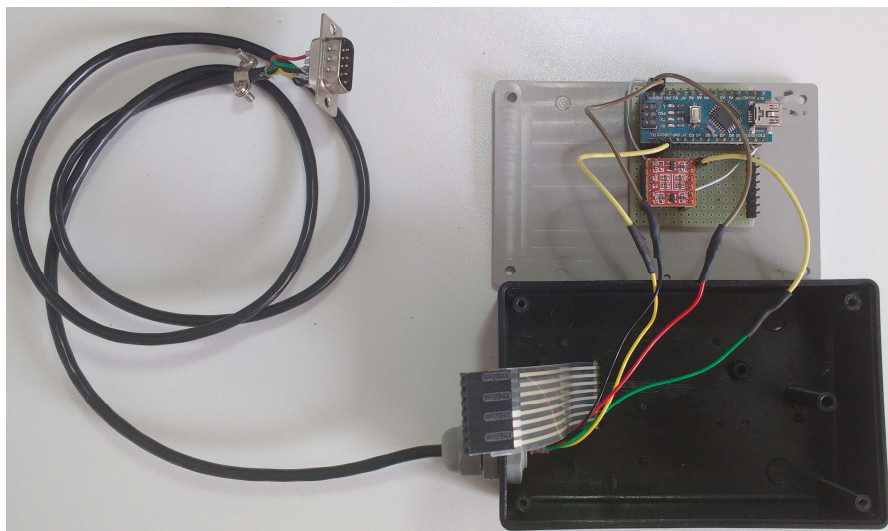
Figura 43 - Montagem da placa do módulo leitor de teclado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como mostrado na Figura 44, os componentes foram acomodados e fixados nas laterais da caixa conectando-os aos terminais da placa. Fechando a caixa tem-se o módulo montado, conforme Figura 45.

Figura 44 - Montagem da placa do módulo leitor de teclado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 45 - Módulo leitor de teclado montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a montagem é possível verificar a relação de componentes e gastos realizados com os mesmos para a montagem do protótipo, de acordo com o Quadro 8. Para o sistema proposto é utilizado 1 módulo leitor de teclado como objeto de estudo.

Quadro 8 - Relação de componentes e custos para 1 módulo leitor de teclado

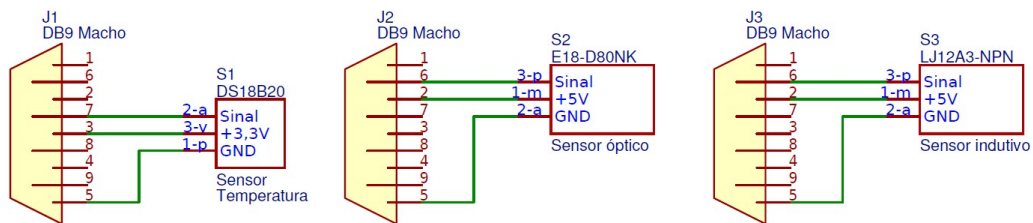
Quantidade	Item	Valor unitário	Total
01 peça	Barra de pinos fêmea 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
01 peça	Barra de pinos macho 1x40 vias 180 graus	R\$0,50	R\$0,50
02 peças	Cabo <i>jumper</i> macho/fêmea 20 cm	R\$0,25	R\$0,50
01 metro	Cabo 4 vias 26 AWG com blindagem	R\$2,55	R\$2,55
01 peça	Caixa plástica 34 mm x 75 mm x 116 mm	R\$9,70	R\$9,70
01 peça	Capa para conector DB-9 cinza	R\$1,30	R\$1,30
01 peça	Conversor de nível lógico 3,3 - 5 V	R\$1,90	R\$1,90
01 peça	Teclado matricial membrana 16 teclas	R\$2,10	R\$2,10
01 peça	Conector DB-9 macho 180 graus	R\$0,80	R\$0,80
01 peça	Placa fenolite perfurada 50 mm x 50 mm	R\$1,80	R\$1,80
01 peça	Placa Arduino Nano V3.0	R\$11,50	R\$11,50
01 peça	Prensa cabo 1/4" cinza	R\$1,40	R\$1,40
04 Peças	Parafuso M3 x 12 mm com 2 porcas M3	R\$0,40	R\$1,60
TOTAL		R\$36,15	

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.5 Montagem dos Sensores

Para o circuito dos sensores, apresentado na Figura 46, apenas é utilizado um conector DB-9 macho para a conexão aos nós. O sensor de temperatura DS18B20 é alimentado através do pino 3 com tensão de 3,3 V, e o sinal é lido através do pino 7 do conector. O sensor óptico E18-D80NK é alimentado através do pino 2 com tensão de 5 V, e o sinal é lido através do pino 6. Já o sensor indutivo LJ12A3-NPN, é alimentado através do pino 1 com tensão de 12 V, e o sinal é lido através do pino 6.

Figura 46 - Circuito dos sensores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para montagem dos sensores apenas foram soldados e montados os conectores do tipo DB-9, conforme as Figuras 47, 48 e 49, seguindo o esquemático proposto anteriormente, de modo a possibilitar a conexão aos nós.

Figura 47 - Sensor de temperatura DS18B20 montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48 - Sensor óptico E18-D80NK montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 49 - Sensor indutivo LJ12A3-NPN montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a montagem é possível verificar a relação de componentes e gastos realizados, que são apresentados no Quadro 9. Para o sistema proposto são utilizados 1 sensor de cada tipo como objeto de estudo.

Quadro 9 - Relação de componentes e custos para 1 sensor de cada tipo

Quantidade	Item	Valor unitário	Total
01 peça	Sensor de temperatura DS18B20	R\$5,40	R\$5,40
01 peça	Sensor óptico E18-D80NK	R\$13,90	R\$13,90
01 peça	Sensor indutivo LJ12A3-NPN	R\$7,20	R\$7,20
03 peças	Capa para conector DB-9 cinza	R\$1,30	R\$3,90
03 peças	Conector DB-9 macho 180 graus	R\$0,80	R\$2,40
TOTAL		R\$32,80	

Fonte: Elaborado pelo autor.

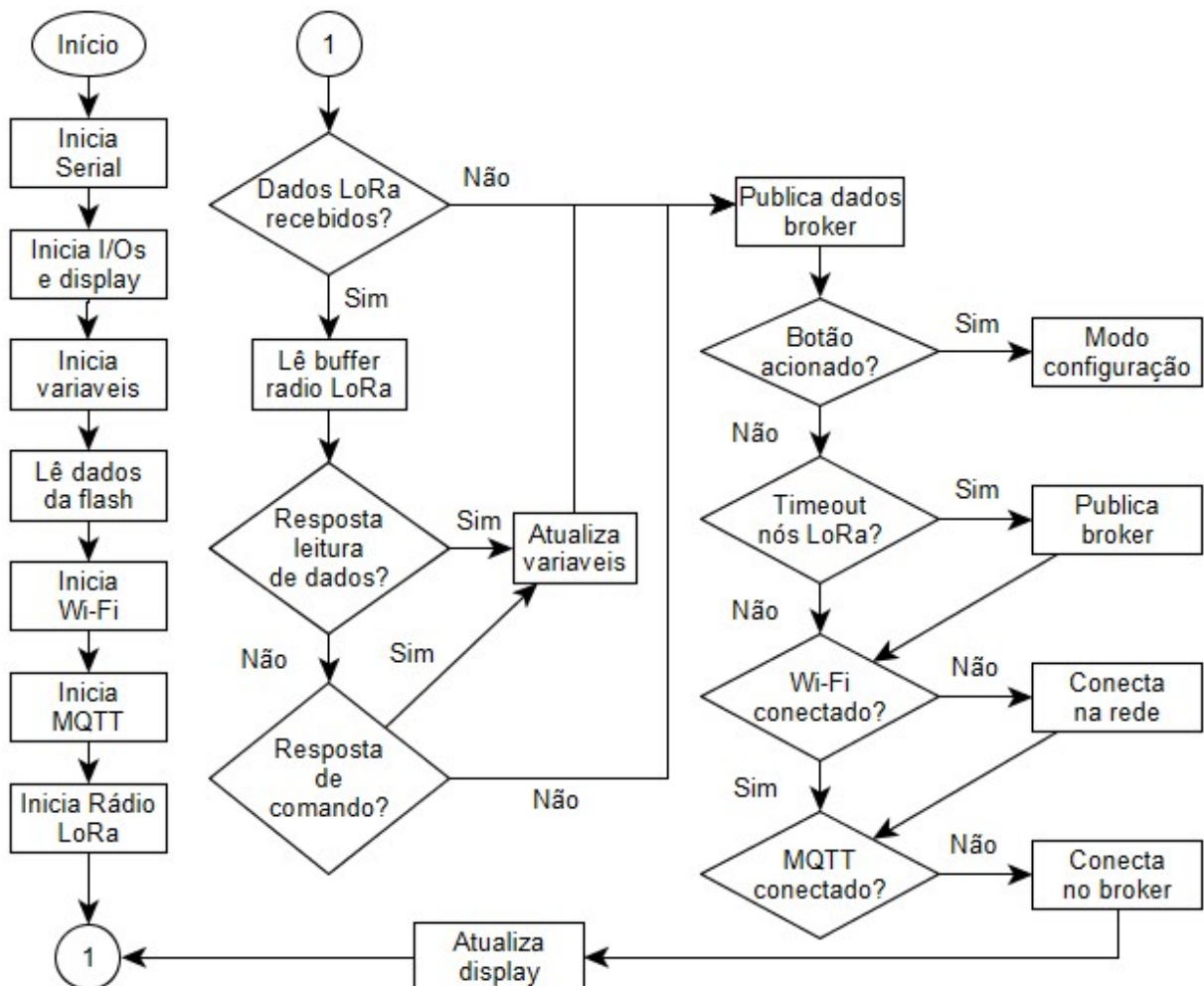
5.2 Programação

Após concluídas as montagens dos protótipos, foram implementados os programas de cada módulo. Em seguida são apresentadas as principais características de cada programa, mostrando seus fluxogramas e explicando de forma mais detalhada os protocolos utilizados.

5.2.1 Programação do *Gateway*

Verifica-se através do fluxograma mostrado na Figura 50 que o programa do *gateway* tem início efetuando as inicializações dos periféricos do microcontrolador, começando pela comunicação serial e finalizando esta parte com a inicialização do rádio LoRa.

Figura 50 - Fluxograma do programa do módulo de *gateway*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta inicialização são lidos dados já gravados na memória *flash* do microcontrolador, tais como o nome de uma rede Wi-Fi e uma senha, além dos dados de acesso ao *broker* MQTT. Em seguida é verificado se algum dado foi recebido através do rádio LoRa. Se houver algum dado, é realizado o seu tratamento atualizando as devidas variáveis podendo utilizá-las posteriormente. Após são publicados os dados gerais de funcionamento e dados lidos dos nós cadastrados ao *broker* através do protocolo MQTT. Em caso de queda na conexão com a rede Wi-Fi ou com o *broker* MQTT, é realizada a reconexão dos mesmos durante o loop do programa. Se o botão do módulo for pressionado, o dispositivo entra em modo de configuração, isto é, passa a atuar como um servidor de sinal Wi-Fi, de modo que através de algum outro dispositivo possa ser feita a conexão com a placa. Com um *smartphone* ou computador já conectado a placa, deve-se abrir o navegador e acessar o IP 192.168.4.1, de modo que será aberta uma nova página como a apresentada na Figura 51.

Figura 51 - Página criada através da Placa WiFi LoRa 32

ESP2301486772

WiFiManager

Configure WiFi

Configure WiFi (No Scan)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao clicar em “*Configure Wi-Fi (No Scan)*”, será aberta uma nova página na qual deve ser digitada a rede Wi-Fi a qual se deseja conectar assim como sua respectiva senha, conforme a Figura 52. Nos campos abaixo devem ser digitados os dados do *broker* MQTT utilizado (endereço, porta, usuário e senha).

Figura 52 - Página para inserir dados de conexão

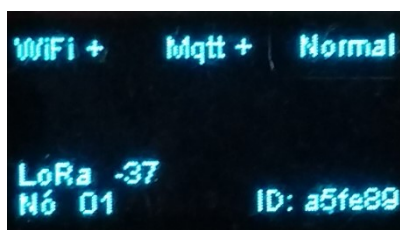
SSID
password
m10.cloudmqtt.com
11576
yztnwxte
V_m3hfZ7jWNA

save

[Scan](#)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao clicar em “save”, o programa que estava em modo de configuração reinicia o microcontrolador, fazendo como que o mesmo retorne ao modo de funcionamento normal, para então conectar-se à rede utilizando os dados fornecidos anteriormente. Como pode ser visto no fluxograma, o programa atualiza o *display* durante o seu loop, de modo que o mesmo apresenta informações tais como: conexão com a rede Wi-Fi, conexão com o *broker* MQTT, modo de funcionamento (normal ou configuração), nível de sinal e qual o nó do último recebimento de dados através do rádio LoRa e por fim, a identificação do dispositivo (ID), que é constituído por 3 *bytes* no formato hexadecimal, como mostrado na Figura 53. Estes *bytes* fazem parte do endereço MAC de cada microcontrolador.

Figura 53 - *Display* do módulo de *gateway*

Fonte: Elaborado pelo autor.

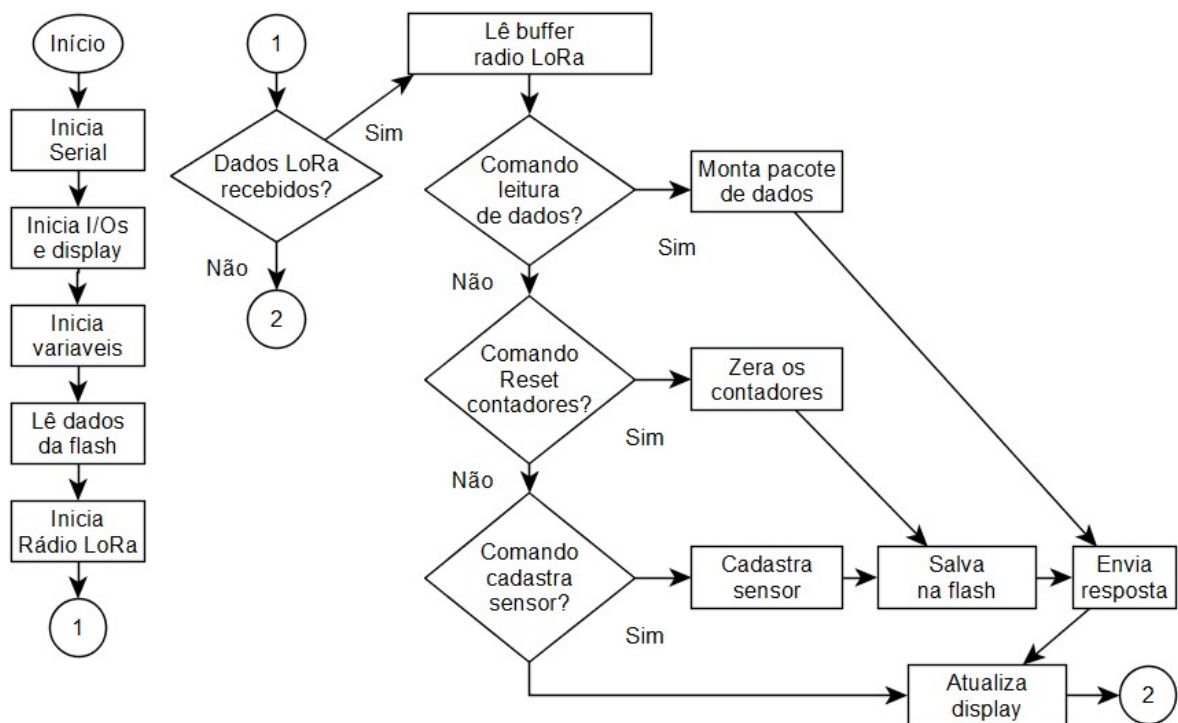
É através do ID de cada dispositivo que são realizadas as trocas de informações entre o *gateway* e o *broker* e entre o *gateway* e os nós. Para a comunicação entre o *gateway* e o *broker* são utilizados os tópicos MQTT. Estes são

divididos em três partes distintas para este trabalho. A primeira parte, conta com os tópicos que são publicados através do programa do *gateway* para o *broker*. A segunda parte são os tópicos que são assinados através do programa do *gateway* para receber dados do *broker*. Já a terceira parte são os tópicos publicados pelo *gateway* para confirmar um comando recebido e executado, ou para informar não conformidades (alarmes). O formato destes tópicos, assim como o conteúdo das mensagens são apresentados nos Apêndices B, C e D, respectivamente.

5.2.2 Programação do Módulo de Nó

O programa do módulo de nó inicia configurando e habilitando os periféricos do microcontrolador, começando pela comunicação serial e finalizando esta parte com a inicialização do rádio LoRa, como mostrado na Figura 54. Em seguida o mesmo entra em modo de loop e verifica se houve o recebimento de algum dado através do rádio LoRa. Caso houver algum dado recebido, os mesmos são lidos e é efetuado o devido tratamento deles se forem mensagens validadas. Se for algum comando válido, uma mensagem de resposta será enviada e o *display* será atualizado.

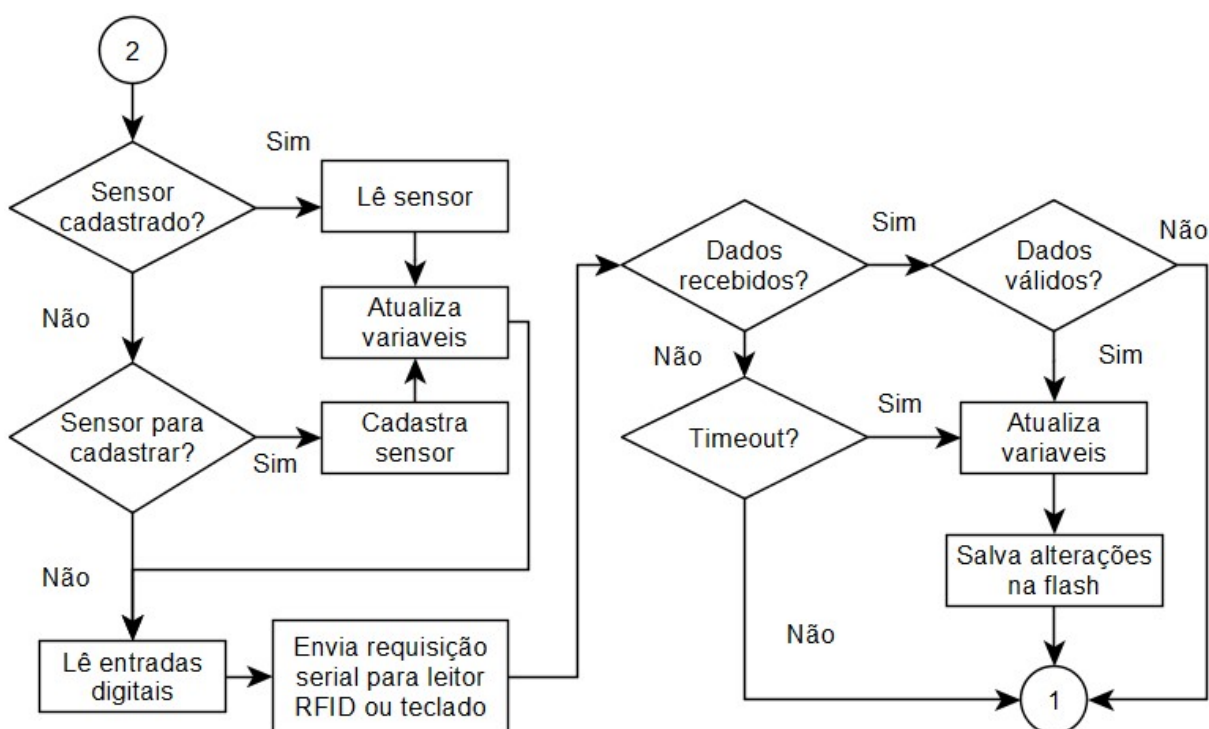
Figura 54 - Fluxograma do programa do módulo de nó parte 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Continuando o fluxograma na Figura 55, é verificado se há algum sensor de temperatura cadastrado em algum dos canais e se houver, o mesmo é lido e são atualizadas as respectivas variáveis. Também é verificado se um sensor de temperatura deve ser cadastrado em um canal ou não. Posteriormente são lidas as entradas digitais dos canais e botões e são enviadas as requisições de leitura de dados para o módulo leitor através de uma comunicação serial.

Figura 55 - Fluxograma do programa do módulo de nó parte 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

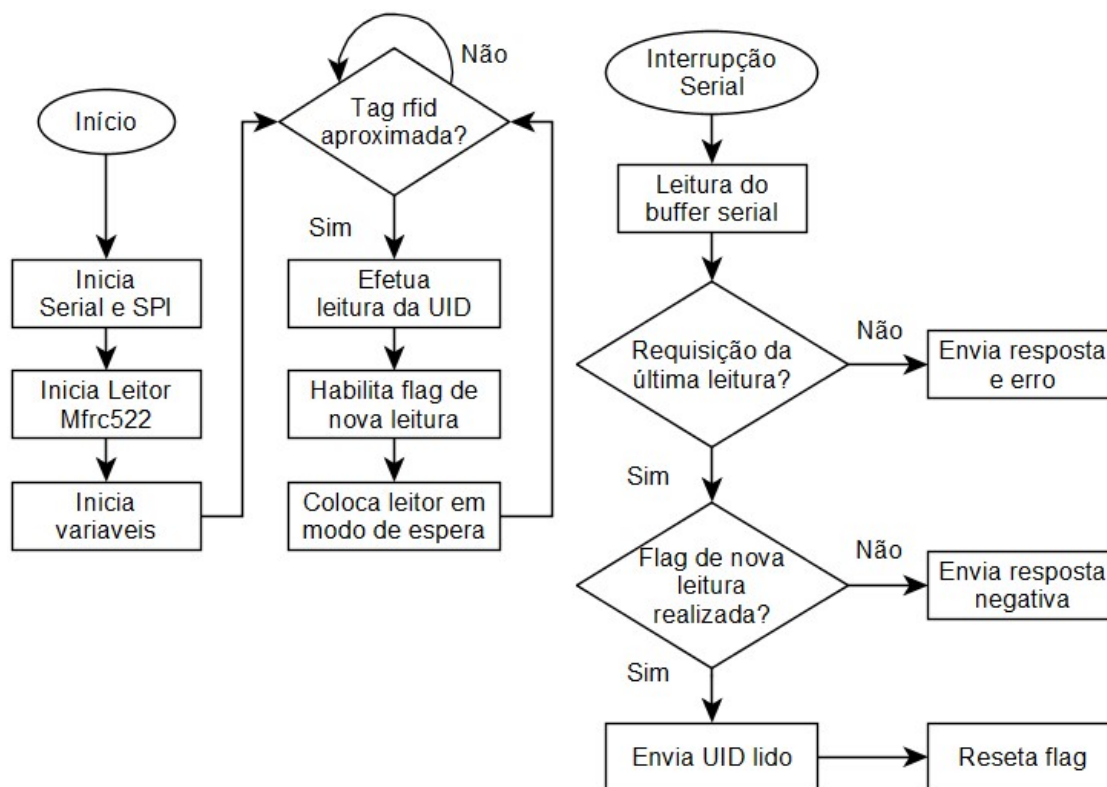
Por fim, são verificados os dados recebidos do módulo leitor, e se forem válidos são tratados e armazenados. Caso não haja resposta para a requisição anterior, é verificado que ocorreu um *timeout* da comunicação.

5.2.3 Programação do Módulo Leitor RFID

O programa do módulo leitor RFID começa inicializando as comunicações serial e SPI, juntamente com a inicialização do leitor Mfrc522 e das variáveis conforme a Figura 56. Entrando no loop do programa, é testado se alguma *tag* foi aproximada do leitor, sendo que se houver a aproximação será efetuada a leitura do

UID (*Unique Identifier*) da mesma colocando novamente o módulo em modo de espera de aproximação de outra *tag*.

Figura 56 - Fluxograma do programa do módulo leitor RFID



Fonte: Elaborado pelo autor.

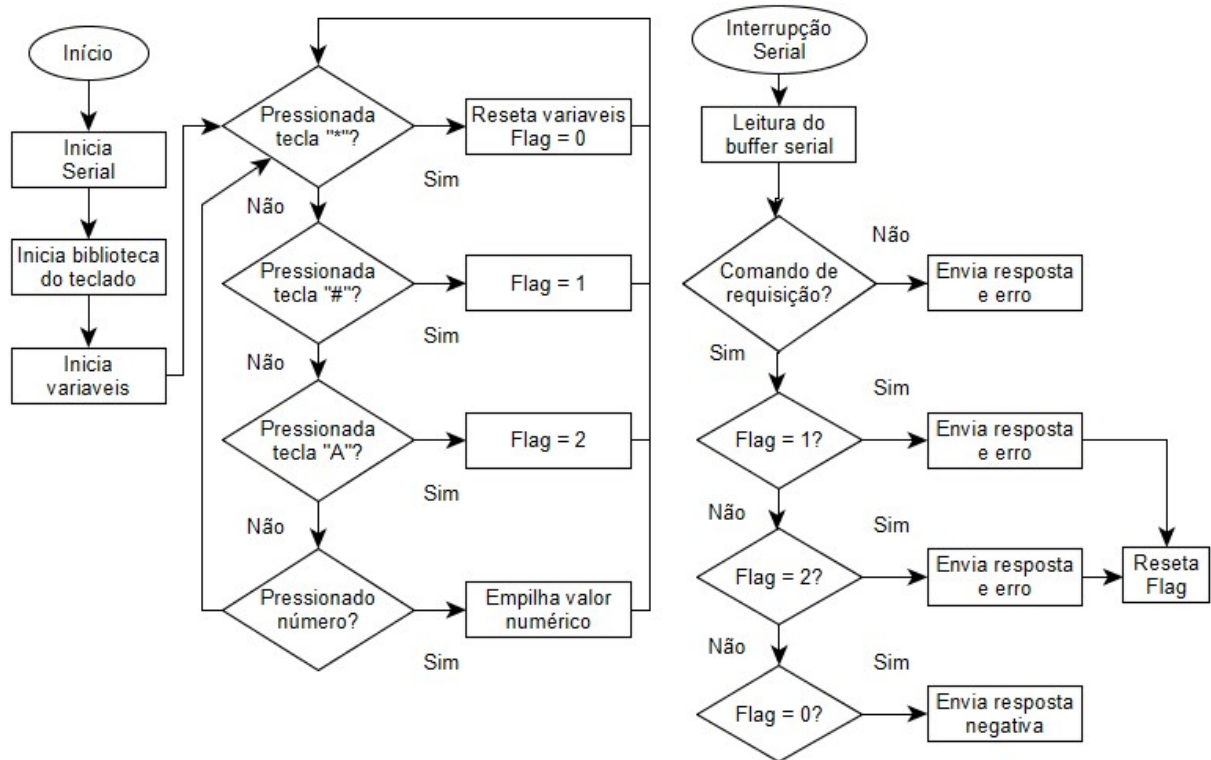
Caso houver algum dado recebido pela serial do microcontrolador, é gerada uma interrupção do sistema na qual é efetuada a leitura dos dados recebidos, verificando se é uma mensagem válida. Se for, é realizado o tratamento verificando se há um novo UID para enviar como resposta a requisição, e se não houver é enviada uma mensagem informando que não houve aproximação de uma nova *tag*.

5.2.4 Programação do Módulo Leitor de Teclado

O programa do módulo leitor de teclado começa inicializando a comunicação serial, inicializando variáveis e as função da biblioteca de leitura do teclado, como mostrado na Figura 57. Em seguida o programa entra em loop testando se alguma tecla foi pressionada. A tecla de asterisco (*) limpa o valor armazenado na variável de valor digitado. A tecla de cerquilha (#) armazena um valor na *flag* de modo a enviar um comando para mostrar o valor digitado no *display* do nó. Já a tecla “A”,

armazena um valor na *flag* de modo a mandar um comando para enviar o valor digitado para o *gateway*. Se alguma tecla numérica for pressionada o valor digitado é incrementado.

Figura 57 - Fluxograma do programa do módulo leitor de teclado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Caso houver algum dado recebido pela serial do microcontrolador, é gerada uma interrupção do sistema na qual é efetuada a leitura dos dados recebidos, verificando se é uma mensagem válida. Se for, é enviada uma resposta de acordo com a *flag* de estado do programa.

5.3 Configuração do *Broker*

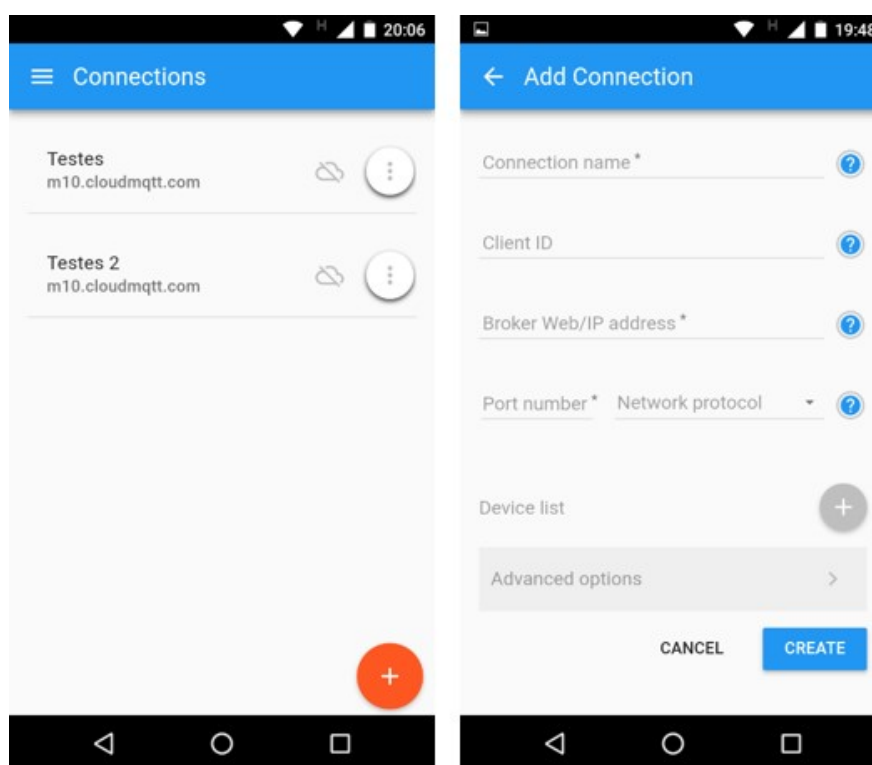
O *broker* utilizado é o Mosquitto™, que implementa o protocolo MQTT tendo seu código aberto. O mesmo foi utilizado através do site *CloudMQTT* que é basicamente um site gerenciado por servidores Mosquitto™ que conta com um plano grátis para implementações básicas (CLOUDMQTT, 2018). Primeiramente foi criada uma conta no site, sendo em seguida criada uma instância. Através desta, são gerados um nome de usuário, senha e porta de acesso ao servidor. Estes dados

devem ser utilizados pelos dispositivos para se conectar ao *broker*. O servidor conta com algumas restrições como a taxa de transmissão de dados limitada em 10 kbps, e apenas podem ser realizadas 5 conexões de dispositivos diferentes. Mesmo com as limitações o servidor atende os requisitos para o protótipo objeto de estudo.

5.4 Aplicativo

O aplicativo utilizado é o IoT MQTT *Panel* criado por *Rahul Kundu* e pode ser adquirido gratuitamente. Ele permite gerenciar e exibir mensagens através do protocolo MQTT. Com ele é possível criar instâncias (painéis) de botões, contadores, medidores, indicadores, entre outros (SNR ELECTRONICS, 2018). Para criar uma aplicação deve-se abrir o aplicativo e pressionar a tecla “+” no canto inferior direito da tela, como mostrado na Figura 58.

Figura 58 - Criando aplicação no IoT MQTT *Panel* parte 1

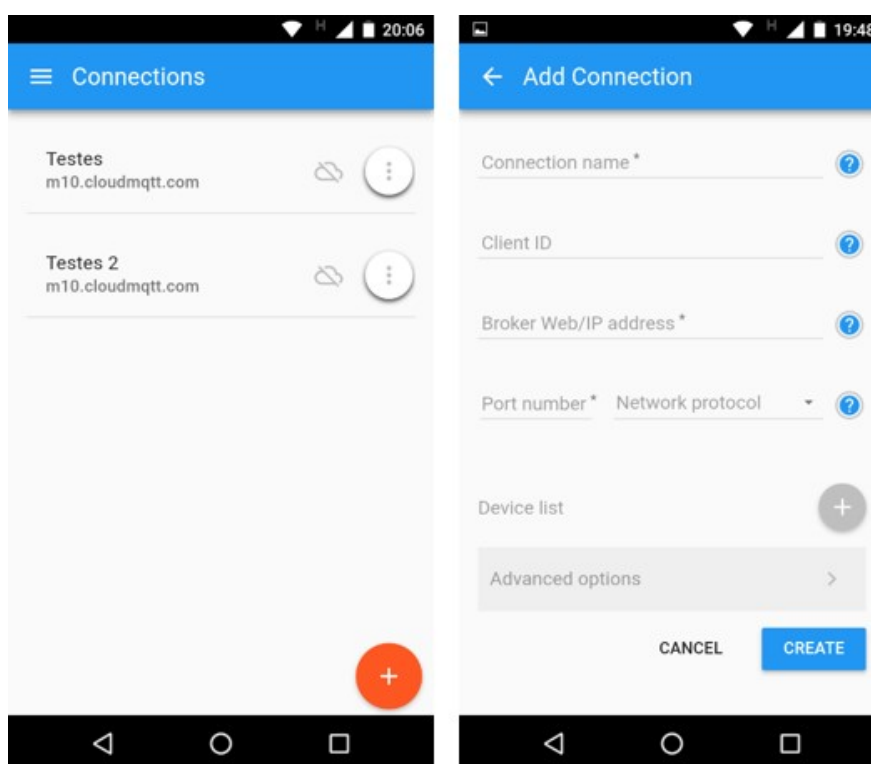


Fonte: Elaborado pelo autor.

No campo “*Connection name*”, deve-se digitar um nome amigável para a aplicação. No campo “*Broker Web/IP address*”, deve-se digitar o endereço da página do *broker* utilizado. No campo “*Port Number*”, deve-se digitar a porta utilizada no

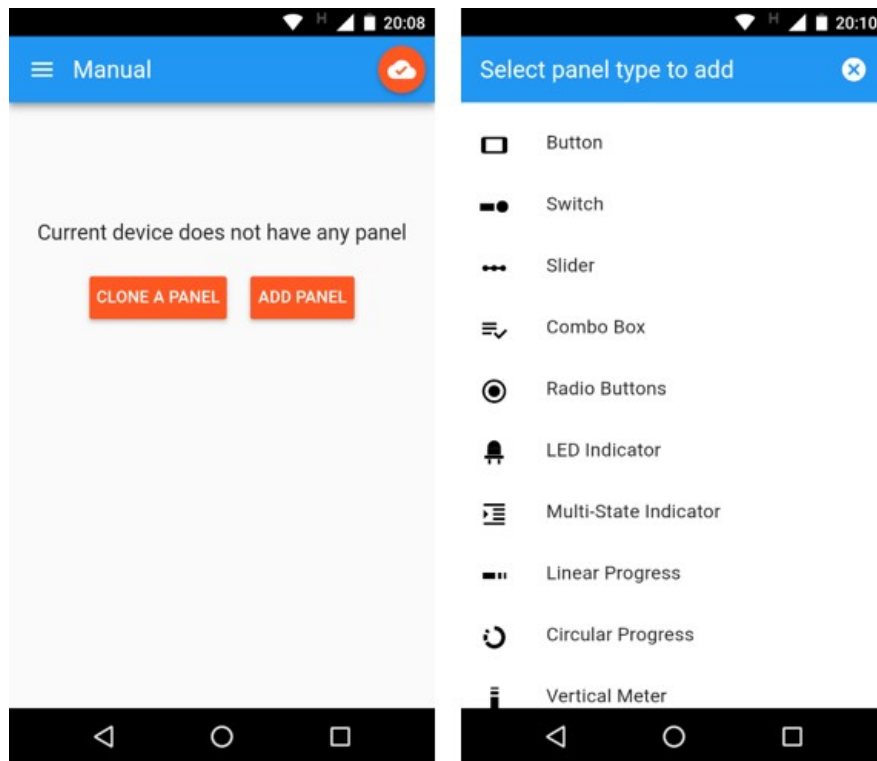
broker e no campo “*Network protocol*” deve-se selecionar a opção TCP. Mais abaixo no campo “*Device list*” deve-se pressionar a tecla “+” e dar um nome para a aplicação. Em seguida deve-se clicar em “*Advanced options*” e no campo “*Username*” digitar o usuário do *broker* assim como no campo “*Password*” digitar a senha. Por fim, selecionar a opção “*Connect Automatically*” e “*CREATE*”. A aplicação estará criada, conforme Figura 59.

Figura 59 - Criando aplicação no IoT MQTT *Panel* parte 2

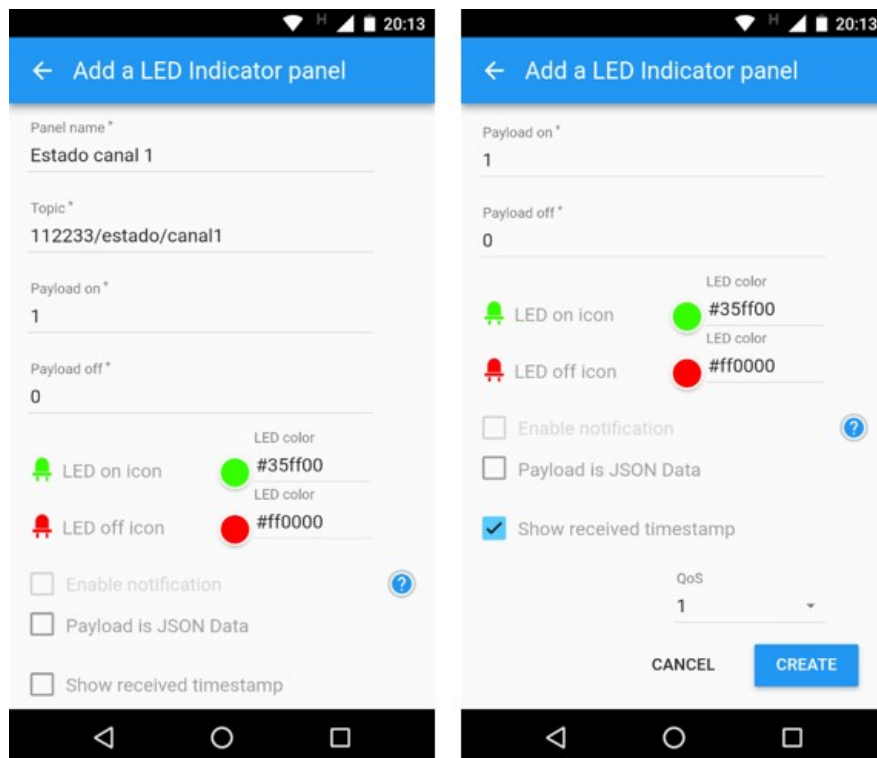


Fonte: Elaborado pelo autor.

Após criada e aberta a aplicação, deve-se clicar no botão “+” no canto inferior direito do aplicativo e escolher a instância desejada (caso seja a primeira instância, clique em “ADD PANEL” na tela inicial) conforme a Figura 60. Durante a criação deve-se colocar o tópico desejado no campo “Tópico” e as mensagens nos respectivos campos. Dependendo da instância selecionada o modo de configuração de mensagens pode ser diferente. Este procedimento é apresentado na Figura 61.

Figura 60 - Adicionando instâncias no IoT MQTT *Panel* parte 1

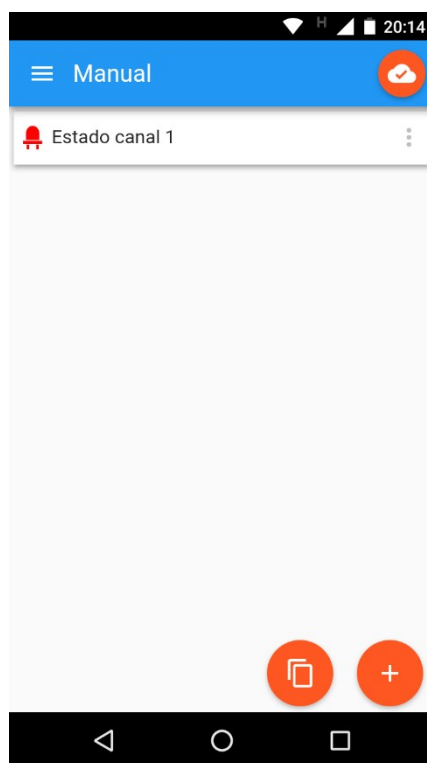
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 61 - Adicionando instâncias no IoT MQTT *Panel* parte 2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a instância criada, na tela da aplicação irá ser criado o painel da instância para ser utilizado pelo usuário, como mostrado na Figura 62.

Figura 62 - Adicionando instâncias no IoT MQTT *Panel* parte 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os dispositivos já desenvolvidos e montados, juntamente com o *broker* e com o aplicativo em funcionamento, é possível iniciar os testes de acordo com a proposta realizada na metodologia deste trabalho. Os testes assim como os resultados obtidos são demonstrados no próximo capítulo.

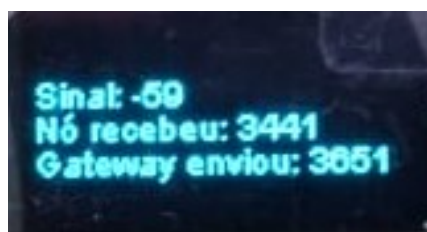
6 TESTES E VALIDAÇÃO

Para efetuar a análise de resultados foram realizados testes diferentes, de modo que fosse possível verificar todo o funcionamento do sistema, assim como fazer uma validação do mesmo. Esta validação foi realizada em uma empresa localizada em Novo Hamburgo – RS, a qual para fins de confidencialidade não terá seu nome citado. Nos próximos itens são demonstrados todos os testes realizados juntamente com seus respectivos resultados.

6.1 Testes Preliminares

O primeiro teste realizado foi para verificar as questões de distâncias atendidas verificando a taxa de perda de dados. Dessa forma, o *gateway* foi posicionado em um ponto com acesso a uma rede Wi-Fi enquanto o nó foi afastado deste ponto. Para o teste, o *gateway* envia um pacote de 32 *bytes* (maior tamanho de pacotes utilizado) a cada segundo. Neste pacote é enviado um contador de mensagens enviadas, sendo que no *display* do nó é apresentada a quantidade de mensagens válidas recebidas assim como o valor do contador recebido, conforme Figura 63, ou seja, os dois valores devem coincidir ao final do teste. O tempo utilizado para cada teste foi de uma hora. Para o primeiro teste o nó foi mantido a uma distância de cerca de 20 metros em relação ao *gateway*. Neste teste foram enviados 3651 pacotes e foram perdidos 210 pacotes, o que representa um total de 5,75% de mensagens perdidas.

Figura 63 - Teste de perda de dados em 20 metros

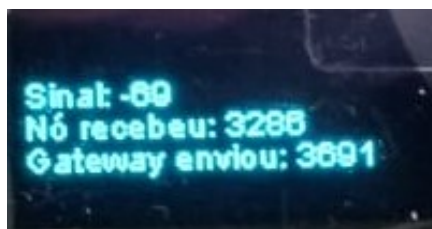


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o segundo teste, o nó foi mantido a uma distância de 500 metros em relação ao *gateway*. Já neste teste foram enviados 3691 pacotes e 405 pacotes

foram perdidos, o que representa um total de 10,97% de mensagens perdidas. Na Figura 64 é apresentado o resultado deste teste.

Figura 64 - Teste de perda de dados em 500 metros



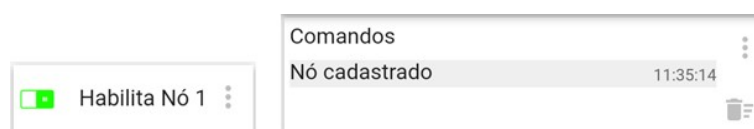
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para finalizar este teste, foi verificada a distância na qual a comunicação se perdia. Esta distância foi de 840 metros com diversos obstáculos entre o *gateway* e o nó. Verifica-se que a distância máxima na qual houve comunicação não passou de um quilômetro em área urbana. Isto pode ter acontecido devido a uma qualidade ruim dos componentes utilizados para as transmissões de dados, porém para o estudo de caso proposto em uma empresa de pequeno porte, a distância de 500 metros já está adequada.

6.2 Testes Funcionais

Após os testes preliminares foram realizados os testes em bancada com os equipamentos já programados e montados, de modo a verificar as funcionalidades implementadas. Para isto, primeiramente foram conectados ao nó, dois sensores indutivos aos canais 1 e 2, e um sensor óptico ao canal 3, sendo também conectado o módulo leitor de teclado ao canal de comunicação. A primeira funcionalidade testada foi o cadastro de um nó no *gateway*. Nesta, é utilizado um botão de dois estados sendo que o comando é confirmado através da janela de comandos de acordo com a Figura 65.

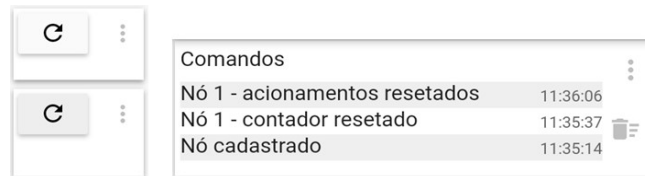
Figura 65 - Teste de cadastro de nó



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida foi efetuado um *reset* dos acionamentos e contadores através de dois botões, conforme Figura 66.

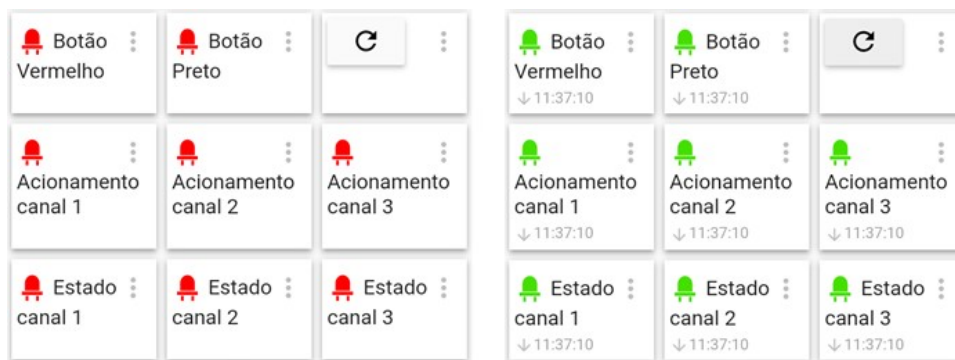
Figura 66 - Teste de *reset* de acionamentos e contadores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram criados indicadores de acionamentos e estados atuais para cada canal e para cada botão do nó. Todos foram acionados juntos como mostrado na Figura 67.

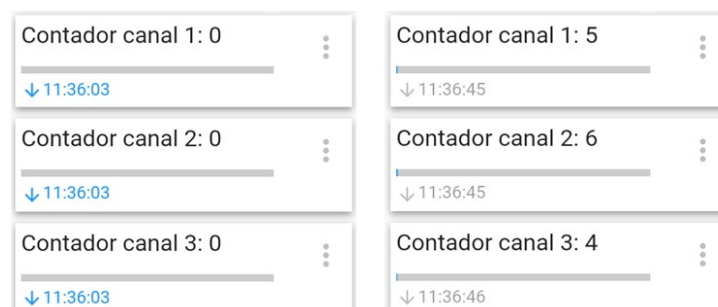
Figura 67 - Teste de funcionamento de acionamentos e estados atuais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sensores foram acionados algumas vezes de acordo com a Figura 68, para verificar a funcionalidade dos contadores de produção. Estes mantêm seus valores mesmo em falta de energia.

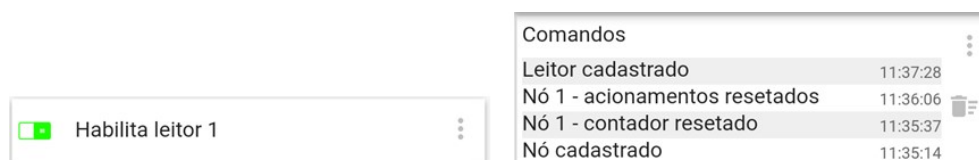
Figura 68 - Teste dos contadores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida foi realizado o cadastro do módulo leitor do nó, conforme a Figura 69, lembrando que o módulo que já estava conectado é o leitor de teclado.

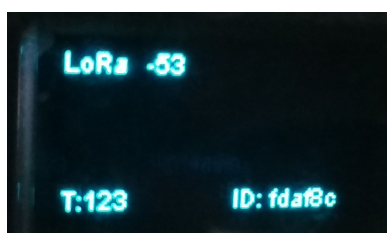
Figura 69 - Teste de cadastro de módulo leitor



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para verificar o funcionamento do módulo leitor, foi digitado o valor “123” no teclado e pressionada a tecla de cerquilha (#) para que fosse possível visualizar no *display* do nó se o número digitado estava correto antes de ser enviado, como apresentado na Figura 70.

Figura 70 - Teste de verificação de número digitado no teclado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao confirmar o número corretamente, foi pressionada a tecla “A” do teclado para efetuar o envio da mensagem ao *gateway*, sendo possível verificar o valor enviado tanto no *display* do nó quanto na aplicação, conforme a Figura 71.

Figura 71 - Teste de envio de valor digitado no teclado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi verificada a funcionalidade do módulo leitor RFID, de modo que o leitor de teclado foi desconectado do nó para que fosse conectado o leitor RFID.

Contudo, ao desconectar o módulo leitor com o mesmo estando cadastrado, é possível verificar que é gerado o alarme de leitor desconectado, conforme a Figura 72.

Figura 72 - Teste de módulo leitor desconectado

Alarmes	
Leitor Nó 1 não conectado	11:38:16
Leitor Nó 1 não conectado	11:38:15

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já ao conectar o módulo leitor de RFID, aproximando uma *tag* ao mesmo, é possível verificar o UID dela tanto no *display* do nó quanto na aplicação, de acordo com a Figura 73.

Figura 73 - Teste de leitura de *tag* RFID



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando utilizado o módulo leitor RFID, há uma funcionalidade de alarme que quando habilitada, gera um alarme quando o canal 1 detectar um acionamento e dentro de um período de 10 segundos não for aproximada uma *tag* ao leitor. O teste é apresentado na Figura 74.

Figura 74 - Teste de alarme RFID

Habilita alarme RFID 1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Habilita alarme RFID 1

Comandos	
Alarme de RFID cadastrado	11:39:02
Leitor cadastrado	11:37:28
Nó 1 - acionamentos resetados	11:36:06

Alarmes	
Alarme RFID nó 1	11:39:02
Leitor Nó 1 não conectado	11:38:32

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após os testes com os módulos leitores, foram conectados dois sensores de temperatura aos canais 1 e 2 do nó, sendo estes cadastrados através dos botões

habilitadores. É possível verificar através da janela de comando na Figura 75, que os mesmos foram cadastrados. Ambos os sensores leram a temperatura de 26 °C e em seguida ambos foram desconectados, o que gerou alarmes referentes a esta desconexão.

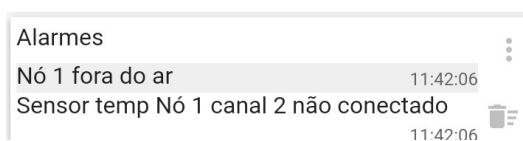
Figura 75 - Teste de sensores de temperatura



Fonte: Elaborado pelo autor.

O próximo teste realizado foi o desligamento do nó. O *gateway* para de receber as respostas via rádio LoRa e gera um alarme informado que o nó está fora do ar, conforme mostrado na Figura 76.

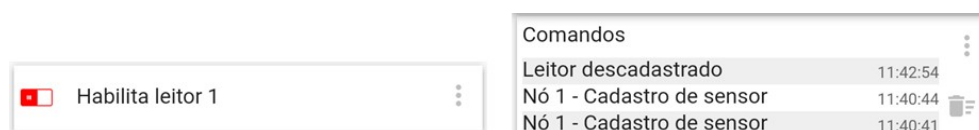
Figura 76 - Teste de desligamento do nó



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após, o nó é ligado novamente e é realizado o descadastro do módulo leitor conforme Figura 77.

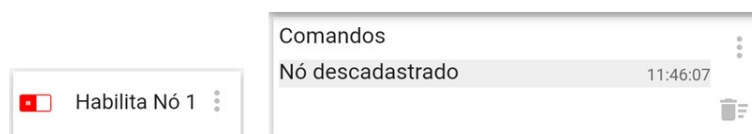
Figura 77 - Teste descadastro do módulo leitor



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, foi realizado o teste de descadastramento do nó em relação ao gateway como mostrado na Figura 78.

Figura 78 - Teste de nó descadastrado

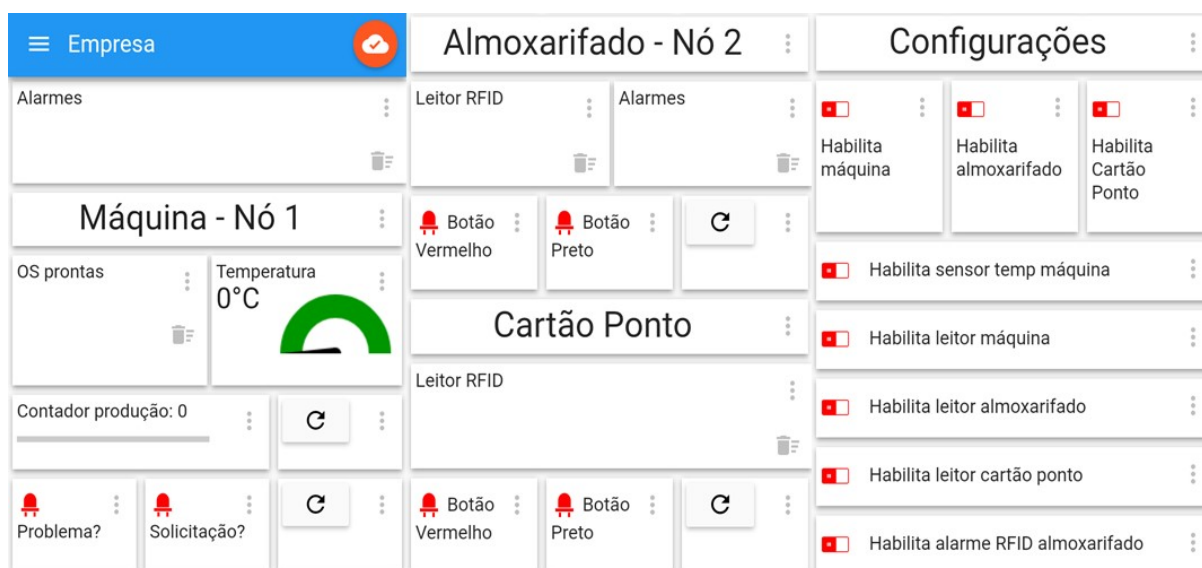


Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 Testes de Interface

O primeiro teste realizado com os usuários foi utilizando o manual disponibilizado para criar uma aplicação adequada para os testes posteriores. Durante este teste, não foram percebidas dificuldades para o entendimento do funcionamento do sistema como um todo, mas sim de como proceder para a criação da aplicação utilizando o aplicativo disponibilizado, juntamente com o protocolo MQTT. Para sanar esta dificuldade, o manual foi alterado, adicionado maiores informações sobre o protocolo utilizado e acrescentando mais imagens com exemplos de como criar a aplicação integrando-a com os dispositivos. Por fim, os usuários conseguiram criar uma aplicação funcional para o sistema conforme Figura 79.

Figura 79 - Aplicação criada pelo usuário



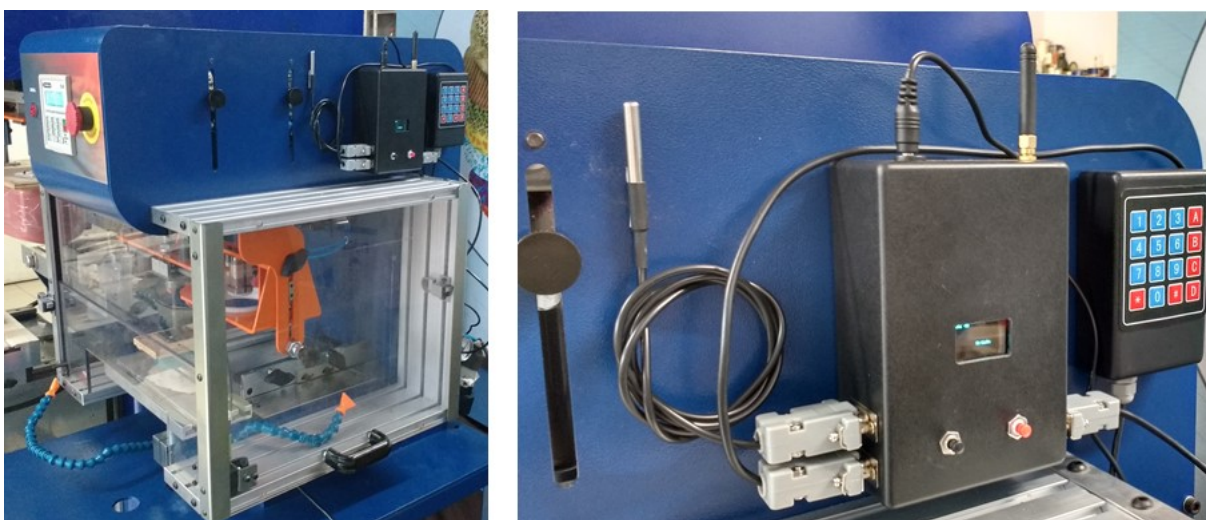
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Testes de Instalação

O teste de instalação também foi realizado pelos usuários seguindo a proposta de monitoramento apresentada na metodologia deste trabalho. Primeiramente foi instalado um nó em uma máquina no setor de amostras da empresa conforme a Figura 80. Neste nó, foram conectados o módulo leitor de teclado, juntamente com um sensor de temperatura e um sensor indutivo.

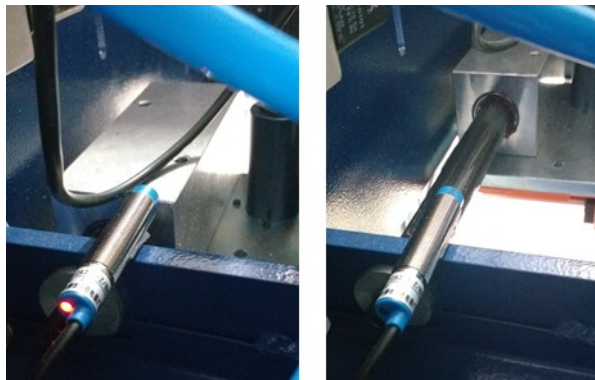
O módulo leitor de teclado foi utilizado para enviar ao aplicativo o número das ordens de serviço concluídas. O sensor de temperatura é importante para o monitoramento da máquina, pois a mesma é uma impressora tampográfica, a qual utiliza tinta em seu processo e é sensível a mudança de temperatura. Já o sensor indutivo foi instalado no interior da máquina, conforme a Figura 81, de modo a fazer a contagem de ciclos da mesma, representando o contador de produção.

Figura 80 - Nó e sensores instalados na máquina



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 81 - Sensor indutivo no interior da máquina



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo nó foi instalado no almoxarifado da empresa, como apresentado na Figura 82. A este foi acoplado o módulo leitor RFID, juntamente com o sensor óptico, o qual monitora a abertura da porta do setor. Assim, ao abrir a porta o usuário deverá aproximar sua *tag* ao leitor evitando que seja gerado um alarme no aplicativo.

Figura 82 - Nó e sensores instalados no almoxarifado



Fonte: Elaborado pelo autor.

O terceiro nó foi instalado na entrada da empresa junto ao relógio ponto, conforme a Figura 83, de modo a verificar a entrada e saída dos usuários.

Figura 83 - Nó e leitor RFID instalados no relógio ponto



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *gateway* foi instalado no escritório da empresa conforme a Figura 84, tendo em vista que é o local que conta com a rede Wi-Fi. Os nós permaneceram entre 10 e 30 metros de distância em relação ao *gateway* instalado no escritório.

Figura 84 - *Gateway* instalado no escritório

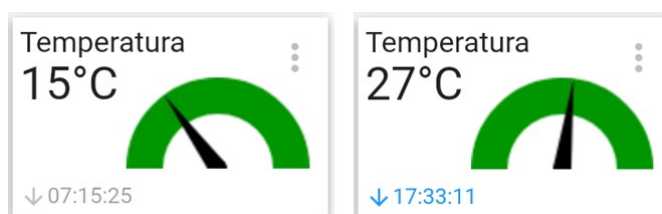


Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5 Testes Operacionais

A empresa disponibilizou cinco dias para a realização dos testes. Durante o primeiro dia foi apresentado o sistema para os usuários, sendo que a aplicação e instalação foi realizada neste mesmo dia. Durante os outros 4 dias, o sistema permaneceu em funcionamento ininterruptamente. Primeiramente foi analisado o funcionamento do nó instalado na máquina no setor de amostras da empresa. Ao longo dos quatro dias foram verificados que os valores de temperatura oscilaram entre cerca de 15 °C pelo início das manhãs e 27 °C durante as tardes, como apresentado na Figura 85, o que mostrou que a máquina deveria estar em um ambiente climatizado, de acordo com os relatos dos usuários.

Figura 85 - Temperaturas pela manhã e tarde



Fonte: Elaborado pelo autor.

As ordens de serviço registradas no aplicativo, mostradas na Figura 86, coincidiram com as registradas na planilha já utilizada no setor, com exceção da ordem de serviço número 12465 na qual o usuário esqueceu de enviar através do aplicativo.

Figura 86 - Ordens de serviço registradas nos quatro dias



Fonte: Elaborado pelo autor

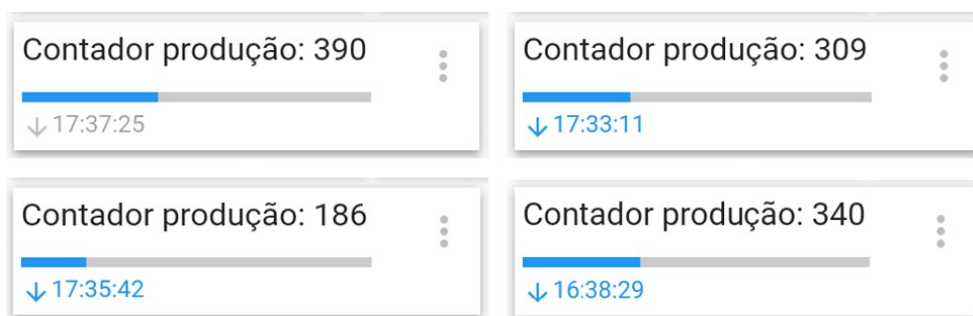
O contador de produção se mostrou eficaz tendo apenas a variação de uma unidade no valor final, o que pode ter ocorrido devido a algum tipo de defasagem entre o método de contagem do contador do controlador da própria máquina e o contador do nó, visto que o mesmo ocorreu durante todos os dias. Esta defasagem é apresentada nas Figuras 87 (contador da máquina) e 88 (contadores registrados). De acordo com os usuários os botões foram utilizados algumas vezes, mas apenas para testar o dispositivo.

Figura 87 - Contador de produção da máquina nos quatro dias



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 88 - Contador de produção registrado nos quatro dias

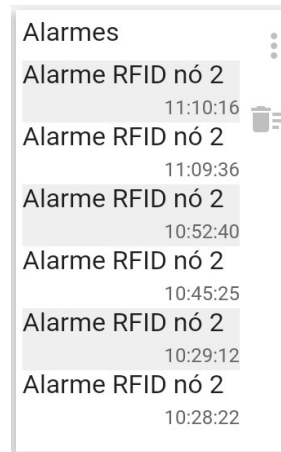


Fonte: Elaborado pelo autor.

O nó instalado no setor de almoxarifado da empresa apresentou diversos alarmes ao longo do primeiro dia, tendo em vista que o usuário apenas aproximava sua *tag* quando entrava no setor. Contudo, do modo que o dispositivo está instalado o usuário deve aproximar a *tag* sempre que a porta é aberta. Já no segundo e no terceiro dia, houveram alguns alarmes pois o usuário esquecia de utilizar o dispositivo. No quarto dia, o usuário utilizou o dispositivo de maneira correta e foram detectados 6 alarmes, conforme a Figura 89, que mais tarde foram verificados sendo devido a 3 momentos em que o gerente da empresa entrou e saiu do setor sem

utilizar uma *tag*. Isto mostra que o sistema funciona para este devido fim quando utilizado adequadamente.

Figura 89 - Alarmes registrados no último dia de testes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, o nó instalado junto ao relógio ponto da empresa teve três usuários o utilizando ao longo dos quatro dias para monitorar a entrada e saída da empresa. A entrada pela manhã se dá as 07:00 e pela tarde as 13:00. A saída pela manhã se dá as 11:30 e a tarde as 17:30 (exceto as sextas feiras que a saída é as 16:30). O sistema funcionou adequadamente. Contudo nos últimos dois dias, o usuário 1 perdeu sua *tag* e a mesma foi trocada. Nas Figuras 90, 91 e 92, são apresentados os cartões ponto dos funcionários que utilizaram o sistema. Já nas Figuras 93 e 94, são apresentados os registros das entradas e saídas dos três usuários ao longo dos dias de testes.

Figura 90 - Cartão ponto do usuário 1

2ª QUINZENA							
H. Norm. DIAS	MANHÃ		TARDE		EXTRA		Horas Extras
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	
16	07:00	11:30	13:00	17:30			
17	07:00	11:30	13:00	17:30			
18	07:00	11:30	13:00	17:30			
19	07:00	11:30	13:00	16:30			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 91 - Cartão ponto do usuário 2

2ª QUINZENA							
H. Norm. DIAS	MANHÃ		TARDE		EXTRA		Horas Extras
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	
16	06:57	11:30	12:59	17:30			
17	06:58	11:30	12:59	17:30			
18	06:59	11:30	12:59	17:30			
19	06:58	11:31	12:58	16:31			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 92 - Cartão ponto do usuário 3

2ª QUINZENA							
H. Norm. DIAS	MANHÃ		TARDE		EXTRA		Horas Extras
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	
16	06:58	11:30	12:59	17:30			
17	06:58	11:30	12:59	17:30			
18	06:59	11:30	12:59	17:30			
19	06:56	11:30	12:57	16:30			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 93 - Registro do cartão ponto dos dias 1 e 2

Cartão Ponto		Cartão Ponto	
Leitor RFID		Leitor RFID	
70187989	17:29:50	70187989	17:29:38
33c62e13	17:29:24	33c62e13	17:29:27
94947889	17:29:13	94947889	17:29:11
94947889	12:59:40	94947889	13:00:26
33c62e13	12:59:24	70187989	13:00:10
70187989	12:59:12	70187989	13:00:08
70187989	11:31:10	33c62e13	12:59:27
94947889	11:31:03	70187989	11:29:48
33c62e13	11:30:11	70187989	11:29:46
70187989	07:01:11	33c62e13	11:29:23
33c62e13	07:01:00	94947889	11:29:14
94947889	07:00:24	70187989	07:00:56
		94947889	06:59:02
		33c62e13	06:58:43

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 94 - Registro do cartão ponto dos dias 3 e 4

Cartão Ponto		Cartão Ponto	
Leitor RFID		Leitor RFID	
33c62e13	17:29:45	94947889	16:30:23
c2109579	17:29:21	c2109579	16:29:43
94947889	17:28:54	33c62e13	16:29:23
94947889	13:00:04	94947889	12:58:48
33c62e13	12:59:36	c2109579	12:58:26
c2109579	12:59:10	33c62e13	12:58:13
94947889	11:30:11	c2109579	11:29:47
33c62e13	11:29:39	33c62e13	11:29:36
c2109579	11:29:09	94947889	11:29:23
c2109579	07:00:28	c2109579	06:59:06
94947889	06:59:52	94947889	06:57:32
33c62e13	06:59:37	33c62e13	06:56:34

Fonte: Elaborado pelo autor.

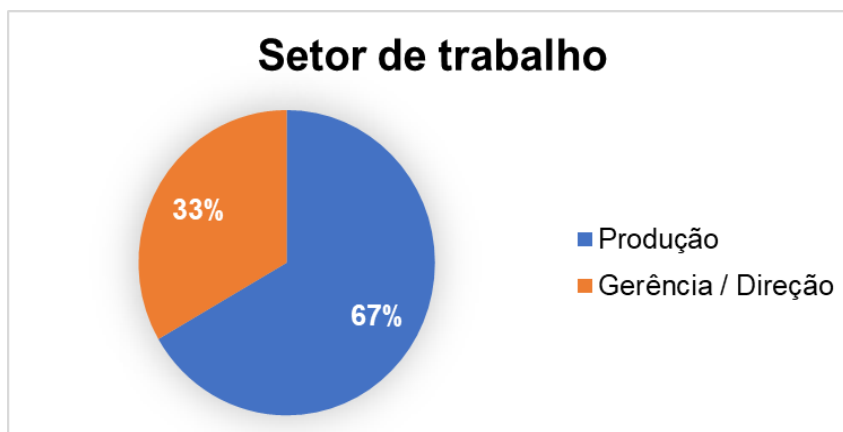
Com este teste foi possível verificar o comportamento do sistema em funcionamento contínuo, obtendo as informações geradas pelos dispositivos e pelos usuários. De modo geral, o sistema se comportou como previsto, tendo um bom funcionamento na parte de leitura dos sensores, assim como dos módulos leitores, porém foram percebidas algumas dificuldades de adaptação ao sistema por parte dos usuários. Outro apontamento que pode ser realizado é de que para o usuário, faltou uma parte para visualização de históricos, embora esta possa fazer parte da aplicação e não necessariamente do sistema.

6.6 Testes de Aceitação

Ao final dos testes em campo, foi realizado um questionário com os seis usuários que utilizaram o sistema durante o período de testes. Este serve para verificar a aceitação do sistema por parte dos usuários, assim como para adquirir opiniões que possam ser relevantes para futuras melhorias do sistema. As respostas são apresentadas em forma de gráficos e se necessário com um quadro para as justificativas das mesmas.

Pergunta 01 – Em qual setor da empresa você trabalha?

Gráfico 1 - Resposta para a pergunta 1 do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor

Pergunta 02 – Você acha importante o monitoramento dos processos industriais? Por quê?

Gráfico 2 - Resposta para a pergunta 2 do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 10 - Justificativa para a pergunta 2 do questionário

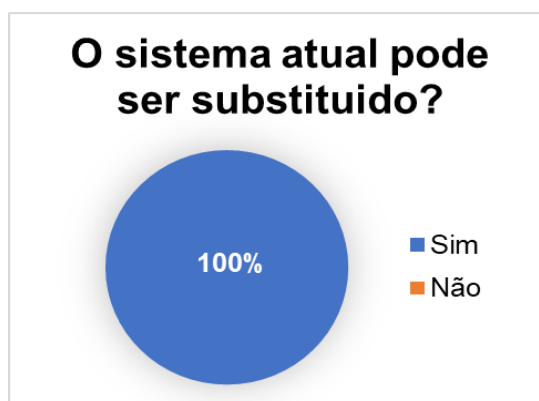
Resposta 1	Sim, pois mostra informações atualizadas, podendo evitar problemas antes que aconteçam, reduzindo custos com retrabalhos.
Resposta 2	Sim, pois ajuda a controlar a empresa mesmo à distância.
Resposta 3	Sim, pois os dispositivos podem agilizar os processos e melhorar a precisão das informações.

Resposta 4	Sim, pois ajuda a economizar gastos e controlar a produtividade.
Resposta 5	Sim, para saber como está o andamento da produção comparando com os dados da gerência.
Resposta 6	Sim, pois é possível monitorar o desempenho de equipamentos e funcionários, de forma que se pode comparar os desempenhos e corrigir possíveis problemas.

Fonte: Elaborado pelo autor

Pergunta 03 – Você acha que o sistema atual de monitoramento poderia ser substituído pelo sistema proposto, sendo este mais eficaz?

Gráfico 3 - Resposta para a pergunta 3 do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor

Pergunta 04 – Você recomendaria a utilização do sistema para outros processos? Quais?

Gráfico 4 - Resposta para a pergunta 4 do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor

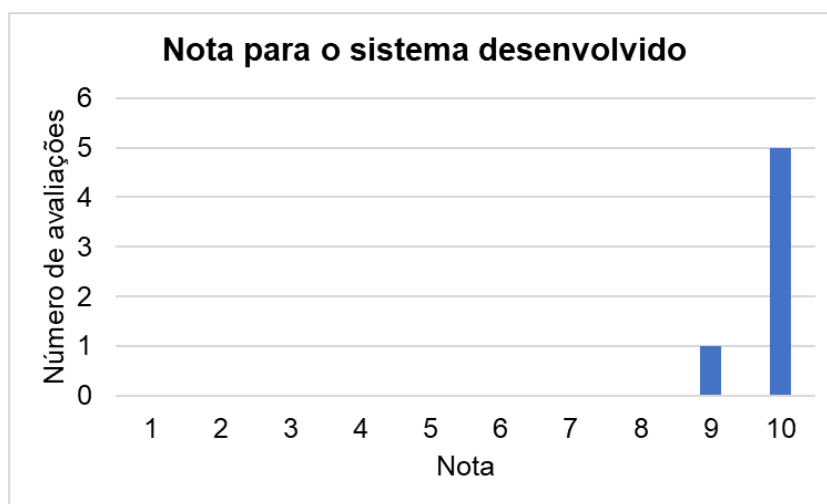
Quadro 11 - Justificativa para a resposta 4 do questionário

Resposta 1	O sistema parece ser bem genérico, então sim, creio que possa ser utilizado em muitos processos diferentes.
Resposta 2	Sim. Poderia ser usado em esteiras, estufas e setor de usinagem.
Resposta 3	Sim. Poderia ser utilizado em diversas áreas diferentes.
Resposta 4	Sim, um exemplo poderia ser até mesmo em hospitais para monitoramento de pacientes.
Resposta 5	Sim. Por exemplo no controle de estoque do almoxarifado.
Resposta 6	Sim, por exemplo na área de manutenções de equipamentos, em supermercados nas câmaras frias para ver em tempo real se há algum problema. Também poderia monitorar o tempo de exposição de pessoas dentro de frigoríficos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Pergunta 05 – Qual nota você daria para o sistema desenvolvido? Considere 0 a pior e 10 a melhor.

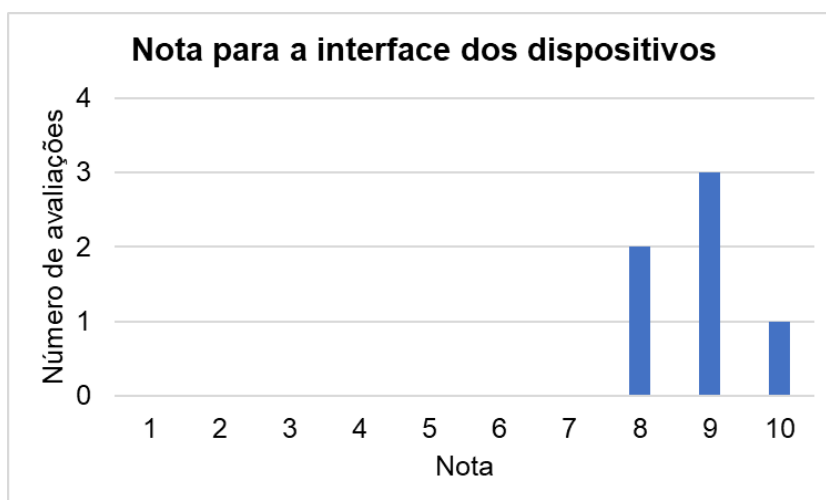
Gráfico 5 - Resposta para a pergunta 5 do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor

Pergunta 06 – Em relação a interface dos dispositivos, qual nota você daria? Por quê? Considere 0 a pior e 10 a melhor.

Gráfico 6 - Resposta para a pergunta 6 do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 12 - Justificativa para a pergunta 6 do questionário

Resposta 1	Mesmo não acontecendo de cair a conexão com a internet durante os testes, se isto acontecesse alguns dados seriam perdidos.
Resposta 2	Ficou muito bom.
Resposta 3	O aplicativo é um pouco lento as vezes.
Resposta 4	O dispositivo pode perder os dados quando a internet fica sem sinal.
Resposta 5	O <i>display</i> poderia ser maior, pois quem tem problemas de visão pode não enxergar muito bem.
Resposta 6	O teclado poderia ser utilizado juntamente com um <i>display touchscreen</i> , embora o preço do equipamento aumente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Pergunta 07 – Você tem sugestões para melhorar o projeto?

Quadro 13 - Resposta para a pergunta 7 do questionário

Resposta 1	Melhorar o sistema para não perder dados, elaborar um aplicativo específico para o projeto e melhorar (diminuir) o tamanho dos dispositivos se for possível, também melhorando o sistema de instalação.
Resposta 2	Poderia implementar mais tipos de sensores.

Resposta 3	Não exatamente. Apenas seguir em frente para tornar o projeto comercial.
Resposta 4	Poderia ser menor e ter um painel para fixação dos dispositivos.
Resposta 5	Os dispositivos poderiam ser mais compactos.
Resposta 6	Sim, poderia ter a opção de uso com baixo consumo para utilizar pilhas.

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao final do teste de aceitação dos usuários, verifica-se através das respostas que o projeto teve uma aceitação considerável por parte dos mesmos. Além de obter uma boa nota no geral, foi verificado que os usuários consideraram o sistema genérico, podendo ser utilizado em várias aplicações. Contudo, também houveram críticas e apontamentos de melhorias para o projeto evoluir.

7 CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido conseguiu atender todos os objetivos para os quais foi criado, como o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de ambientes industriais configurável baseado em Internet das Coisas, assim como o de fomentar o interesse de pequenas e médias empresas no segmento da Indústria 4.0, sendo este requisito verificado através do interesse dos usuários da empresa na qual o sistema foi testado. Em relação aos objetivos específicos, considerando os componentes vistos na metodologia, percebe-se que com a utilização dos mesmos o sistema apresentou um preço acessível juntamente com um bom grau de modularidade ao seguir o sistema proposto.

O projeto elaborado neste trabalho pode proporcionar todas as vantagens que a Internet das Coisas fornece as grandes empresas que já utilizam este tipo de sistema para gerar suas estatísticas, assim como prever problemas e evitar gastos desnecessários. Porém, tudo isto aliado a um sistema simples, genérico, modular e com um preço atrativo, de forma a fomentar estas tecnologias nas empresas de pequeno e médio porte que ainda não as tenham implementado.

Através dos testes de relação entre distâncias e perda de dados, foi possível verificar que se faz necessária a melhoria do sistema de transmissão de dados através de componentes melhores e um sistema de confirmação de mensagens enviadas. Já no teste de aceitação, no qual os usuários que testaram o sistema responderam um questionário referente ao projeto, foi possível verificar algumas sugestões de melhorias do sistema como um todo, tais quais:

- A implementação de uma memória capaz de armazenar os dados adquiridos enquanto o *gateway* estiver sem conexão com rede Wi-Fi ou com o *broker* MQTT;
- A implementação de um aplicativo dedicado para o sistema;
- Efetuar melhorias nos componentes utilizados para interface, como o teclado que é de baixa qualidade e o aumentar o *display* para visualização das informações;
- Reduzir o tamanho dos dispositivos e melhorar o método de instalação física dos mesmos;
- A implementação do uso com baixo consumo de energia para utilizar o sistema com baterias no lugar da fonte de alimentação.

Por fim, como proposta para trabalhos futuros, poderia ser elaborado um sistema de hardware genérico e modular para implementar o sistema proposto em sua forma comercial, além de complementá-lo com novas funcionalidades. Também poderiam ser aplicadas outras formas de comunicação entre os dispositivos, de forma a explorar novas possibilidades para o sistema desenvolvido, além de criar um banco de dados juntamente com uma aplicação específica.

REFERÊNCIAS

ANATEL. Legislação: Agência Nacional de Telecomunicação. **Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017**, 2017. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>>. Acesso em: 18 Abr. 2018.

ARDUINO. **Site do fabricante**, 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

ASHTON, K. That 'Internet of Things' thing. **RFID Journal**, 22 Jun. 2009. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986>>. Acesso em: 02 Mai. 2018.

ATZORI, L.; LERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A Survey. **Computer Networks**, 54, 28 Out. 2010. 2787-2805. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>>. Acesso em: 02 Mai. 2018.

BISHOP, R. H. **The Mechatronic Handbook**. 2. ed. Austin: CRC Press, 2008.

CLOUDMQTT. **Hosted message broker for the Internet of Things**, 2018. Disponível em: <<https://www.cloudmqtt.com/>>. Acesso em: 20 Outubro 2018.

COMER, D. E. **Redes de Computadores e Internet**. Tradução de José Valdeni de Lima e Valter Roesler. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

CORREA, R. P. D. S. et al. **Simulação de Aplicações Utilizando o Protocolo de Comunicação MQTT com Aplicações em Ambientes Industriais**. Uberlândia: [s.n.]. 2016. p. 6.

CRISTO, F. D.; PERLIN, T.; FRANCISCATTO, R. **Redes de Computadores**. Frederico Westphalen: e-Tec Brasil, 2014.

CROTTI, Y. **Avaliação de Desempenho de protocolos de Transmissão para Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas à Agricultura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação) - UFSC. Araranguá. 2017.

DIAS, R. R. D. F. **Internet das Coisas Sem Mistérios: Uma Nova Inteligência para os Negócios**. São Paulo: Netpress Books, 2016.

DORSEMAINE, B. et al. Internet of Things: A Definition & Taxonomy. **IEEE**, Paris, 7 Janeiro 2016. 6. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7373221/>>. Acesso em: 02 Mai. 2018.

DUTTA, P.; DUNKELS, A. Operating systems and network protocols for wireless sensor networks. **The Royal Society**, Nov. 2011.

E-GIZMO MECHATRONIX CENTRAL. E18-D80NK Long Range Adjustable IR Sensor. **e-Gizmo Mechatronix Central**, 2016. Disponível em: <<http://e-gizmo.net/oc/kits%20documents/E18-D80NK%20Long%20range%20adjustable%20IR%20sensor/E18-D80NK%20Long%20range%20adjustable%20IR%20sensor.pdf>>. Acesso em: 12 Outubro 2018.

FELIPEFLOP. **Loja Virtual FELIPEFLOP**, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/>>. Acesso em: 31 Mai. 2018.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0: The Industrial Internet of Things**. Bangken: Apress, 2016.

GREENGARD, S. **The Internet of Things**. [S.I.]: MIT Press, 2015.

HELTEC AUTOMATION. **Site do Fabricante**, 2018. Disponível em: <<http://www.heltec.cn/?lang=en>>. Acesso em: 31 Mai. 2018.

HERRERA, B. 5 PASSOS PARA ESCOLHER A TECNOLOGIA IDEAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE IOT. **Fundação CERTI**, 2017. Disponível em: <<http://insights.certi.org.br/desenvolvimento-de-iot/>>. Acesso em: 23 Abr. 2018.

IEEE. What Are standarts? **IEEE Standart Association**, 2018. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/develop/overview.html>>. Acesso em: 15 Abr. 2018.

IEEE COMPUTER SOCIETY. **IEEE Standard for Ethernet**. Nova Iorque: IEEE Standards Association, 2015. 1 - 4017 p.

IEEE P2413 WORKING GROUP. Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT). **IEEE Standards Association**, p. 1 - 3, 2015. Disponível em: <<http://grouper.ieee.org/groups/2413/>>. Acesso em: 19 Abr. 2018.

ITEAD. **Sonoff Smart Home**, 2018. Disponível em: <<http://sonoff.itead.cc/en/>>. Acesso em: 10 Mai. 2018.

LORA ALLIANCE. LoRaWAN What is it?: A technical overview of LoRa and LoRaWAN. **LoRa Alliance Technical Marketing Workgroup**, p. 1 - 20, Nov. 2015.

MACKAY, S. et al. **Practical Industrial Data Networks: Design, Instalation and Troubleshooting**. [S.I.]: Elsevier, 2004.

MEOLA, A. What is the Internet of Things (IoT)? **Business Insider**, 19 Dez. 2016. Disponível em: <<http://www.businessinsider.com/what-is-the-internet-of-things-definition-2016-8>>. Acesso em: 10 Abr. 2018.

RABUSKE, M. H. B. **Estudo do Protocolo Lorawan e Implementação de uma Rede Privada com Nós Distribuídos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação) - UFSM. Santa Maria. 2017.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC) - Minicursos**, Belo Horizonte, 2016. 50.

SIGMAIS. **Sigmais Iot Company**, 2018. Disponível em: <<http://www.sigmais.com.br/>>. Acesso em: 10 Mai. 2018.

SNR ELECTRONICS. **SNR Electronics Blog**, 2018. Disponível em: <<http://www.snrelectronicsblog.com/iot/iot-mqtt-panel-user-guide/>>. Acesso em: 15 Outubro 2018.

TIETZ, F. **Desenvolvimento de um Gateway de Internet das Coisas para Automação industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - USP. São Carlos. 2017.

APÊNDICE A – MANUAL DE USUÁRIO DO SISTEMA

MANUAL DE USUÁRIO



Idioma: Português

Data: 09/2018

Documento: 002

INFORMAÇÕES GERAIS

Sobre o Manual

Este manual visa introduzir o usuário aos termos técnicos utilizados, assim como apresentar os processos de instalação, configuração, funcionamento e principais características dos dispositivos e módulos, além de identificar possíveis problemas e causas dos mesmos. É importante que seja realizada a leitura completa deste manual para um bom entendimento de funcionamento geral dos dispositivos, para que assim sejam sanadas as dúvidas em relação aos aspectos citados anteriormente.

Termos Técnicos

Gateway: O *gateway* é o módulo central do sistema. Ele pode ser visto como uma ponte de passagem, na qual os dados recebidos dos sensores e outros módulos são recebidos e transmitidos para a internet. Ele faz a conexão entre a comunicação via rádio LoRa (através de um protocolo proprietário) e Wi-Fi (através do protocolo MQTT), enviando e recebendo os dados do *broker*.

Nó: É o módulo que realiza a leitura dos sensores e de outros módulos conectados ao mesmo e envia os dados para o *gateway*. Basicamente é o módulo coletor de dados.

Rádio LoRa: O rádio LoRa é um tipo de rádio que utiliza uma comunicação na faixa de 915 MHz, podendo alcançar grandes distâncias com um baixo consumo de energia. É utilizado na comunicação entre os nós e o *gateway*.

Broker: O *broker* é o elemento que efetua o gerenciamento das publicações e assinaturas do protocolo MQTT. Ele pode ser visto como um mediador que controla de onde vem as mensagens e para onde elas vão.

Protocolo MQTT: O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), é um protocolo leve para troca de mensagens em sistemas de Internet das Coisas (IoT), sendo baseado em protocolos tradicionais como o TCP/IP. O protocolo funciona através de publicações e assinaturas, ou seja, um módulo pode publicar uma mensagem em um *broker* e este irá encaminhar esta mensagem para os módulos que assinaram para receber esta determinada mensagem. Para poder identificar as mensagens, são utilizados os tópicos, que são cabeçalhos leves que identificam elas. Para mais informações do protocolo acesse: <http://mqtt.org/>.

Tópicos MQTT: Os tópicos MQTT são utilizados para identificar as mensagens que são enviadas e recebidas do *broker*. Ele pode ter vários níveis separados por caracteres de barra “/”, como por exemplo: *gateway3/nó1/canal2*. Neste caso quem assinar este tópico receberá apenas os dados do canal 2 do nó 1 do *gateway* 3. O mesmo vale para a publicação.

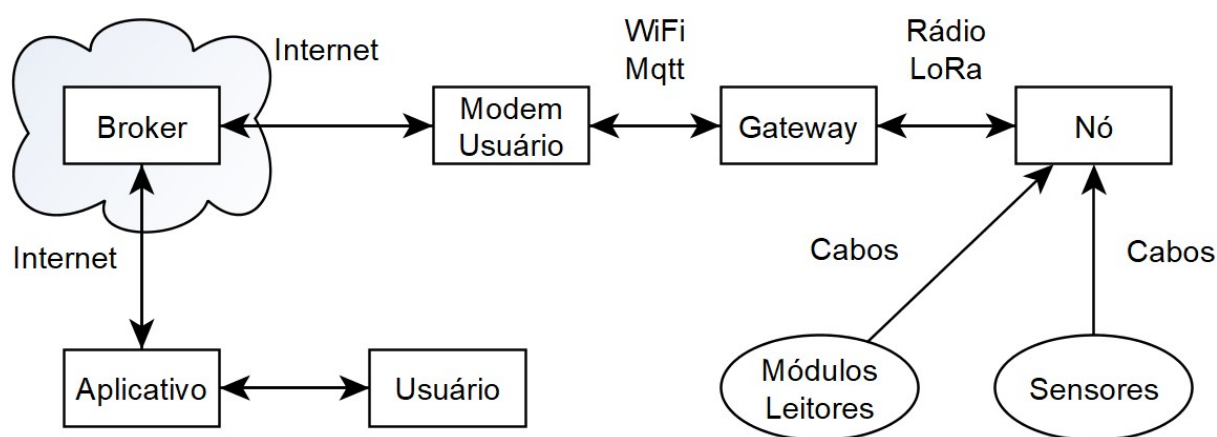
Comandos: Os comandos são constituídos por tópicos e mensagens especificadas posteriormente neste manual.

Instâncias: As instâncias são janelas criadas e configuradas no aplicativo para que seja possível visualizar os dados recebidos assim como enviar os devidos comandos para os módulos.

VISÃO GERAL

O sistema de modo geral pode ser visto como um coletor de dados de fácil implementação, elaborado para que desenvolvedores possam utilizá-lo em suas aplicações ou até mesmo usuários finais, visto que é de simples utilização.

O funcionamento se dá através de um módulo (nó) que efetua a leitura de sensores e leitores e envia para um outro módulo (*gateway*) através de uma comunicação via Rádio. Este *gateway* repassa as mensagens para a Internet através de uma rede Wi-Fi do usuário. Estes dados são publicados em um *broker* na “nuvem” e em seguida enviados para um aplicativo.



INSTALAÇÃO

Conhecendo os Dispositivos

Gateway

O *gateway* é o módulo central do sistema. Para o ligar basta conectar a fonte na tomada e em seguida conectar ao módulo através do conector ao lado da antena (O módulo nunca deve ser ligado sem que a antena esteja conectada). No módulo é possível verificar o conector da fonte, conector da antena e *display*. Ao ligar, será possível verificar que no *display* irá aparecer no canto inferior direito a identificação do mesmo (o ID). Esta identificação servirá posteriormente para configurar as instâncias do protocolo.



No *display* é possível verificar o sinal da rede Wi-Fi (se estiver conectado irá aparecer o sinal de +), verificar a conexão com o *broker* MQTT (se conectado, aparecerá o sinal de +), verificar se o *gateway* está em modo de funcionamento normal (Normal) ou em modo de configuração (Config). Na parte de baixo é possível verificar o nível de sinal e o respectivo módulo de nó do sinal.



Nó

O nó é o módulo que faz a leitura dos sensores e envia para o módulo *gateway*. Para ligar basta conectar a fonte na tomada e em seguida conectar ao módulo através do conector ao lado da antena (O módulo nunca deve ser ligado sem que a antena esteja conectada). No módulo é possível verificar o conector da fonte, conector da antena, *display*, além de 3 canais para sensores e 1 canal para módulos leitores. Ao ligar, será possível verificar que no *display* irá aparecer no canto inferior direito a identificação do mesmo (o ID). Esta identificação servirá posteriormente para configurar as instâncias do protocolo.



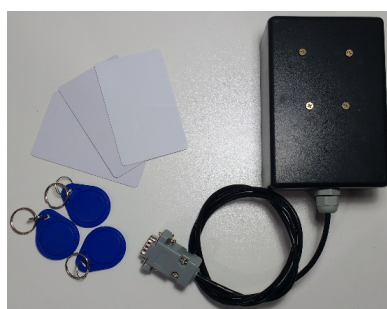
Leitor de Teclado

O módulo leitor de teclado serve para efetuar a leitura de códigos ou valores. Ele deve ser conectado ao módulo de nó através do canal especificado para módulos leitores. Ao digitar um número no teclado deve-se pressionar a tecla “#” para mostrar o número no *display* do nó e irá ser exibida a mensagem “T+número”. Em seguida se for verificado que o número está correto pressione a tecla “A” para enviar. Será exibida a mensagem “E+número” que foi enviado para o *gateway*. Para apagar o número atual e começar a digitar um novo, basta pressionar a tecla “*”.



Leitor RFID

O módulo leitor RFID serve para efetuar leituras de *tags* (cartões, etiquetas, entre outros). Com isto, é possível identificar pessoas ou processos que estão sendo realizados. Ele deve ser conectado ao nó através do canal especificado para módulos leitores. Ao aproximar uma *tag* ao leitor, a identificação da mesma irá aparecer no *display* do nó e irá ser enviada para o *gateway*.



Sensor Indutivo

O sensor indutivo é utilizado para efetuar leituras de objetos metálicos por proximidade. Ele detecta os objetos a uma distância de até 4 mm. Pode ser conectado nos canais 1, 2 ou 3 nos módulos de nó. Antes de conectá-lo verifique se o canal não está configurado para sensor de temperatura.



Sensor Óptico

O sensor óptico é utilizado para efetuar leituras de objetos através da reflexão do feixe de luz em uma distância entre 3 a 80 cm. A distância pode ser regulada através de um parafuso na parte de trás do mesmo. Ele pode ser conectado nos canais 1, 2 ou 3 nos módulos de nó. Antes de conectá-lo verifique se o canal não está configurado para sensor de temperatura.



Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura efetua leituras de temperatura em um ambiente ou objetos. O mesmo é impermeável e efetua leituras de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ com precisão de cerca de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ele pode ser conectado nos canais 1, 2 ou 3 nos módulos de nó. Antes de conectá-lo verifique se o canal está configurado para sensor de temperatura.



Fonte de Tensão

Para ligar os módulos deve ser utilizada uma fonte de 12 V com capacidade de fornecer no mínimo 1 A. O conector utilizado é o modelo *jack* P4.

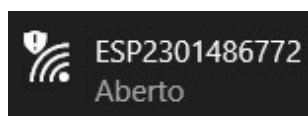


Configuração do Gateway

A configuração do *gateway* é o primeiro passo para o funcionamento do sistema. Pressione o botão de configuração e ligue o dispositivo na fonte de tensão. Através do *display* verifique se o mesmo está em modo de configuração (Config).



Se estiver, abra as conexões de redes Wi-Fi e verifique que uma nova rede foi criada com o nome “ESP+números”.



Conecte nesta rede, abrindo em seguida o navegador e digite o endereço 192.168.4.1. A seguinte tela irá aparecer:

ESP2301486772

WiFiManager

Configure WiFi

Configure WiFi (No Scan)

Clique em “*Configure WiFi (No Scan)*” e outra tela irá abrir. Nesta tela, no primeiro campo digite o nome da rede Wi-Fi. No segundo, digite a senha. No terceiro, digite o servidor MQTT. No quarto, digite o número da porta de acesso do servidor MQTT. No quinto, digite o usuário do servidor MQTT. No sexto, digite a senha do servidor MQTT.

SSID
password
m10.cloudmqtt.com
11576
yztnwxte
V_m3hfZ7jWNA

[save](#)

[Scan](#)

Ao final clique em “*save*” e aguarde cerca de dois minutos para o módulo conectar (estes dados ficam salvos na memória do *gateway*). Se os dados informados estiverem corretos o *display* indicará a correta conexão.

Códigos e Comandos MQTT

O códigos e comandos do sistema são os tópicos MQTT. Quando um tópico de recebimento for configurado, serão recebidas as mensagens referentes ao tópico. Já se for configurado um tópico de comando, as mensagens serão enviadas através do aplicativo para sistema. Abaixo segue a tabela de códigos e comandos:

Primeiramente segue o quadro de tópicos publicados pelo *gateway*:

Tópico	Mensagem	Especificação
ID nó/temperatura/canal1	Temperatura em °C	Publica temperatura do canal 1 do nó especificado
ID nó/temperatura/canal2	Temperatura em °C	Publica temperatura do canal 2 do nó especificado

ID nó/temperatura/canal3	Temperatura em °C	Publica temperatura do canal 3 do nó especificado
ID nó/contador/canal1	Valor do contador	Publica contador do canal 1 do nó especificado
ID nó/contador/canal2	Valor do contador	Publica contador do canal 2 do nó especificado
ID nó/contador/canal3	Valor do contador	Publica contador do canal 3 do nó especificado
ID nó/acionamento/canal1	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do canal 1 do nó especificado
ID nó/acionamento/canal2	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do canal 2 do nó especificado
ID nó/acionamento/canal3	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do canal 3 do nó especificado
ID nó/acionamento/btvm	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do botão vermelho do nó especificado
ID nó/acionamento/btpt	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do botão preto do nó especificado
ID nó/estado/canal1	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica estado atual do canal 1 do nó especificado
ID nó/estado/canal2	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica estado atual do canal 2 do nó especificado
ID nó/estado/canal3	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica estado atual do canal 3 do nó especificado
ID nó/rfid	Valor UID da <i>tag</i> em hexadecimal	Publica UID da <i>tag</i> RFID aproximada ao leitor do nó especificado
ID nó/teclado	Valor digitado no teclado	Publica valor digitado no leitor do nó especificado
ID nó/cadastro/nodeX	“1” se o nó foi cadastrado “0” se o nó foi	Publica se o comando enviado para cadastro de

	descadastrado	nó na posição "X" foi executado.
ID nó/temphab/canal1	"1" se o sensor foi cadastrado "0" se o sensor foi descadastrado	Publica resposta ao comando para configurar o canal 1 como leitor de sensor de temperatura.
ID nó/temphab/canal2	"1" se o sensor foi cadastrado "0" se o sensor foi descadastrado	Publica resposta ao comando para configurar o canal 2 como leitor de sensor de temperatura.
ID nó/temphab/canal3	"1" se o sensor foi cadastrado "0" se o sensor foi descadastrado	Publica resposta ao comando para configurar o canal 3 como leitor de sensor de temperatura.

Em seguida, o quadro com os tópicos para publicar comandos ao *gateway*:

Tópico	Mensagem	Especificação
ID <i>gateway</i> /ID nó/cad/X	"0" descadastra o nó "1" cadastra o nó	Cadastra o nó especificado na posição "X". O ID do nó é cadastrado no <i>gateway</i> com o valor "X".
ID <i>gateway</i> /ID nó/lei	"0" desabilita leitor do nó "1" habilita leitor do nó	Configura um nó para ler ou não o canal de leitores
ID <i>gateway</i> /ID nó/arf	"0" desabilita alarme RFID "1" habilita alarme RFID	Configura o nó para função de alarme de RFID através de um sensor no canal 1 deste nó.
ID <i>gateway</i> /ID nó/tem/1	"0" desabilita sensor de temperatura "1" habilita sensor de temperatura	Configura o canal 1 do nó especificado para ler sensor de temperatura
ID <i>gateway</i> /ID nó/tem/2	"0" desabilita sensor de	Configura o canal 2 do nó

	temperatura "1" habilita sensor de temperatura	especificado para ler sensor de temperatura
ID <i>gateway</i> /ID nó/tem/3	"0" desabilita sensor de temperatura "1" habilita sensor de temperatura	Configura o canal 3 do nó especificado para ler sensor de temperatura
ID <i>gateway</i> /ID nó/rst	"contador"	Efetua um <i>reset</i> no valor dos contadores do nó especificado
ID <i>gateway</i> /ID nó/ren	"tudo"	Efetua um <i>reset</i> nos acionamentos dos canais e botões do nó especificado

Por fim um quadro de tópicos para assinar a verificação de comandos executados e alarmes. Com estes tópicos é possível verificar as mensagens quando um comando é executado ou verificar as mensagens de alarmes ocorridos:

Tópico	Mensagem	Especificação
comando	Nó "X" – acionamentos resetados	Responde ao comando de reset de acionamentos
comando	Nó cadastrado	Responde ao comando de cadastro de nó
comando	Nó descadastrado	Responde ao comando de descadastro de nó
comando	Leitor cadastrado	Responde ao comando de cadastro de leitor em um canal de um nó
comando	Leitor descadastrado	Responde ao comando de descadastro de leitor em um canal de um nó
comando	Alarme RFID cadastrado	Responde ao comando para acionar o alarme RFID
comando	Alarme RFID	Responde ao comando para

	descadastrado	desacionar o alarme RFID
comando	Nó "X" – cadastro de sensor	Responde ao comando para cadastrar um sensor de temperatura em um canal de um nó
comando	Nó "X" – contador resetado	Responde ao comando para resetar os contadores de um nó
alarme	Alarme RFID nó "X"	Ocorreu um alarme de leitura RFID
alarme	Sensor temp Nó "X" canal "1, 2 ou 3"	Ocorreu um alarme de um sensor de temperatura em um canal cadastrado não estar funcionando
alarme	Leitor Nó "X" não conectado	Leitor com mau funcionamento em um determinado nó
alarme	Nó "X" fora do ar	Alarme para quando ocorre um <i>timeout</i> na comunicação com o nó especificado

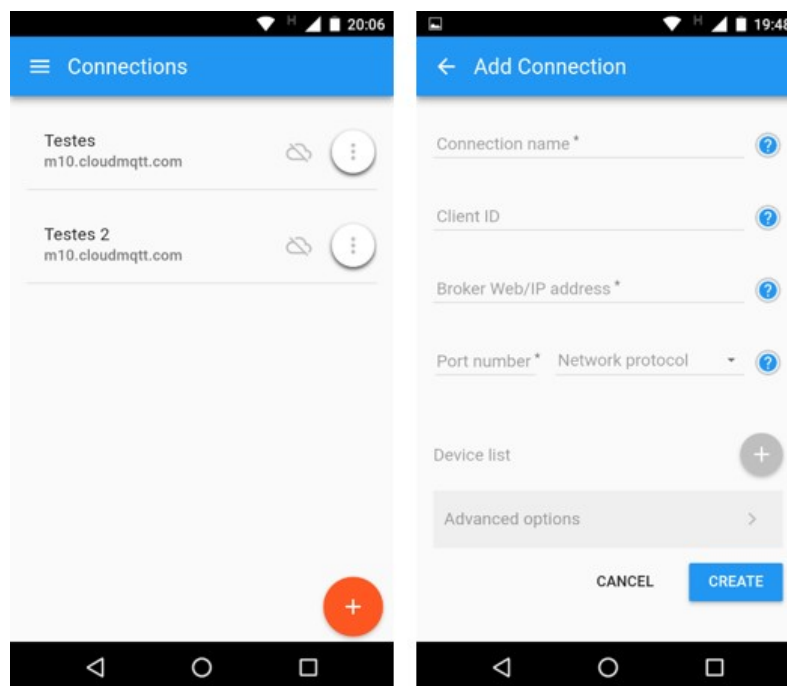
Configuração de Software

Conhecendo o Aplicativo

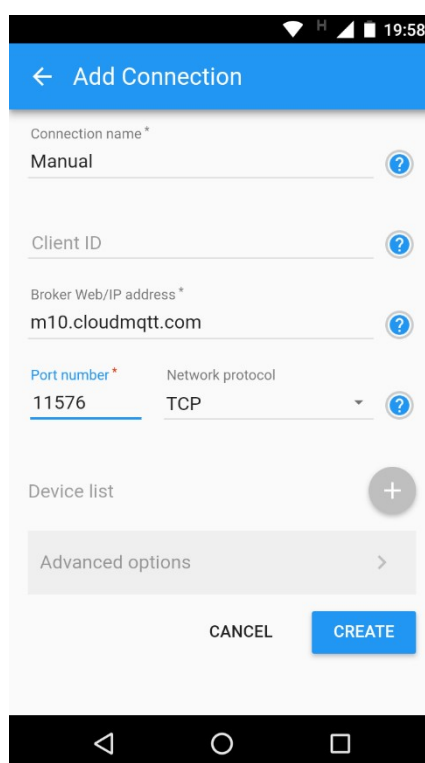
O aplicativo utilizado é o IoT MQTT *Panel* criado por *Rahul Kundu* e pode ser adquirido gratuitamente. Ele permite gerenciar e exibir mensagens através do protocolo MQTT. Com ele é possível criar instâncias (painéis) de botões, contadores, medidores, indicadores, entre outros. Para maiores informações: <http://www.snrelectronicsblog.com/iot/iot-mqtt-panel-user-guide/>.

Criando Aplicação

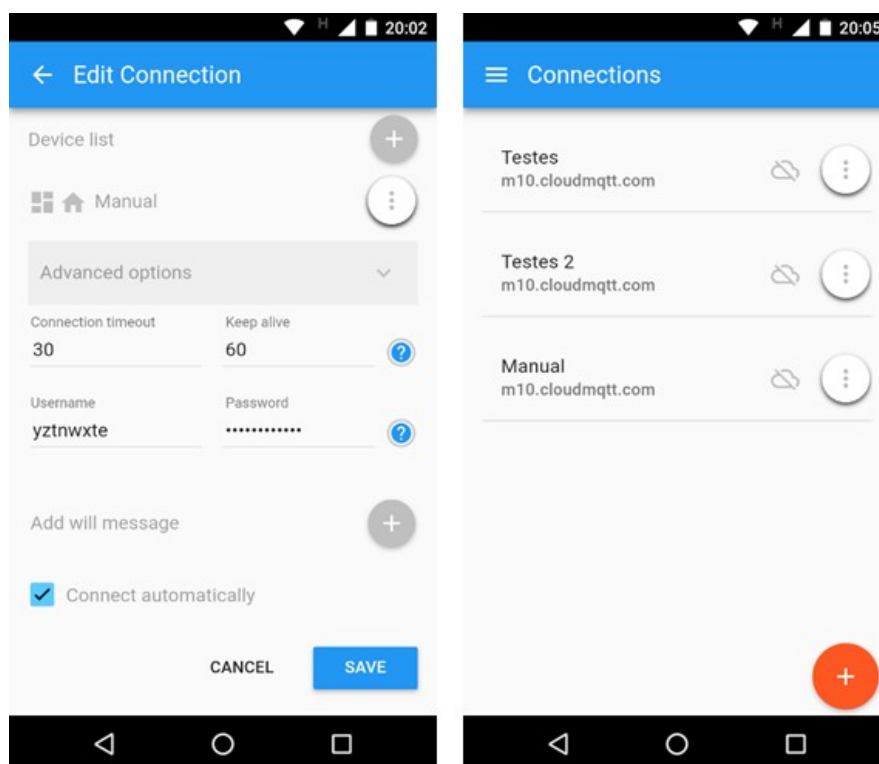
Ao abrir o aplicativo pressione a tecla "+" no canto inferior direito e uma nova tela abrirá.



No campo “*Connection name*”, digite um nome amigável para sua aplicação. No campo “*Broker Web/IP address*”, digite o endereço da página do *broker* utilizado. No campo “*Port Number*”, digite a porta utilizada no *broker*. No campo “*Network protocol*”, selecione a opção TCP. A tela deverá estar da seguinte forma:

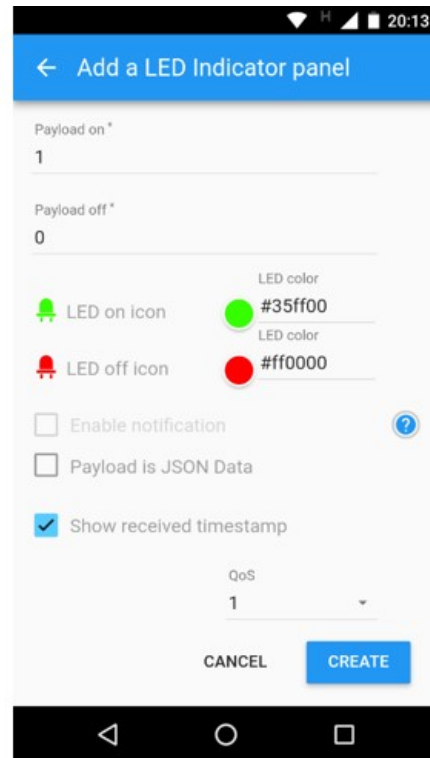
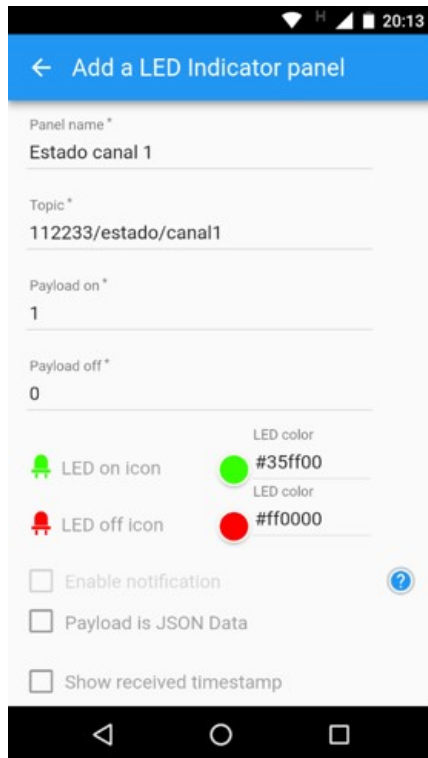
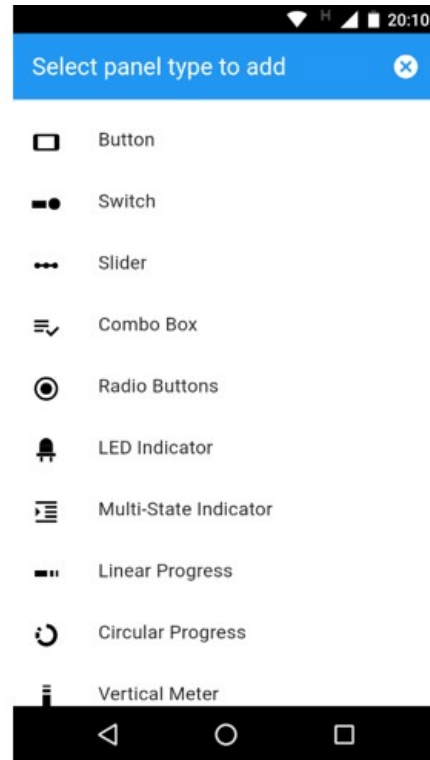
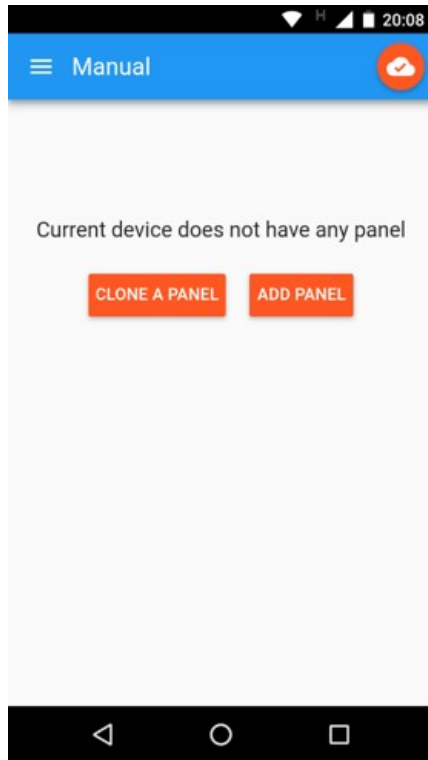


Mais abaixo, no campo “*Device list*” pressione a tecla “+” e de um nome para a aplicação. Em seguida, clique em “*Advanced options*” e no campo “*Username*”, digite o usuário do *broker* assim como no campo “*Password*” digite a senha do *broker*. Por fim, selecione a opção “*Connect Automatically*” e “*CREATE*”.

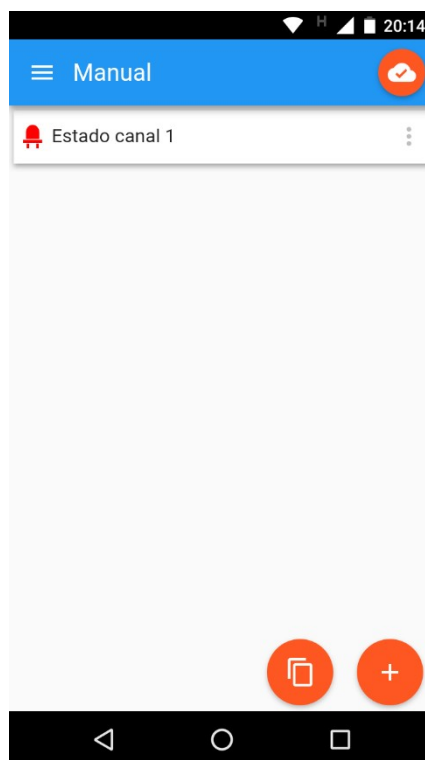


Criando Instâncias

Após criada e aberta a aplicação, clique no botão “+” no canto inferior direito do aplicativo e escolha a instância desejada (caso seja a primeira instância, clique em “*ADD PANEL*” na tela inicial). Durante a criação coloque o tópico desejado no campo “*Tópico*” e a mensagens nos campos respectivos. Dependendo da instância selecionada o modo de configuração de mensagens pode ser diferente. Abaixo seguem as imagens da escolha de um indicador LED configurando os campos de acordo com os tópicos desejados. Melhores detalhes podem ser vistos no exemplo de aplicação.



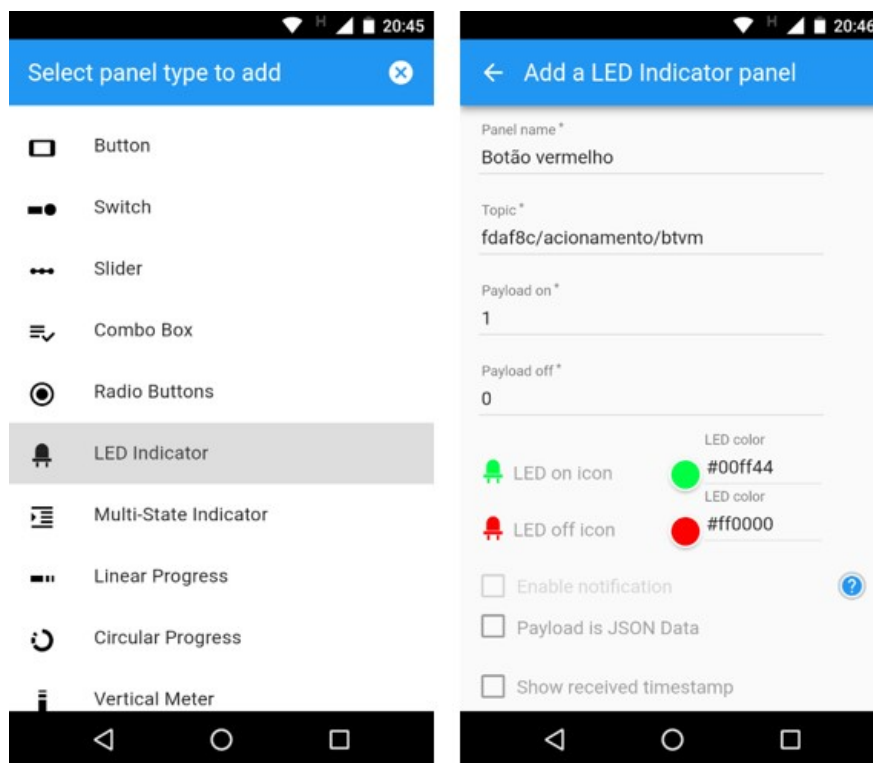
Após configurado o indicador, o mesmo deverá aparecer da seguinte forma na aplicação:



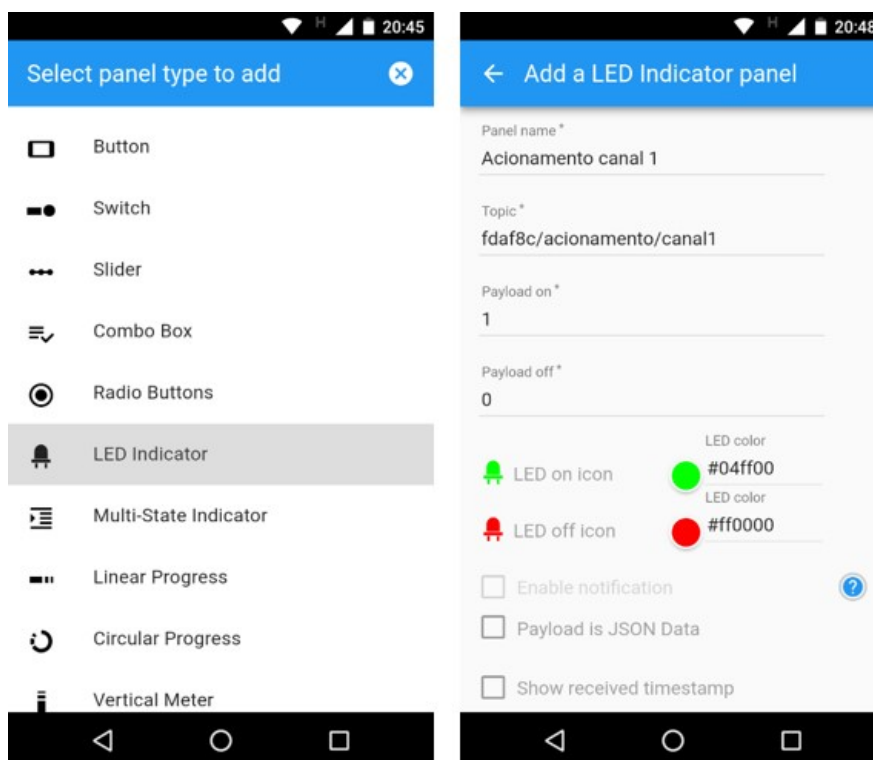
EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Como exemplo será utilizado um módulo *gateway* com ID: a5fe89, e um módulo nó com ID: fdaf8c. Serão realizadas as leituras de acionamento do botão vermelho do nó e do sensor conectado ao canal 1. Será verificado o estado atual do canal 2. Será realizada a leitura de *tags* RFID através do canal de módulos leitores. Também será lido o valor do contador do canal 3. Irão ser adicionados os comandos de *reset* do contador e de acionamento. Também serão adicionadas as instâncias de alarme e comando, além da instância de cadastro do nó. A aplicação utilizada é a mesma criada anteriormente. Primeiramente serão adicionadas as instâncias necessárias com as devidas configurações de tópicos.

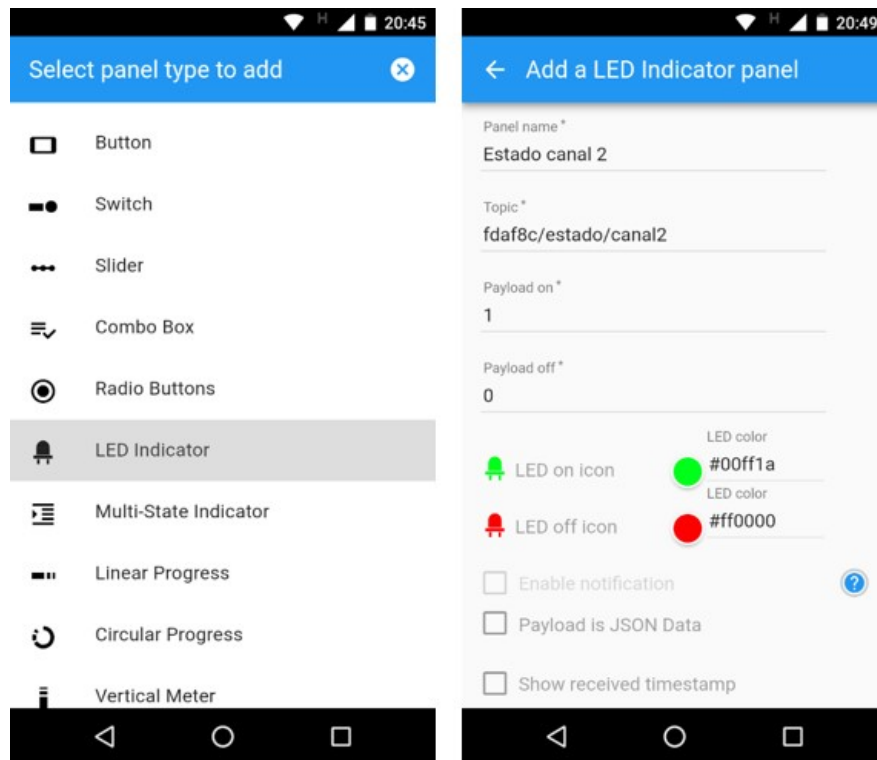
Acionamento do botão vermelho:



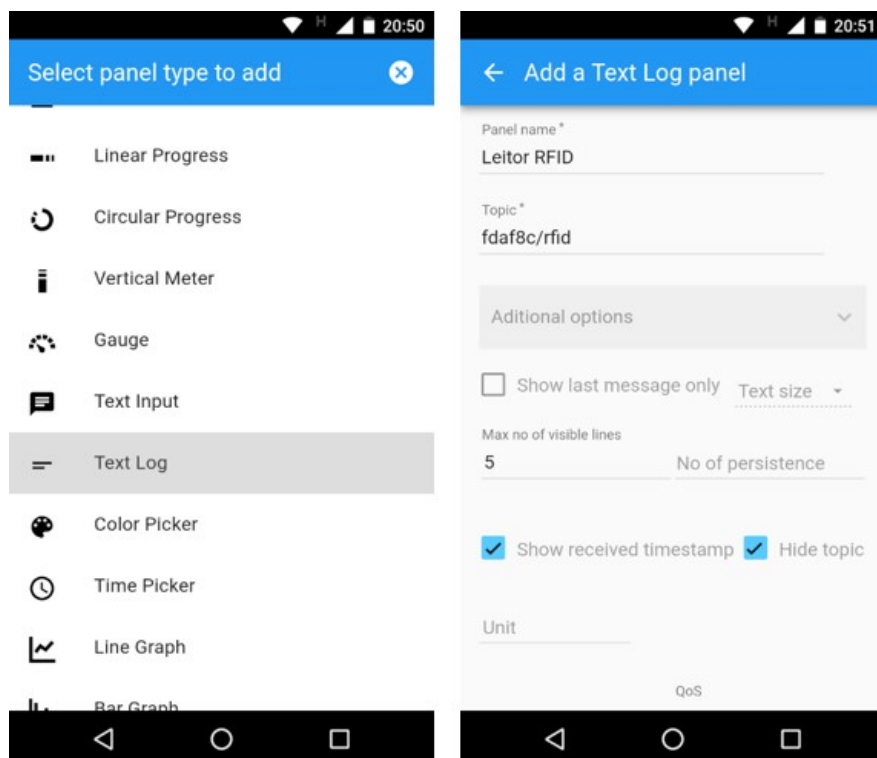
Acionamento canal 1:



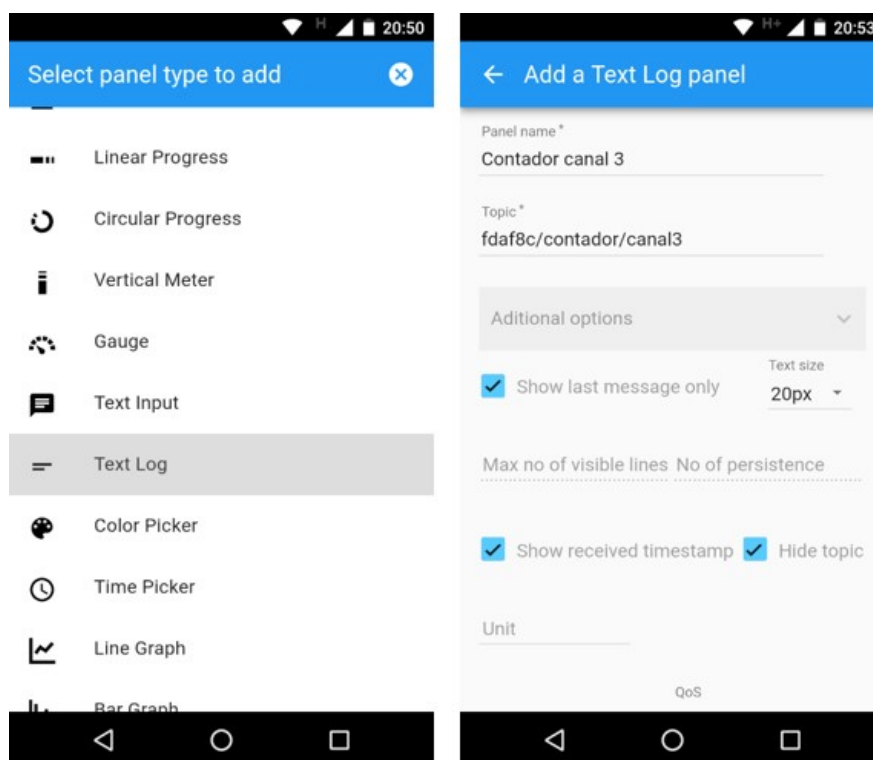
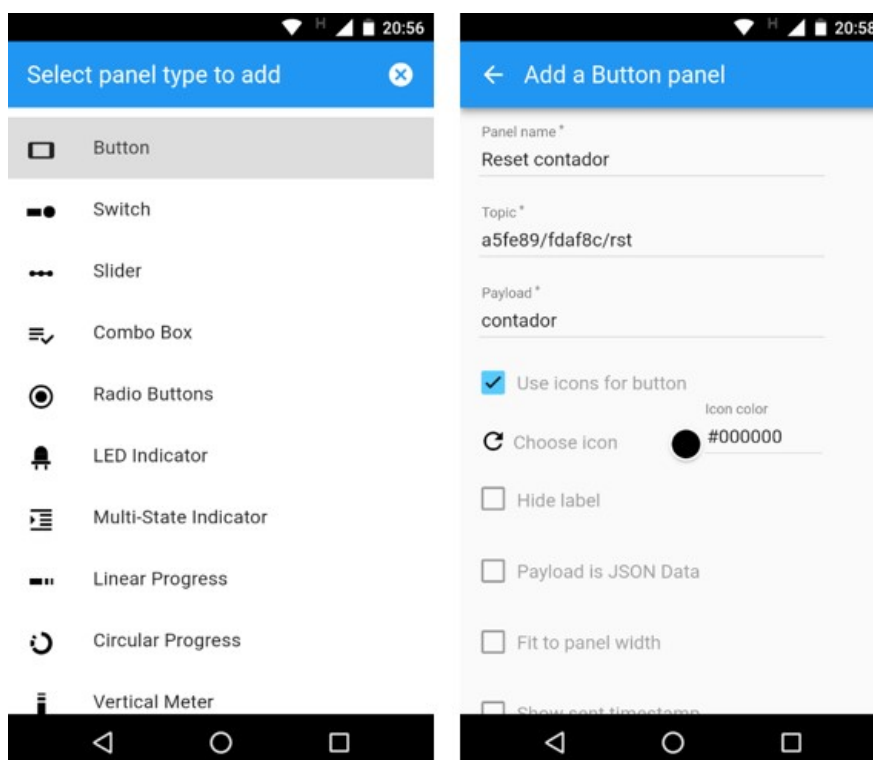
Estado atual do canal 2:



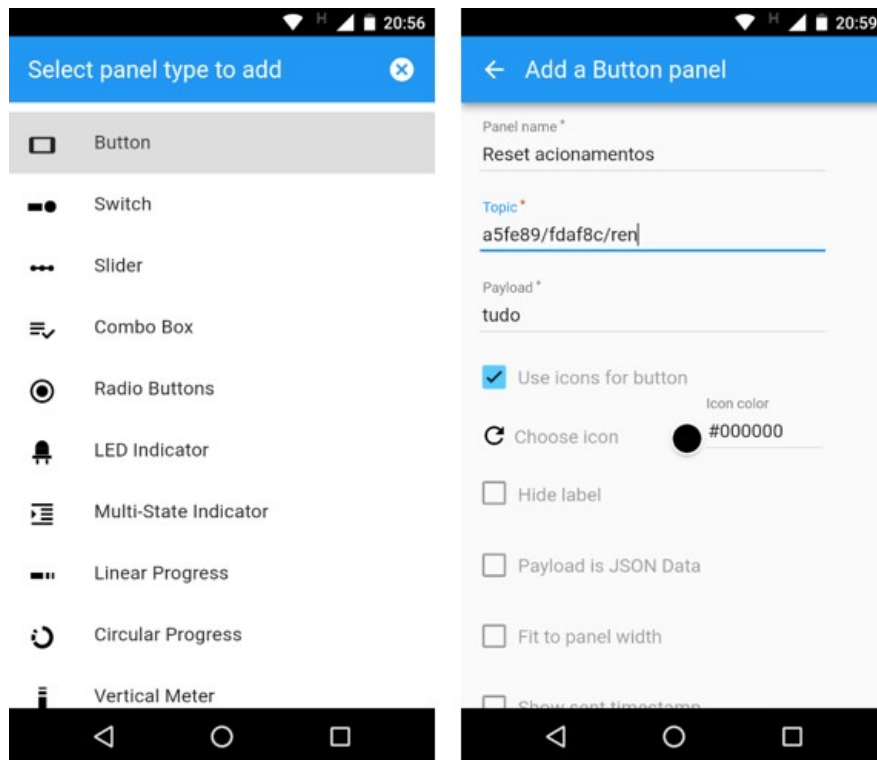
Leitor de tags RFID:



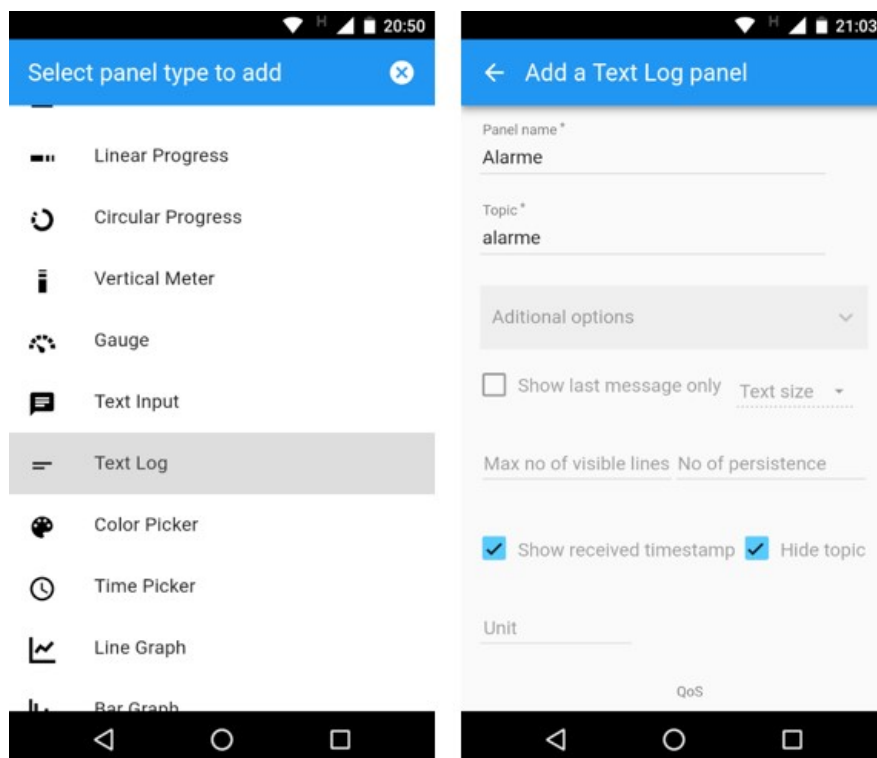
Contador do canal 3:

Botão *reset* contador:

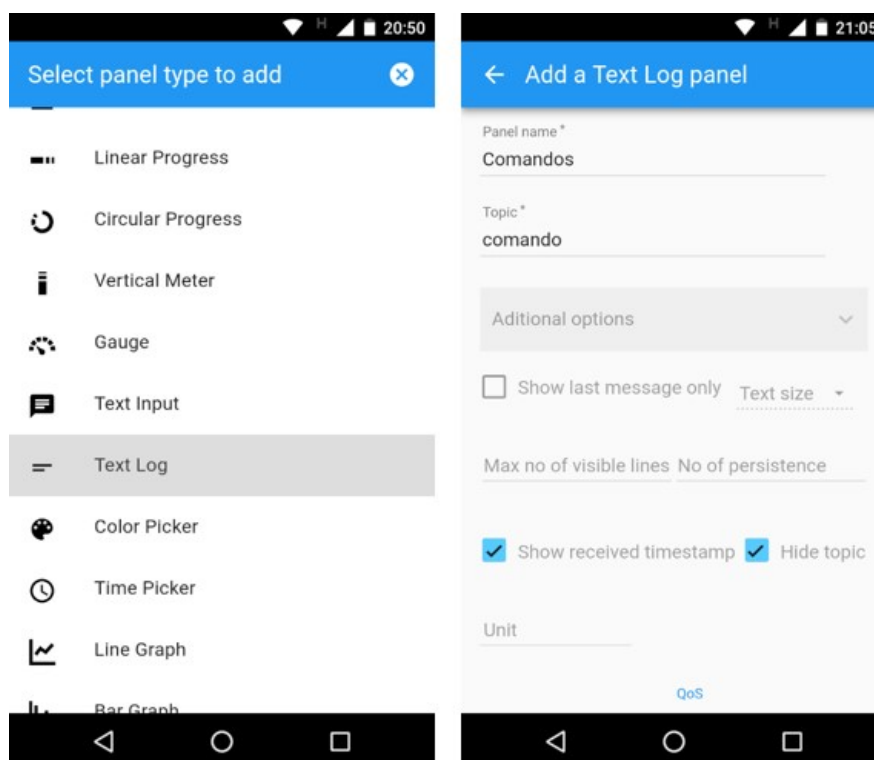
Botão *reset* acionamentos:



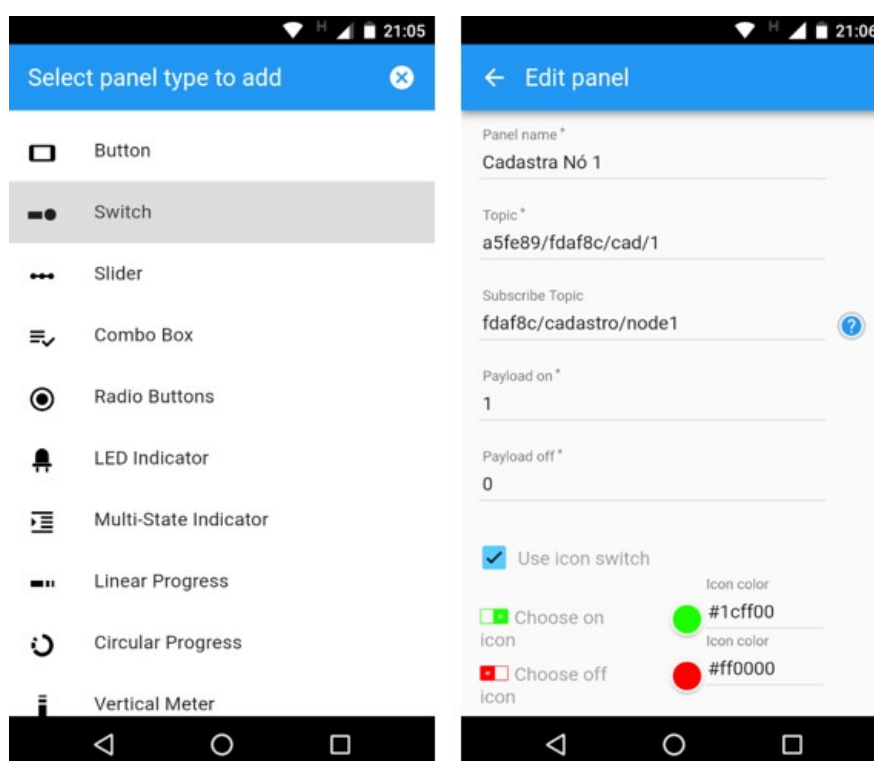
Alarme:



Comandos:

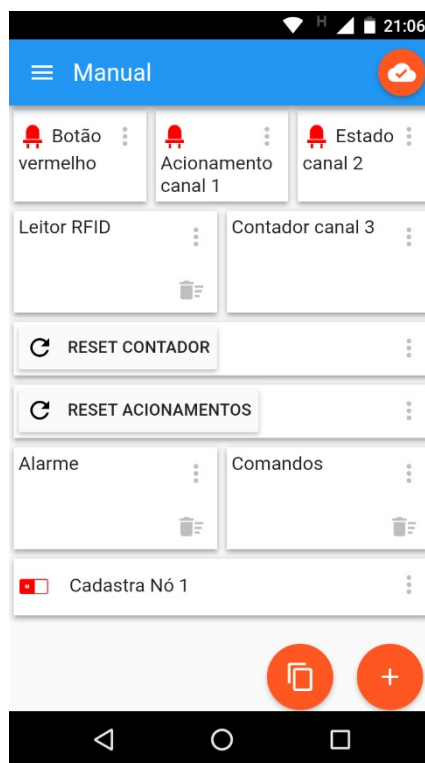


Cadastro de nó:

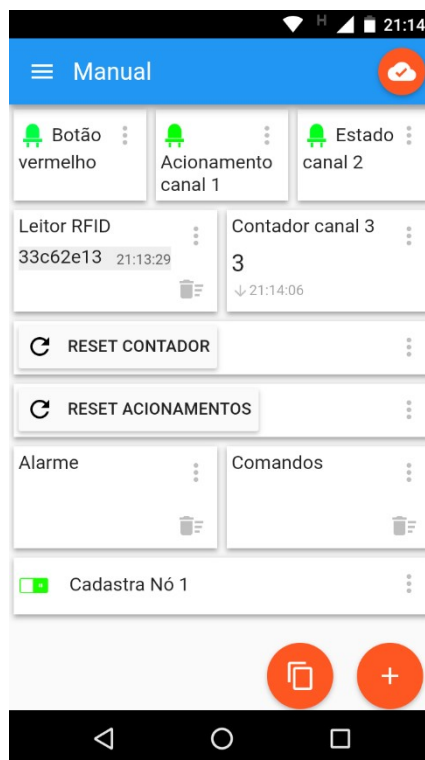


Verificando funcionamento:

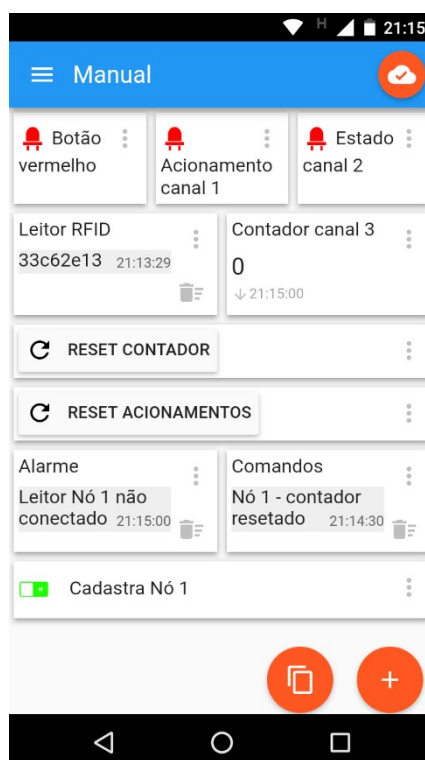
Ao final da configuração a tela estará com as seguintes instâncias:



Na tela abaixo primeiramente foi acionada a chave de cadastro do nó. Após ela ter acionado foram acionados o botão vermelho e o sensor conectado ao canal 1. Também foi acionado o sensor no canal 2, e no canal três foram dados 3 pulsos, o que pode ser visto pelo contador. O leitor RFID também efetuou uma leitura.



Em seguida foram pressionados os botões de *reset*, o que pode ser visto pela instância de comandos. Também foi desconectado o leitor RFID do nó, o que gerou um alarme. Segue imagem:



MANUTENÇÃO E DIAGNÓSTICOS DE PROBLEMAS

O Módulo de gateway não liga.

Verifique se há energia na tomada utilizada.

Verifique se a fonte utilizada está funcionando.

Verifique as características da fonte utilizada estão de acordo com as especificadas (9 ~ 12 Vdc / 1 A).

O módulo de nó não liga.

Verifique se há energia na tomada utilizada.

Verifique se a fonte utilizada está funcionando.

Verifique as características da fonte utilizada estão de acordo com as especificadas (9 ~ 12 Vdc / 1 A).

Os equipamentos estão instalados, porém o aplicativo não recebe os dados.

Verifique se há conexão com a internet (ver *displays*).

Verifique se os rádios estão comunicando (ver *displays*).

Verifique se os tópicos MQTT estão corretos.

Revise as instâncias utilizadas.

APÊNDICE B – QUADRO DE TÓPICOS PUBLICADOS PELO *GATEWAY*

Tópico	Mensagem	Especificação
ID nó/temperatura/canal1	Temperatura em °C	Publica temperatura do canal 1 do nó especificado
ID nó/temperatura/canal2	Temperatura em °C	Publica temperatura do canal 2 do nó especificado
ID nó/temperatura/canal3	Temperatura em °C	Publica temperatura do canal 3 do nó especificado
ID nó/contador/canal1	Valor do contador	Publica contador do canal 1 do nó especificado
ID nó/contador/canal2	Valor do contador	Publica contador do canal 2 do nó especificado
ID nó/contador/canal3	Valor do contador	Publica contador do canal 3 do nó especificado
ID nó/acionamento/canal1	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do canal 1 do nó especificado
ID nó/acionamento/canal2	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do canal 2 do nó especificado
ID nó/acionamento/canal3	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do canal 3 do nó especificado
ID nó/acionamento/btvm	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do botão vermelho do nó especificado
ID nó/acionamento/btpt	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica acionamento do botão preto do nó especificado
ID nó/estado/canal1	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica estado atual do canal 1 do nó especificado
ID nó/estado/canal2	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica estado atual do canal 2 do nó especificado
ID nó/estado/canal3	“1” se acionado “0” se não acionado	Publica estado atual do canal 3 do nó especificado

ID nó/rfid	Valor UID da <i>tag</i> em hexadecimal	Publica UID da <i>tag</i> RFID aproximada do leitor do nó especificado
ID nó/teclado	Valor digitado no teclado	Publica valor digitado no leitor do nó especificado
ID nó/cadastro/nodeX	“1” se o nó foi cadastrado “0” se o nó foi descadastrado	Publica se o comando enviado para cadastro de nó na posição “X” foi executado.
ID nó/temphab/canal1	“1” se o sensor foi cadastrado “0” se o sensor foi descadastrado	Publica resposta ao comando para configurar o canal 1 como leitor de sensor de temperatura.
ID nó/temphab/canal2	“1” se o sensor foi cadastrado “0” se o sensor foi descadastrado	Publica resposta ao comando para configurar o canal 2 como leitor de sensor de temperatura.
ID nó/temphab/canal3	“1” se o sensor foi cadastrado “0” se o sensor foi descadastrado	Publica resposta ao comando para configurar o canal 3 como leitor de sensor de temperatura.

APÊNDICE C – QUADRO DE TÓPICOS ASSINADOS PELO *GATEWAY*

Tópico	Mensagem	Especificação
ID <i>gateway</i> /ID nó/cad/X	"0" descadastra o nó "1" cadastra o nó	Cadastra o nó especificado na posição "X". O ID do nó é cadastrado no <i>gateway</i> com o valor "X".
ID <i>gateway</i> /ID nó/lei	"0" desabilita leitor do nó "1" habilita leitor do nó	Configura um nó para ler ou não o canal de leitores
ID <i>gateway</i> /ID nó/arf	"0" desabilita alarme RFID "1" habilita alarme RFID	Configura o nó para função de alarme de RFID através de um sensor no canal 1 deste nó.
ID <i>gateway</i> /ID nó/tem/1	"0" desabilita sensor de temperatura "1" habilita sensor de temperatura	Configura o canal 1 do nó especificado para ler sensor de temperatura
ID <i>gateway</i> /ID nó/tem/2	"0" desabilita sensor de temperatura "1" habilita sensor de temperatura	Configura o canal 2 do nó especificado para ler sensor de temperatura
ID <i>gateway</i> /ID nó/tem/3	"0" desabilita sensor de temperatura "1" habilita sensor de temperatura	Configura o canal 3 do nó especificado para ler sensor de temperatura
ID <i>gateway</i> /ID nó/rst	"contador"	Efetua um <i>reset</i> no valor dos contadores do nó especificado
ID <i>gateway</i> /ID nó/ren	"tudo"	Efetua um <i>reset</i> nos acionamentos dos canais e botões do nó especificado

**APÊNDICE D – QUADRO DE TÓPICOS PUBLICADOS PELO *GATEWAY* PARA
COMANDOS E ALARMES**

Tópico	Mensagem	Especificação
comando	Nó “X” – acionamentos resetados	Responde ao comando de <i>reset</i> de acionamentos
comando	Nó cadastrado	Responde ao comando de cadastro de nó
comando	Nó descadastrado	Responde ao comando de descadastro de nó
comando	Leitor cadastrado	Responde ao comando de cadastro de leitor em um canal de um nó
comando	Leitor descadastrado	Responde ao comando de descadastro de leitor em um canal de um nó
comando	Alarme RFID cadastrado	Responde ao comando para acionar o alarme RFID
comando	Alarme RFID descadastrado	Responde ao comando para desacionar o alarme RFID
comando	Nó “X” – cadastro de sensor	Responde ao comando para cadastrar um sensor de temperatura em um canal de um nó
comando	Nó “X” – contador resetado	Responde ao comando para resetar os contadores de um nó
alarme	Alarme RFID nó “X”	Ocorreu um alarme de leitura RFID
alarme	Sensor temp nó “X” canal “1, 2 ou 3”	Ocorreu um alarme de um sensor de temperatura em

		um canal cadastrado não estar funcionando
alarme	Leitor nó "X" não conectado	Leitor com mau funcionamento em um determinado nó
alarme	Nó "X" fora do ar	Alarme para quando ocorre um <i>timeout</i> na comunicação com o nó especificado