



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E
AUTOMAÇÃO

BEMIELISON GLETSON DA SILVA BEZERRA

IoT BASEADA EM PHM APLICADA A CENTRAIS CONDICIONADORAS DE AR

MOSSORÓ

2018

BEMIELISON GLETSON DA SILVA BEZERRA

IoT BASEADA EM PHM APLICADA A CENTRAIS CONDICIONADORAS DE AR

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Comunicação e Automação.

Linha de Pesquisa: Sistemas de Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale – UFERSA

Co-Orientadora: Prof.^a Dr.^a Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra – UFERSA

MOSSORÓ

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B574i Bezerra, Bemielison Gletson da Silva.
IoT Baseada em PHM Aplicada a Centrais
Condicionadoras de Ar / Bemielison Gletson da
Silva Bezerra. - 2018.
90 f. : il.

Orientador: Marcelo Roberto Bastos Guerra
Vale.
Coorientador: Fabiana Karla de Oliveira
Martins Varella Guerra.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Sistemas de Comunicação e Automação, 2018.

1. IoT. 2. PHM. 3. CBM. 4. Condicionador de
Ar. 5. Eficiência Energética. I. Roberto Bastos
Guerra Vale, Marcelo, orient. II. Karla de
Oliveira Martins Varella Guerra, Fabiana, co-
orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BEMIELISON GLETSON DA SILVA BEZERRA

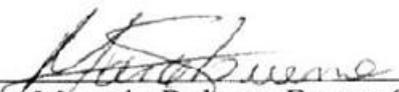
IoT BASEADA EM PHM APLICADA A CENTRAIS CONDICIONADORAS DE AR

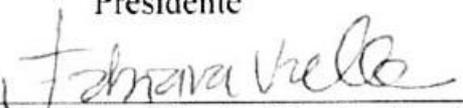
Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Comunicação e Automação.

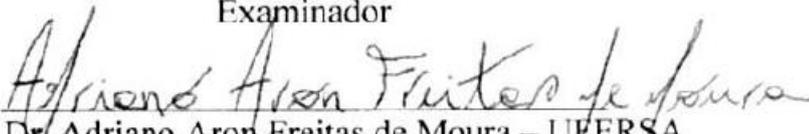
Linha de Pesquisa: Sistemas de Controle e Automação

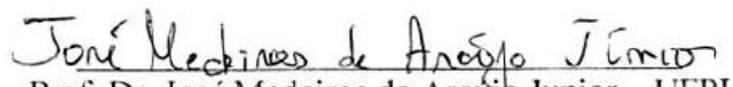
Defendida em: 20 / 12 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale
Presidente


Prof.ª Dr.ª Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra
Examinador


Prof. Dr. Adriano Aron Freitas de Moura – UFERSA
Examinador


Prof. Dr. José Medeiros de Araújo Junior – UFPI
Examinador

À Valter Anunciato da Silveira (In Memoriam).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder a força e coragem para enfrentar os desafios que surgiram ao longo do período como mestrando.

Agradeço a minha Esposa Sâmela Bezerra por me incentivar ao longo da caminhada e por ser um exemplo de determinação, coragem e amor. Por compreender minha ausência durante as horas de estudo e ainda por confiar que minhas ideias sairiam do papel.

Agradeço a minha Filha Melissa Bezerra que mesmo sem saber falar ainda nenhuma palavra consegue me motivar e me faz perceber que por ela eu posso conquistar o impossível.

Agradeço aos meus Orientadores Marcelo Guerra e Fabiana Guerra pela confiança desde as ideias iniciais do projeto até a reta final. Profissionais e éticos, sempre despenderam tempo e dedicação.

Agradeço a Banca Examinadora por aceitar o convite em avaliar este trabalho e pelas contribuições que a enriquecem.

Agradeço a minha amiga Patrícia Araújo pela insistência na minha inscrição para o programa de mestrado e pela grande energia empregada na formatação final. Agradeço ao meu amigo e companheiro de trabalho Cleydson Nascimento por me encorajar e me apoiar durante os testes em laboratório e ainda por trabalhar por dois ao suprir minha ausência durante o período de licença dedicada a este trabalho. Agradeço ao meu cunhado Fernando Jr. por me encorajar e sugerir meios para execução e melhoria deste trabalho.

“O perigo de verdade não é que computadores passem a pensar como humanos, mas sim que humanos passem a pensar como computadores”.

Sydney Harris

RESUMO

Nos últimos anos, climatizar ambientes tornou-se mais acessível à população, seja pela melhoria da qualidade de vida ou redução dos insumos utilizados na construção dos equipamentos. Impulsionados pelos avanços tecnológicos dos componentes individuais ou processos de fabricação e matrizes energéticas, a preocupação com fatores como manutenção e redução do consumo de energia tornou-se ainda maior. Em geral, a opção de manutenção mais utilizada é a corretiva (quebra-repara), sendo esta a de maior custo agregado, uma vez que até a falha completa do equipamento muitos componentes do sistema podem vir a serem danificados. Logo, somam-se aos custos, a elevação do consumo de energia elétrica durante o período de mau funcionamento do equipamento até a parada forçada do mesmo. Neste sentido, a inovação e redução dos componentes sensores e atuadores, bem como das tecnologias de comunicação tem possibilitado o monitoramento das condições de funcionamento e prognósticos de saúde dos mais diversos equipamentos, sendo denominada de “*Internet of Things*”, ou IoT, a inserção de sensores e conexão à internet de qualquer objeto que nos cerca. Neste trabalho, foi desenvolvido um *hardware* e um *firmware* baseado em IoT com aplicação de técnicas de manutenção preditiva CBM (*Condition-Based Maintenance*) e PHM (*Prognostics and system health management*) para aquisição e medição de dados de uma central condicionadora de ar, tais como: consumo de energia ativa, reativa, aparente e fator de potência. O *hardware* contém três placas eletrônicas (força, medição e controle) projetadas no *software Eagle* da *CadSoft* e fabricada em placa de circuito impresso de fibra de vidro. O *firmware* foi implementado na IDE (*Integrated Development Environment*) da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, em comunicação com o servidor remoto (computador *Raspberry Pi*) por meio de um *broker* MQTT (servidor em comunicações MQTT). O sistema foi calibrado; e posteriormente foram realizados os testes de aquisição e medição de dados. Os resultados obtidos do monitoramento das variáveis e controle da central condicionadora de ar do modo manual e automático, foram bastante satisfatórios para essa aplicação, se revelando uma ferramenta útil na gestão da manutenção e redução de desperdício com energia elétrica.

Palavras-Chave: *IoT*, *PHM*, *CBM*, Condicionador de Ar, Eficiência Energética.

ABSTRACT

In recent years, air conditioning has become more accessible to the population, either by improving the quality of life or reducing the inputs used in the construction of equipment. Driven by the technological advancements of individual components or manufacturing processes and energy matrices, concern with factors such as maintenance and reduction of energy consumption has become even greater. In general, the most commonly used maintenance option is the corrective (break-repair), which is the most costly aggregate, since until the complete failure of the equipment many components of the system may be damaged. Therefore, the costs are increased, the increase of the electric energy consumption during the period of malfunction of the equipment until the forced stop of the same. In this sense, the innovation and reduction of the components sensors and actuators, as well as of the communication technologies has enabled the monitoring of the working conditions and health prognoses of the most diverse equipment, being denominated of "Internet of Things", or IoT, the insertion of sensors and internet connection of any object that surrounds us In this work, IoT-based hardware and firmware were developed with the application of predictive maintenance techniques CBM (Condition-Based Maintenance) and PHM (Prognostics and system health management) for acquisition and data measurement of an air conditioning central, such as: active, reactive, apparent power consumption and power factor. The hardware contains three electronic boards (power, measurement and control) designed in CadSoft's Eagle software and manufactured in fiberglass printed circuit board. The firmware was implemented in the Integrated Development Environment (IDE) of the Arduino electronic prototyping platform, in communication with the remote server (Raspberry Pi computer) through an MQTT (MQTT communications server) broker. The system was calibrated; and subsequently the data acquisition and measurement tests were performed. The results obtained from the monitoring of variables and control of the air conditioner in the manual and automatic mode were quite satisfactory for this application, proving to be a useful tool in the management of maintenance and reduction of waste with electric energy.

Keywords: IoT, PHM, CBM, Air Conditioner, Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos que contemplam as dimensões do PHM.	26
Figura 2 – Central condicionadora de ar <i>Split Hi-Wall</i>	31
Figura 3 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do protótipo.	35
Figura 4 – Representação geral simplificada do projeto proposto.	36
Figura 5 – Representação dos componentes do módulo de dados e controle.....	37
Figura 6 – Representação global do projeto.	38
Figura 7 – Módulo <i>Wemos D1 mini</i>	39
Figura 8 – Circuito integrado CS5463.....	40
Figura 9 – Circuito interno CS5463 em blocos.	40
Figura 10 – Transformador de corrente SCT-013-030.....	42
Figura 11 – Sensor DHT-11 e indicação da correta conexão aos pinos do sensor.....	43
Figura 12 – Módulo relógio de tempo real DS1307.....	43
Figura 13 – Diodo emissor de luz infravermelho.....	44
Figura 14 – Diagrama esquemático da placa de força.....	45
Figura 15 – Layout da placa de força.	46
Figura 16 – Exemplo de circuito de ligação do CI CS5463.....	47
Figura 17 – Diagrama de configuração do transformador ZMTP101B.	47
Figura 18 – Diagrama esquemático da placa de força.....	48
Figura 19 – Layout da placa de medição.....	49
Figura 20 – Esquemático da placa de medição.....	49
Figura 21 – Layout da placa de controle.	50
Figura 22 – IDE plataforma Arduino.	50
Figura 23 – Endereçamento dos registradores do CI CS5463.....	52
Figura 24 – Rotina de inicialização do CI CS5463.	53
Figura 25 – Exemplo de <i>subscriber</i> e <i>publish</i>	54
Figura 26 – Raspberry Pi B+ versão 1.2.....	54
Figura 27 – Configuração <i>MQTT broker</i>	55
Figura 28 – Implementação Node-RED.	56
Figura 29 – Integração Node-RED ao <i>broker</i> Mosquitto.....	57
Figura 30 – <i>Dashboard</i> do sistema proposto.....	58
Figura 31 – Placa de força.	59

Figura 32 – Placa de controle.	59
Figura 33 – Placa de medição.	60
Figura 34 – Caixa de proteção e acomodação.	60
Figura 35 – Calibração da tensão eficaz.	61
Figura 36 – Calibração da corrente eficaz.	62
Figura 37 – Analisador de energia ET-5061C Minipa durante calibração.	62
Figura 38 – Protótipo instalado no condicionador de ar da UFERSA.	64
Figura 39 – Valores de tensão e corrente eficaz obtidos nos testes.	68
Figura 40 – Valores de potência ativa e aparente obtidos nos testes.	68
Figura 41 – Valores de temperatura ambiente obtidos nos testes.	69
Figura 42 – Valores de umidade relativa do ar obtidos nos testes.	69
Figura 43 – <i>Dashboard</i> parte 2/2.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Problemas comuns presentes em centrais condicionadoras de ar.....	33
Tabela 2 – Calibração da tensão eficaz.	63
Tabela 3 – Calibração da corrente eficaz.....	63
Tabela 4 – Especificações do fabricante do condicionador de ar.....	64
Tabela 5 – Custos de aquisição dos componentes da placa de controle.....	65
Tabela 6 – Custos de aquisição dos componentes da placa de força.....	65
Tabela 7 – Custos de aquisição dos componentes da placa de medição.	66
Tabela 8 – Custos totais.....	66
Tabela 9 – Ocorrências de descumprimento da portaria UFERSA N° 0430/2016.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Alternating current</i> (Corrente alternada)
ADC	<i>Analogic to Digital Converter</i> (Conversor Analógico Digital)
AMQP	<i>Advanced Message Queuing Protocol</i> (Protocolo Avançado de Enfileiramento de Mensagens)
BTU	<i>British thermal unit</i> (Unidade térmica britânica)
BTU/h	<i>British thermal unit / hour</i> (Unidade térmica britânica / hora)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CBM	<i>Condition-based maintenance</i> (Manutenção Baseada em Condições)
CFTV	Circuito Fechado de Televisão
CI	Circuito Integrado
DC	<i>Direct current</i> (Corrente contínua)
DIP	<i>Dual in-line package</i> (Pacote Duplo em Linha)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> (Portas Programáveis de Entrada e Saída)
HDMI	<i>High Definition Multimedia Interface</i> (Interface Multimídia de Alta Resolução)
IA	<i>Artificial Intelligence</i> (Inteligência Artificial)
I ² C	<i>Inter-integrated Circuit</i> (Circuito Inter-Integrado)
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo da Internet)
IR	<i>Infrared</i> (Infravermelho)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
MEMS	<i>Microelectromechanical Systems</i> (Sistemas Microeletromecânicos)
MPOG	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i> (Transporte de Telemetria de Enfileiramento de Mensagens)
MSB	<i>Most significant bit</i> (bit mais significativo)
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> (Placa de Circuito Impresso)
PHM	<i>Prognostics and systems Health Management</i> (Prognóstico e Gestão da Saúde de Sistemas)
PLA	<i>Polylactic Acid</i> (Ácido Polilático)
PoF	<i>Physics-of-Failure</i> (Física de Falha)

PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por Largura de Pulso)
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (Identificação por Rádio Frequência)
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Valor Quadrático Médio)
RTC	<i>Real Time Clock</i> (Relógio de Tempo Real)
SD	<i>Secure Digital</i>
SIN	Superintendência de Infraestrutura
SMD	<i>Surface Mounting Device</i> (Dispositivo de Montagem Superficial)
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> (Interface Periférica Serial)
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i> (Memória Estática de Acesso Aleatório)
SSOP	<i>Shrink small-outline package</i> (Escolha de Pacote de Contorno Pequeno)
TC	Transformador de corrente
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UR	Umidade relativa
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Porta Universal)
XMPP	<i>Extensible Messaging and Presence Protocol</i> (Protocolo Presente e Extensível de Mensagem)

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampère
cm	Centímetro
g	grama
GB	Giga Byte
<i>h</i>	Hora
Hz	Hertz
<i>kWh</i>	Quilowatt-hora
<i>kΩ</i>	Quilo-Ohm
<i>mA</i>	Miliampère
Mhz	Mega Hertz
min	Minuto
mm	Milímetro
<i>mV</i>	Milivolts
<i>mVp-p</i>	Milivolts pico a pico
<i>nF</i>	Nano Faraday
<i>nm</i>	Nanómetro
°C	Grau Celsius
<i>pF</i>	Pico Faraday
R\$	Moeda em reais
<i>s</i>	Segundo
<i>Twh</i>	Terawatt-hora
<i>uA</i>	Microampère
<i>uF</i>	Micro Faraday
US\$	Moeda em dólar
V	Volts
<i>Vca</i>	Voltagem em corrente alternada
<i>Vdc</i>	Voltagem em corrente contínua
W	Watt
Ω	Ohm
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Justificativa	19
1.2	Objetivos.....	20
1.3	Organização do trabalho	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Trabalhos desenvolvidos na área	22
2.2	Estratégias de gerenciamento de manutenção	23
2.2.1	Manutenção corretiva	23
2.2.2	Manutenção preventiva.....	24
2.2.3	Manutenção preditiva	24
2.2.4	Manutenção detectiva	25
2.2.5	PHM – Prognóstico e Gestão da Saúde de Sistemas	25
2.3	Internet das coisas (IoT).....	28
2.3.1	Servidor	29
2.3.1.1	Raspberry Pi	29
2.3.2	Protocolos de Comunicação	29
2.3.2.1	MQTT.....	30
2.3.3	Supervisórios	30
2.4	Centrais condicionadoras de ar.....	31
2.4.1	Conceitos básicos	31
2.4.2	Tipos e aplicações.....	32
2.4.3	Principais falhas em condicionadores de ar.....	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	Módulo de aquisição de dados.....	38
3.1.1	Módulo Wi-Fi ESP-8266.....	38

3.1.2	Circuito integrado CS5463 de medição de energia	39
3.1.3	Transformador de corrente	41
3.1.4	Sensor DHT-11	42
3.1.5	Módulo relógio RTC DS1307	43
3.1.6	Emissor infravermelho	44
3.1.7	Projeto e montagem da PCB (Printed Circuit Board).....	44
3.1.7.1	Placa de força	45
3.1.7.2	Placa de medição	46
3.1.7.3	Placa de controle	49
3.1.8	Implementação firmware	50
3.1.8.1	Aquisição de dados.....	51
3.1.8.2	Processamento das informações.....	53
3.1.8.3	Envio de dados processados ao servidor	54
3.2	Servidor	54
3.2.1	Configuração Raspberry Pi.....	54
3.2.2	Configuração broker MQTT Mosquitto	54
3.2.3	Implementação Node-RED.....	55
3.2.3.1	Integração Node-RED ao broker MQTT	57
3.2.3.2	Dashboard Node- RED.....	57
3.3	Produto final	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
4.1	Calibração do protótipo	61
4.2	Equipamento monitorado	63
4.3	Custos do protótipo	64
4.4	Aplicação da técnica PHM.....	66
4.5	Monitoramento da central condicionadora de ar	67
4.6	Eficiência energética.....	70

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	75
	REFERÊNCIAS	76
	ANEXO A.....	78
	ANEXO B	85

1 INTRODUÇÃO

A climatização forçada de ambientes (resfriamento ou aquecimento) há muito é aplicada em diversos processos, mas nem sempre foi acessível seja pela tecnologia inexistente no período/ local ou mesmo devido aos altos custos envolvidos na obtenção deste recurso. Em Cavalcante e Almeida (2017), observou-se que nas últimas décadas, alavancado pelo que se considera a quarta revolução industrial (indústria 4.0), o desenvolvimento de novas tecnologias envolvendo eletroeletrônica e também pela redução dos custos de processos de produção, melhoria da qualidade dos produtos, entre outros benefícios possibilitaram uma maior oferta de produtos ao consumidor. Tais produtos, compostos por componentes mecânicos e eletroeletrônicos, requerem atenção aos aspectos relacionados com o consumo de eletricidade e manutenção dos componentes do sistema, fatores determinantes no que se refere ao capital investido durante a vida útil do equipamento.

Segundo Ciabattoni *et al.* (2016), tem sido crescente a demanda de moradores de edifícios em busca do monitoramento contínuo de parâmetros relacionados ao conforto térmico o que resulta em aumento do consumo de tecnologias para tal. Em geral, a manutenção de equipamentos de refrigeração, com atenção aos de uso residencial do tipo *Split*, é corretiva, sendo realizada após o equipamento apresentar o defeito que comprometa seu funcionamento e em consequência disto agrega um maior custo de reparo quando comparada à modalidade de manutenção preventiva ou preditiva. Ainda, ao se optar pelo ciclo de manutenção corretiva (ciclo quebra-repara) normalmente fatores são observados ao longo do período de uso; que sem o devido monitoramento, podem provocar elevação dos custos com consumo de eletricidade, uma vez que equipamentos, por exemplo, carentes de lubrificação ou desbalanceados, como motores elétricos, provocam sobrecarga ao sistema e elevam a demanda de corrente elétrica e conseqüentemente de energia consumida.

O presente trabalho tem como objetivo contemplar princípios baseados na teoria de conexão de dispositivos intitulada Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), bem como a teoria relacionada à manutenção de equipamentos eletromecânicos, com foco nos componentes presentes em centrais condicionadoras de ar. Será considerado que o equipamento encontra-se instalado e em perfeitas condições de funcionamento, em concordância com as informações obtidas do fabricante e que os desvios dos parâmetros de funcionamento que contrastem com os estabelecidos pelo fabricante serão objeto de julgamento para intervenção por parte do sistema proposto neste trabalho.

Pretende-se, portanto, ao fim do trabalho, obter um sistema capaz de monitorar variáveis elétricas (tensão, corrente, potência, fator de potência, etc.) e de ambiente (umidade e temperatura) para identificar se há desvios de parâmetros em comparação com os estabelecidos pelo fabricante do equipamento e assim diagnosticar se há a necessidade de intervenção pela equipe de manutenção.

1.1 Justificativa

Na última década os avanços tecnológicos têm ocorrido em períodos cada vez mais curtos e nas mais diversas áreas de pesquisa, com destaque para área que engloba sistemas de automação e telecomunicação. Os dispositivos móveis como *smartphones*, *tablets* e *smartwatches*, por exemplo, tornaram-se não apenas comuns no dia a dia das pessoas, mas essenciais para o rápido acesso à informação e realização das tarefas cotidianas. Segundo Samie, Bauer e Chair (2016), o avanço das tecnologias de rede, em especial a rede sem fio, a crescente disponibilidade de novos dispositivos, a contínua redução dos custos de produção e tamanho dos sistemas mecânicos microeletrônicos (MEMS), assim como a possibilidade de conexão destes à internet, são fatores que tem possibilitado, a cada dia, mais pessoas conectadas à rede mundial de Internet. Atualmente, cada usuário não se limita mais ao uso de um único dispositivo conectado à rede, mas de diversos simultaneamente, como, além dos já citados, as *smart TV's*, os *smart glasses*, circuito fechado de televisão (CFTV), etc.

Estes avanços possibilitaram a proliferação da aplicação da técnica e uso do termo “*Internet of Things*” que apesar de estar em grande evidência no momento, não é novidade, pois tem sido utilizado desde 1997 e sua denominação, de acordo com o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), é “Uma rede de itens, cada um incorporado com sensores, que estão conectados à internet” (CHEBUDIE; MINERVA; ROTONDI, 2015). O contínuo desenvolvimento dos mais variados dispositivos conectados à rede, e que por sua vez se encaixam na denominação IoT, tem encontrado aplicações diversas e atualmente qualquer “coisa” comum do dia a dia (canetas, óculos, calçados, roupas, plantas, animais, pessoas, etc.) poderá incorporar recursos que possibilitem conexão à rede (IEEE, 2014).

Conforme Kwon (2016), utilizando-se dos benefícios da IoT, aplicações na área de manutenção se intensificaram uma vez que esta é uma necessidade contínua que visa garantir a continuidade do perfeito, ou no mínimo aceitável, funcionamento dos recursos desses. O modo de gerenciamento da saúde dos equipamentos por meio de manutenção depende de cada gestão, onde as opções são basicamente, manutenção corretiva; manutenção preventiva;

previdente, ou manutenção baseada em condições; e detectiva. A escolha considera aspectos como segurança e custos envolvidos, porém, das possibilidades apresentadas, apesar dos elevados custos, a manutenção corretiva se apresenta ainda como a escolha mais empregada.

Ainda conforme Kwon (2016), a manutenção preditiva, ou baseada sob condições (CBM - *Condition-Based Maintenance*) em geral apresenta o maior custo inicial de implantação, porém ao longo do tempo promove redução significativa dos custos com manutenção e conseqüentemente recuperação do valor investido. A CBM utiliza recursos de monitoramento do equipamento por meio de sensores que encaminham os dados coletados até a unidade de processamento, onde o resultado, utilizando princípios PHM (*Prognostics and Systems Health Management*), é empregado para tomada de decisões, pelo gestor ou de modo automático, relacionadas à intervenção para manutenção do equipamento em questão.

Apesar da significativa importância relacionada à manutenção de equipamentos e da conseqüente possibilidade de redução de custos de utilização, também da contínua redução de custos com a aquisição de sistemas eletrônicos que permitam o monitoramento e controle de equipamentos, observa-se que a grande maioria das centrais condicionadoras de ar utilizadas atualmente estão desprovidas de recursos que permitam a aplicação de metodologias de gerenciamento de sua saúde.

Considerando a importância da temática abordada, este trabalho se propõe a desenvolver um sistema que possibilite a redução dos custos com manutenção e energia elétrica por meio de um sistema baseado em IoT e do emprego das técnicas de PHM/ CBM em uma central condicionadora de ar da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1.2 Objetivos

A fim de atingir a proposta da pesquisa tem-se por objetivo geral desenvolver um *hardware* baseado em IoT, com aplicação do conceito de PHM para gerenciamento da manutenção CBM em condicionadores de ar, que possibilite a redução dos custos relacionados à manutenção (em alternativa ao modelo de manutenção corretiva) do equipamento e consumo de energia elétrica.

Objetivos específicos:

- Desenvolver um *hardware* baseado em IoT capaz de obter dados das variáveis do sistema e assim possibilitar o gerenciamento da manutenção e consumo de energia

elétrica do condicionador de ar. As variáveis a serem monitoradas são: temperatura ambiente, umidade relativa do ar, tensão e corrente elétrica eficaz, potência ativa e aparente, e fator de potência;

- Implementar rotina para desenergização (manual e automática) por acionamento infravermelho do equipamento em casos de anormalidades como: tensão de alimentação elevada, corrente elevada que caracterize curto-circuito, temperatura ambiente elevada que caracterize incêndio (maior que 60°C) e energização em horário não permitido;
- Implementar rotina de monitoramento das condições de operação em comparação aos dados fornecidos pelo fabricante do equipamento;
- Configurar servidor e *dashboard* (tela de monitoramento e controle) que possibilite ao administrador do sistema observar e intervir na operação do equipamento de modo local ou remoto através da rede de computadores;
- Implementar rotina que possibilite o envio de notificações ao administrador do sistema em casos de ajuste de temperatura inferior ao mínimo permitido (23°C) e umidade relativa do ar em nível crítico (inferior à 30 %).

1.3 Organização do trabalho

No capítulo 2, têm-se a revisão bibliográfica relativa aos modos de gerenciamento da manutenção, a temática IoT e centrais condicionadoras de ar.

No capítulo 3, são apresentadas as características dos componentes utilizados, suas funções e o modo como foram agregados ao projeto.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados obtidos após finalização do protótipo e realização dos testes em uma central condicionadora de ar.

No capítulo 5, são apresentadas as principais conclusões, além das sugestões para trabalhos futuros, em continuidade a este.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordadas algumas estratégias de gerenciamento de manutenção e suas principais características, com destaque para a técnica de manutenção de interesse deste trabalho, no caso, o Prognóstico e Gestão de Saúde de Sistemas. Também consta uma breve descrição sobre os estágios para aplicações baseada em Internet das Coisas, módulos microcontroladores com suporte à comunicação *Wi-Fi*, além de apresentar os conceitos gerais de centrais condicionadoras de ar, medição de variáveis (tensão, corrente, potência, fator de potência, temperatura e umidade), diagnóstico de falhas da medição das variáveis coletadas, servidor remoto, nuvem computacional, *Raspberry Pi* e sistemas supervisórios.

2.1 Trabalhos desenvolvidos na área

Em Angrisan *et al.* (2017), foi desenvolvido um protótipo de medição do consumo de energia ativa, utilizando um sensor de efeito *hall* para medição de corrente elétrica instantânea. Com estes dados, admitiu-se o valor de tensão constante para efetuar o cálculo de consumo via *firmware* embarcado em um módulo microcontrolador *NodeMcu*.

Para Si, Wang, Hu e Zhou (2012), a abordagem baseada em dados analisa as informações das variáveis por meio de mineração de dados ou pela obtenção dos dados em condições saudáveis de funcionamento.

Em Ciabattoni *et al.* (2016), foi desenvolvido um sistema de baixo custo baseado em IoT voltado ao controle do conforto acústico, olfativo, visual e térmico. Foram utilizados sensores capazes de monitorar temperatura, umidade, qualidade do ar, níveis de dióxido de carbono, sensor de luz e microfone. Se fez uso de um computador do tipo *Raspberry Pi*, plataforma de *software* construída em linguagem *Node.js* e banco de dados não-relacional MongoDB.

Já em Santarossa, Das, Helwig e Ahfock (2016), foi desenvolvido um processo de gerenciamento de energia elétrica baseado na premissa de que o usuário consumidor de energia elétrica pode alterar suas escolhas em relação ao consumo quando possuem a informação correta a respeito deste. O processo foi dividido em três passos, sendo: i) monitoramento para coleta de dados para quantificar a energia consumida; ii) análise dos dados capturados e compilação em um formato que possa ser entendido por usuários comuns;

iii) apresentação dos dados ao consumidor para que este possa tomar medidas que contribuam para redução do consumo de energia elétrica.

2.2 Estratégias de gerenciamento de manutenção

O conceito de manutenção pode ser formalmente definido como um conjunto de tarefas realizadas em um determinado sistema ou equipamento a fim de conserva-lo no estado de funcionamento desejado (DUFFUAA; RAOUF; CAMPBELL, 1999). A busca pela manutenção de sistemas e/ou equipamentos remonta à década de 30 e desde então tem passado por diversas transformações. Segundo Moubroy (1997), Pinto e Xavier (1998) e Kardec e Nascif (2001), a evolução da manutenção pode ser dividida em três gerações: período anterior a 1940, de 1960 a 1970 e de 1980 aos dias atuais.

A primeira geração corresponde ao período anterior à Segunda Guerra Mundial (anterior a 1940) quando a indústria era simples e quase sem mecanização e predominava a manutenção conhecida como corretiva (MOUBRAY, 1997; PINTO; XAVIER, 1998).

A segunda geração inicia a partir da Segunda Guerra Mundial até meados da década de 60 e foi estimulada pela grande demanda de produtos de todos os tipos, aumento da mecanização e busca pela redução de custos de produção com a máxima disponibilidade das máquinas, conseqüentemente aumentando a confiabilidade destas. As intervenções deixaram de ser massivamente corretivas e passou-se a adotar intervenções em intervalos fixos para manutenção, caracterizando assim a manutenção preventiva. O aumento considerável dos custos com manutenção protagonizou a maior aplicação de sistemas de planejamento e controle da manutenção (PINTO; XAVIER, 1998; KARDEC; NASCIF, 2001).

Já a terceira geração durante a década de 70 a confiabilidade e disponibilidade dos maquinários nos setores mais distintos tornaram-se cruciais e a maior automação e mecanização significava maior frequência das falhas que comprometiam os padrões de qualidade dos produtos e serviços. Nesta geração foi notório o conceito de manutenção preditiva (PINTO; XAVIER, 1998; KARDEC; NASCIF, 2001).

2.2.1 Manutenção corretiva

Segundo Slack *et al.* (1999) a manutenção corretiva é a mais simples das estratégias de operação, consiste em reestabelecer as condições ótimas de funcionamento quando surge a ocorrência de falhas ou redução do desempenho esperado (desempenho deficiente).

Pinto e Xavier (1998), classificam a manutenção corretiva como:

- Manutenção corretiva não planejada: quando a falha ou redução do desempenho é aleatória, sendo um fato já ocorrido. A falha pode ocorrer a qualquer momento e não há acompanhamento preditivo para prevenção;
- Manutenção corretiva planejada: na qual, diferente da anterior, há uma decisão gerencial de permitir a operação do equipamento até a falha ou intervir em função do acompanhamento preditivo.

2.2.2 Manutenção preventiva

Diferente da manutenção corretiva, a preventiva busca evitar a falha ou queda de desempenho do equipamento. É elaborado um plano de manutenção baseado em intervalos de tempo definidos e assim executados os serviços como troca de peças, limpeza e lubrificação. A prevenção não garante a inexistência de falhas e estas podem ocorrer antes do tempo fixado devido a erros humanos durante a execução da manutenção ou mesmo pela utilização de peças de reposição com falhas de fabricação que venham a diminuir sua vida útil, entre outras (KARDEC; NASCIF, 2001).

2.2.3 Manutenção preditiva

Também conhecida como manutenção sob condições, a manutenção preditiva representa uma quebra de paradigma na manutenção e possibilita que esta seja realizada com base no acompanhamento do desempenho do equipamento e assim verificar a necessidade de intervenção para restituir as características de desempenho quando há modificação de parâmetros (TAVARES, 1996; XENOS, 1998).

Segundo Pinto e Xavier (1998), a manutenção preditiva obedece a uma sistemática e busca manter o equipamento em operação pelo maior tempo possível e para tal utiliza os dados provenientes do monitoramento/medição de variáveis estando o equipamento em pleno funcionamento. Deste modo, evita-se a intervenção prematura do equipamento e reduz os custos com manutenção se comparada à manutenção preventiva que utiliza intervalos de tempo definidos.

Ainda segundo Pinto e Xavier (1998), entre os requisitos para implantação da manutenção preditiva incluem-se: o equipamento deve permitir algum tipo de monitoramento/medição; as falhas devem ser originárias de causas que permitem o monitoramento; e deve haver um sistema que possibilite além de monitorar, analisar e diagnosticar.

A aplicação da manutenção preditiva é aconselhável principalmente quando houver aspectos relacionados à segurança dos usuários, redução de custos, necessidade de manter a operação por mais tempo em comparação com outros modos de manutenção.

2.2.4 Manutenção detectiva

De acordo com Pinto e Xavier (1998), o conceito de manutenção detectiva se iniciou na década de 90 e é definido como a manutenção que atua em sistemas de produção e busca detectar falhas ocultas ao pessoal da manutenção e operação. A exemplo, testar a confiabilidade de um sistema de proteção, ou seja, se o mesmo está funcionando adequadamente, representa a aplicação da manutenção detectiva.

Ainda conforme Pinto e Xavier (1998), a manutenção detectiva assume um importante papel frente à confiabilidade dos sistemas. São a última barreira entre a integridade e a falha, atuando automaticamente na iminência de desvios que possam causar falhas menores, maiores ou catastróficas.

2.2.5 PHM – Prognóstico e Gestão da Saúde de Sistemas

O PHM (*Prognostics and Systems Health Management*) é uma técnica que faz uso de sensores para avaliar a integridade dos sistemas e diagnosticar a necessidade de intervenção em decorrência de comportamentos anômalos ao passo que estima a vida útil restando do ativo (KWON, 2016).

De acordo com Kwon (2016), o PHM está associado à capacidade de prever a confiabilidade de um equipamento. Confiabilidade, por seu turno, é o que os consumidores buscam e isto influencia diretamente a reputação das empresas e no quanto estão dispostos a pagar pelo ativo. Enquanto Pecht e Gu (2008), afirmam que a premissa é de que a saúde (ou integridade do ativo) pode ser determinada e a confiabilidade pode ser prevista.

Winig (2016), relata que os sensores são incorporados aos sistemas e os dados são armazenados para análise e prognóstico. No passado, as informações em sua maioria eram

coletadas dos sistemas e utilizadas para análise pontual da saúde destes e então eram descartadas. Com advento de novas tecnologias, em especial as que envolvem comunicação sem fio, os dados são coletados e armazenados em servidores para então serem analisados e utilizados para previsão do tempo de vida útil dos equipamentos e assim garantir maior confiabilidade aos ativos.

Chebudie, Minerva e Rotondi (2015), afirmam que com o desenvolvimento das tecnologias baseadas em IoT, o paradigma se modificou e potencializou o uso das técnicas de análises e prognóstico da saúde de sistemas. Sensores instalados em coisas (qualquer equipamento, seja um televisor ou forno de uma siderúrgica) capturam informações e as transmitem sem fio para os servidores em nuvem e deste modo todos os dados necessários ao diagnóstico ficam disponíveis.

A Figura 1 ilustra o diagrama de blocos composto por quatro dimensões do PHM.

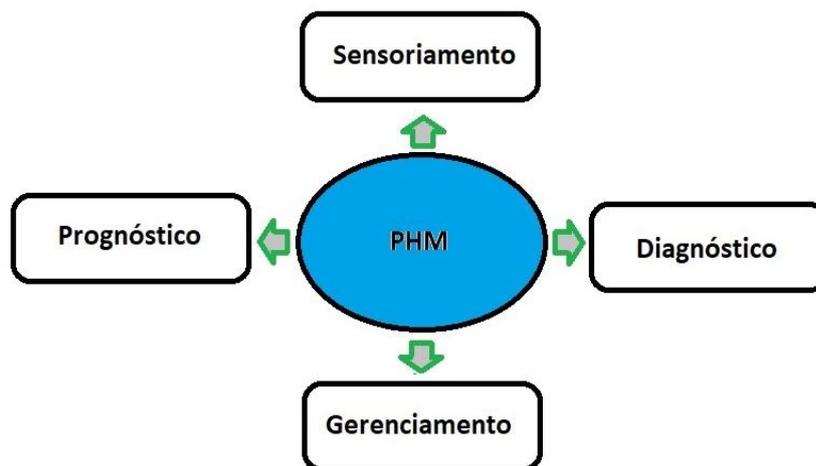


Figura 1 – Diagrama de blocos que contemplam as dimensões do PHM.
Fonte: Autoria própria.

Segundo Montgomery, Banjevic e Jardine (2012), a etapa de sensoriamento corresponde à inserção de sensores no equipamento com o intuito de obter dados das variáveis envolvidas, como por exemplo: temperatura, velocidade, pressão e etc.

Ainda segundo Montgomery, Banjevic e Jardine (2012), a etapa de diagnóstico é a dimensão que verifica a existência de anomalias no sistema que possam comprometer o ativo, seja por falha ou redução da eficiência. Por mínima que seja a anomalia o registro se torna importante e ao se avaliar os desvios de parâmetros ao longo do tempo a fase seguinte (prognóstico) poderá prever o tempo residual de vida útil.

O prognóstico é a dimensão que se utiliza dos dados obtidos no decorrer do tempo de funcionamento do ativo para analisá-los por meio de algoritmos e prever o tempo residual de vida útil de um ativo. Esta etapa se utiliza de todo histórico de dados obtidos das variáveis de ambiente e isto possibilita a utilização das mais variadas técnicas para obtenção da predição, principalmente no campo da inteligência artificial (redes neurais artificiais, algoritmos genéticos, árvore de decisões, etc.). Logo, o sucesso do PHM está intimamente ligado à correta escolha do método de prognóstico (MONTGOMERY; BANJEVIC; JARDINE, 2012).

A abordagem física de falha (PoF – *Physics-of-Failure*) utiliza o conhecimento sobre como as coisas se degradam e para tal faz uso de leis físicas ligadas a um modelo matemático e é indicada para projetos em que a análise de confiabilidade foi realizada. De acordo com Montgomery, Banjevic e Jardine (2012), a utilização deste método na condução do PHM se resume em cinco procedimentos, descritos a seguir:

- Identificação dos pontos críticos de falha no sistema e análise dos efeitos, classificando-os por pontuação conforme a severidade, detectabilidade e ocorrência;
- Monitoramento o ciclo de carregamento ao longo da vida útil do equipamento (histórico das condições) que provoquem melhor desempenho ou degradação física;
- Extração de informações relacionadas às variáveis do sistema que se modificam com a deterioração física dos pontos críticos identificados no primeiro procedimento;
- Avaliação dos danos ao sistema e cálculo do tempo de vida útil restante para cada ponto crítico do sistema;
- Estimativa da incerteza e previsão de tempo para a falha (pode ser obtido por simulação que utilize o método de Monte Carlo).

Abordagem baseada em dados (*Data-Driven*) faz uso das informações coletadas de sensores para formar um histórico de dados do ativo em condições de funcionamento. Por análise dos dados e aprendizado de máquina são detectadas anomalias e realizadas previsões sobre a confiabilidade. Os sensores coletam dados de variáveis internas e/ou externas (endógenas e/ou exógenas), sendo estas coletadas independente do ativo estar em funcionamento ou não e aquelas, coletadas apenas durante o funcionamento do ativo (RIZOPOULOS, 2012).

A abordagem baseada em dados para PHM é utilizada nas fases de diagnóstico e prognóstico. Faz uso de recursos estatísticos e aprendizado de máquina, incluindo: regras *Fuzzy*, métodos estatísticos multivariados, modelos gráficos, domínio do tempo, etc. Como

vantagem sobre a abordagem PoF, a baseada em dados não precisa necessariamente de informações sobre o equipamento e pode aprender o comportamento deste com a coleta das informações, porém deve-se considerar a dependência gerada pelo histórico dos dados armazenados.

A fusão das abordagens anteriores (*PoF-Based/ Data-Driven*) combina as vantagens de ambos os modos de abordagem e possibilitando melhor previsão e redução da dependência em relação ao histórico de dados ao passo que aumenta a confiabilidade do sistema com o emprego de modelos matemáticos baseados na física dos materiais e cargas aplicadas ao sistema (PECHT; GU, 2008).

A etapa de gerenciamento corresponde a correta decisão a ser tomada para evitar falhas catastróficas, elevar o tempo de funcionamento do ativo, reduzir custos, estender o ciclo de manutenção, promover reparos programados e em tempo mínimo, entre outros (MONTGOMERY; BANJEVIC; JARDINE, 2012).

2.3 Internet das coisas (IoT)

Segundo Samie, Bauer e Chair (2016), o termo Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) surgiu em 1999 por Kevin Ashton enquanto realizava pesquisas com dispositivos de Identificação por Rádio Frequência ou RFID (*Radio Frequency Identification*) para aplicações logísticas.

Ainda segundo Samie, Bauer e Chair (2016), o IoT apresenta ao mundo um novo paradigma onde todas as coisas ao redor têm potencial para ser conectada à internet a fim de oferecer novos serviços ao passo que aumentam sua eficiência. Uma vez que os avanços contínuos, em especial as tecnologias de sensores, comunicação sem fio e processadores cada vez menores e com baixo consumo de energia que possibilitam a alimentação dos sistemas por baterias diversificam as opções de aplicação da internet das coisas.

Samie, Bauer e Chair (2016), também afirmam que a proliferação dos serviços em nuvem, que eliminam a necessidade de armazenamento local, simplificam as aplicações em IoT e fornecem recursos adicionais para manipulação de dados em grande escala. Um momento histórico marcado pelo advento do IoT é a Indústria 4.0, uma vez que antes haviam apenas humanos interagindo com máquinas, mas hoje se percebe a multiplicação do número de máquinas interagindo com outras máquinas e tomando decisões baseadas na análise de dados coletados ao longo do tempo para obter resultados cada vez mais precisos e eficientes.

A Internet das Coisas possui atuação em diversas áreas e algumas são destaques, como por exemplo: cidades e casas inteligentes, saúde, direção assistida e indústria inteligente. Em relação à interação entre os dispositivos e serviços, Samie, Bauer e Chair (2016), classificam esta interação em quatro categorias: um para um, um para muitos, muitos para um, e muitos para muitos. Um dos desafios baseado nestas categorias é dimensionar o *hardware* para suportar, no mínimo, a maior demanda de oferta dos serviços possível e para isso, em geral, as aplicações em IoT apresentam quatro estágios: aquisição de dados, processamento, armazenamento e transmissão dos dados.

2.3.1 Servidor

A utilização de computadores como servidores em aplicações IoT não é regra, mas a depender da quantidade de serviços e requisições a serem tratadas se fazem necessários, uma vez que possuem maior poder de processamento se comparado aos microcontroladores das plataformas de prototipagem, além de possibilitarem a centralização dos serviços ofertados aos clientes (SAMIE; BAUER; CHAIR, 2016).

2.3.1.1 Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um computador com dimensões reduzidas e composto de uma única placa. Possui portas USB, *Ethernet*, saída de áudio e vídeo, e o sistema operacional padrão baseado em *Linux* e chamado *Raspbian*, que deve ser instalado em um cartão de memória. O computador foi desenvolvido no Reino Unido pela fundação *Raspberry Pi* e possibilitou a oferta de computadores de baixo custo (US\$ 35 / 2012) para promoção da ciência da computação e inclusão social e tecnológica (RASPBERRY Pi, 2017).

A *Raspberry Pi* tornou-se referência em aplicações voltadas à IoT uma vez que possibilitou a inclusão de um servidor de computador de baixo custo aos projetos, se comparado aos computadores convencionais (RASPBERRY Pi, 2017).

2.3.2 Protocolos de Comunicação

De acordo com Samie, Bauer e Chair (2016), com o advento da IoT alguns protocolos de comunicação foram utilizados para a definição de um padrão, dentre os quais se destacam o Protocolo Avançado de Enfileiramento de Mensagens ou AMQP (*Advanced Message*

Queuing Protocol), o Protocolo Presente e Extensível de Mensagem ou XMPP (*Extensible Messaging and Presence Protocol*) e o Transporte de Telemetria de Enfileiramento de Mensagens ou MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*).

2.3.2.1 MQTT

Segundo Mosquitto (2017), o protocolo MQTT é o que mais se destaca no uso para aplicações IoT por ser leve e flexível, além de permitir a implementação em redes de alta latência e largura de banda limitada. Basicamente o protocolo faz uso de duas entidades, um *message broker* e os clientes. O *broker* (um servidor) recebe todas as mensagens e encaminha para os clientes destino. Os clientes se comunicam com o servidor por meio de mensagens atreladas a tópicos e então o *broker* direciona essas mensagens apenas para os clientes que assinam o tópico em questão.

Ainda segundo Mosquitto (2017), existem diversas aplicações do tipo *broker* MQTT e entre os que mais se destacam é o Mosquitto, pertencente à *Eclipse Foundation* e pertencente ao projeto iot.eclipse.org. Trata-se de um projeto *open-source*, leve e adequado para aplicações envolvendo IoT, desde computadores de baixa potência até servidores completos. Faz uso de mensagens do tipo *publish/subscribe*, adequado inclusive para sensores de baixa potência.

2.3.3 Supervisórios

Os sistemas supervisórios possibilitam a visualização e controle das variáveis monitoradas. O *Node-RED*, é uma ferramenta de programação que permite conectar dispositivos de *hardware*, onde disponibiliza ao desenvolvedor um ambiente supervisório chamado de *dashboard*, na qual podem ser inseridos elementos de controle e/ou visualização, entre outros. A possibilidade de conexão de dispositivos microcontroladores e computadores que o *Node-RED* proporciona otimiza e potencializa o desenvolvimento de aplicações no campo da Internet das Coisas (NODE-RED, 2017).

2.4 Centrais condicionadoras de ar

2.4.1 Conceitos básicos

As centrais condicionadoras de ar são equipamentos destinados à refrigeração ou aquecimento com utilização em ambientes diversos, inclusive residencial, onde seu uso têm se intensificado. A Figura 2 apresenta o modelo de condicionador de ar do tipo *Split Hi-Wall*.



Figura 2 – Central condicionadora de ar *Split Hi-Wall*.
Fonte: Portal Midea do Brasil¹.

Conforme Costa (2013), de modo geral a retirada de calor de um corpo recebe o nome de refrigeração, mas há designações mais específicas, tais como: arrefecimento, retirada de calor até a temperatura ambiente; resfriamento, da temperatura ambiente (23°C) até a temperatura de 0°C; e congelamento, retirada de calor além da temperatura de congelamento.

Ainda de acordo com Costa (2013), a distribuição do frio, pode ser por: circulação direta do fluido que efetua o ciclo de refrigeração; por circulação de um líquido frigorífero secundário; e por circulação do ar previamente refrigerado, sendo este o método utilizado nas centrais condicionadoras de ar devido a este condicionamento.

As centrais condicionadoras de ar apresentam unidades evaporadoras (que distribuem o ar na temperatura programada) e condensadoras (onde se modifica o estado do fluido refrigerante do estado gasoso para o líquido) que podem estar juntas ou em componentes separados do conjunto (COSTA, 2013).

¹Disponível em: <<http://www.mideadobrasil.com.br>> Acesso em 28 mar. 2017.

2.4.2 Tipos e aplicações

Os principais tipos e aplicações de centrais condicionadoras de ar disponível no Portal WebArCondicionado², são descritos a seguir:

- Tipo janela: modelos compactos com capacidade até 30.000 BTU em que a unidade evaporadora e condensadora encontram-se juntas no equipamento;
- *Split Hi-Wall*: modelo mais comum em aplicações residenciais apresenta a unidade evaporadora (unidade interna) e condensadora (unidade externa) separadas;
- *Multisplit*: é um modelo *Split hi-wall*, porém apresenta uma única unidade condensadora e duas ou mais (a depender da potência da unidade condensadora) unidades evaporadoras;
- Portátil: modelo compacto ideal para pequenos ambientes e que pode ser levado para diferentes cômodos. Concentra a unidade evaporadora e condensadora;
- *Split* cassete: modelo que possibilita a instalação no teto ou forro e apresenta até quatro saídas de ar, sendo indicado para ambientes de médio porte como universidades, bancos e salões de festas;
- *Split* piso-teto: modelo que possibilita a instalação no piso ou no teto e possui capacidade de refrigeração que pode variar de 18.000 à 80.000 BTU. É indicado para médios e grandes ambiente;
- *Split* canto-teto: *Split* que possibilita a instalação no canto-teto e sua capacidade de refrigeração vai de 9.000 à 12.000 BTU;
- *Split* quatro lados: modelo pouco comum que possui quatro dutos de saída e potência de refrigeração entre 24.000 e 60.000 BTU;
- *Split* Dutado: modelo indicado para ambiente com carga térmica bastante elevada onde é necessário climatizar diversos ambiente simultaneamente de modo uniforme.

2.4.3 Principais falhas em condicionadores de ar

A central condicionadora de ar pode vir a apresentar mau funcionamento por diversos fatores. Na Tabela 1 são apresentados alguns dos principais problemas de funcionamento adequado em centrais condicionadoras de ar.

²Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br>> Acesso em 12 abr. 2017.

Tabela 1 – Problemas comuns presentes em centrais condicionadoras de ar.

Problema	Possível causa	Providências
1 – Compressor e o motoventilador não funcionam.	A – o cabo de energia não está ligado à tomada; B – o cabo de energia está interrompido ou com os terminais soltos; C – a chave seletora está com defeito.	A – ligar o cabo de energia na tomada; B – verificar as ligações; o plugue e a continuidade no cabo; C – fazer o teste de continuidade na chave seletora.
2 – Compressor não funciona, mas o motoventilador funciona.	A – protetor térmico defeituoso; B – termostato defeituoso; C – capacitor do motor defeituoso; D – compressor defeituoso; E – chave seletora defeituosa.	A – verificar tensão da rede elétrica, as ligações, e teste de continuidade no protetor; B - verificar se há mau contato nos terminais; C – verificar se o capacitor está aberto, em curto-circuito ou fraco; D – verificar se ele está travado, em curto-circuito ou com circuito interrompido; E – fazer teste de continuidade.
3 – o compressor funciona, mas o motoventilador não funciona.	A – circuito do motoventilador aberto; B – chave seletora defeituosa; C – Capacitor do ventilador aberto; D – motoventilador defeituoso.	A – verificar as ligações; B – fazer teste de continuidade da chave; C – verificar capacitor; D – fazer testes no motoventilador.
4 – o compressor funciona continuamente, mas não desliga.	A – contatos do termostato não abrem; B – bulbo do termostato fora da posição correta.	A – verificar funcionamento do termostato; B – colocar bulbo na posição correta.
5 – o compressor não parte.	A – baixa tensão elétrica; B – ligação incorreta; C – capacitor de partida aberto, em curto ou fraco.	A – verificar a tensão da rede; B – verificar o diagrama elétrico de ligação; C – fazer teste no capacitor de partida.
6 – o motoventilador zumba, mas não funciona.	A – capacitor desligado do motoventilador; B – capacitor defeituoso; C – ligação errada; D – hélice presa; E – motoventilador defeituoso.	A – fazer ligação do capacitor; B – fazer testes no capacitor; C – refazer as ligações; D – soltar a hélice; E – fazer testes no motoventilador.
7 – motoventilador gira vagarosamente	A – capacitor em curto ou fraco; B – tensão elétrica da rede baixa; C – motoventilador parcialmente preso.	A – fazer testes no capacitor; B – verificar tensão da rede elétrica; C – verificar se há algo freando o motoventilador.

Fonte: Adaptado do Portal CPT³.³ Disponível em: <<http://www.cpt.com.br>> Acesso em 14 abr. 2017.

De acordo com o exposto na Tabela 1, dentre os problemas encontrados nas centrais condicionadoras de ar, e que acarretam mau funcionamento, o mais recorrente se refere ao defeito nos capacitores e nível de tensão da rede incompatível com os padrões exigidos pelo fabricante.

Neste capítulo foram apresentadas as principais estratégias de gerenciamento de manutenção. As mesmas foram divididas em cinco tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e PHM. Além disso, foi apresentado o conceito e aplicações baseadas em IoT e definições gerais sobre centrais condicionadoras de ar. A proposta do presente trabalho é apresentar a viabilidade da IoT baseada em PHM aplicada a centrais condicionadoras de ar. No capítulo 3, será descrito as etapas de construção de um protótipo de aquisição de dados e implementação do sistema de supervisório para medição e monitoramento das variáveis envolvidas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os aspectos relacionados ao desenvolvimento do sistema, os componentes, funções destes e métodos para construção do protótipo de testes e sistema supervisorio.

A proposta deste trabalho é realizar não apenas a medição do consumo de energia ativa, mas também da energia reativa, aparente e fator de potência. A medição dos parâmetros de tensão e de corrente serão instantâneos e não constantes. Os valores obtidos das variáveis citadas serão objeto de parâmetro para avaliação das condições de utilização e saúde do equipamento a ser monitorado.

A Figura 3, apresenta o fluxograma das etapas de ações desenvolvidas para o sistema proposto neste trabalho.



Figura 3 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do protótipo.

Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, foi realizada a revisão da literatura. Em seguida, baseando-se nas informações levantadas, iniciou-se a construção do protótipo, obedecendo-se as condições descritas a seguir:

- Obtenção de dados técnicos relativos aos componentes presentes numa central condicionadora de ar que se encontra em funcionamento em um ambiente da UFERSA;
- Obtenção de dados técnicos do fabricante da central condicionadora de ar escolhida para execução de testes do protótipo, são eles: tensão nominal, limites máximos e mínimos; corrente nominal; potência nominal, ativa e reativa; cuidados com a operação e manutenção;
- Projeto e montagem do módulo de aquisição de dados e controle, em que serão instalados os sensores responsáveis pela medição dos parâmetros de avaliação das condições de operação e manutenção da central condicionadora de ar;
- Implementação do *firmware* do módulo de aquisição de dados e controle responsável pela leitura dos sensores, processamento da informação e comunicação com o servidor remoto;

- Configuração do servidor remoto;
- Testes do protótipo e avaliação dos resultados.

A escolha das variáveis a serem monitoradas se deu em função da relação direta entre estas e a saúde do equipamento monitorado. Assim, ao compará-las com os padrões do fabricante e/ou ao analisar o histórico destas no decorrer do tempo de uso torna-se possível verificar desvios de parâmetros e diagnosticar a necessidade de intervenção para manutenção.

Na Figura 4, são representados os objetivos a serem alcançados com o projeto. À esquerda da imagem se observa a ilustração de uma central condicionadora de ar e a representação das variáveis a serem medidas; à direita, a ilustração da interface de supervisão em diferentes dispositivos remotos; e ao centro, a representação do servidor *broker* responsável pela comunicação entre a central de ar e o servidor.

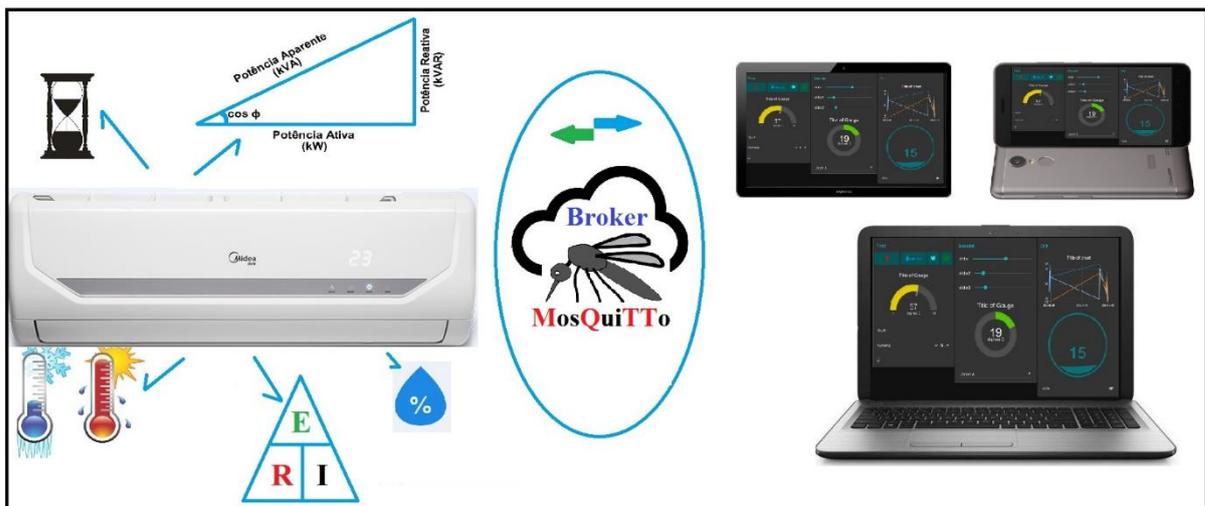


Figura 4 – Representação geral simplificada do projeto proposto.

Fonte: Autoria própria.

Para a realização do monitoramento das variáveis físicas selecionadas e consequentemente o acompanhamento do consumo de energia e saúde dos condicionadores de ar se fez necessário a implementação de um *hardware*. Os equipamentos eletrônicos que irão integrar o módulo de aquisição de dados e controle, estão representados na Figura 5, divididos em 05 (cinco) itens: CI CS5463, responsável pela leitura das grandezas elétricas (tensão, corrente, potência, etc.); o emissor infravermelho – IR (*infrared*) que possibilita o controle da central de ar; o sensor DHT-11 permite a medição dos parâmetros de temperatura e umidade; o relógio RTC (*Real Time Clock*) possibilita a configuração de hora do sistema; e o módulo ESP-8266, microcontrolador que inclui a capacidade de comunicação por *Wi-Fi*.

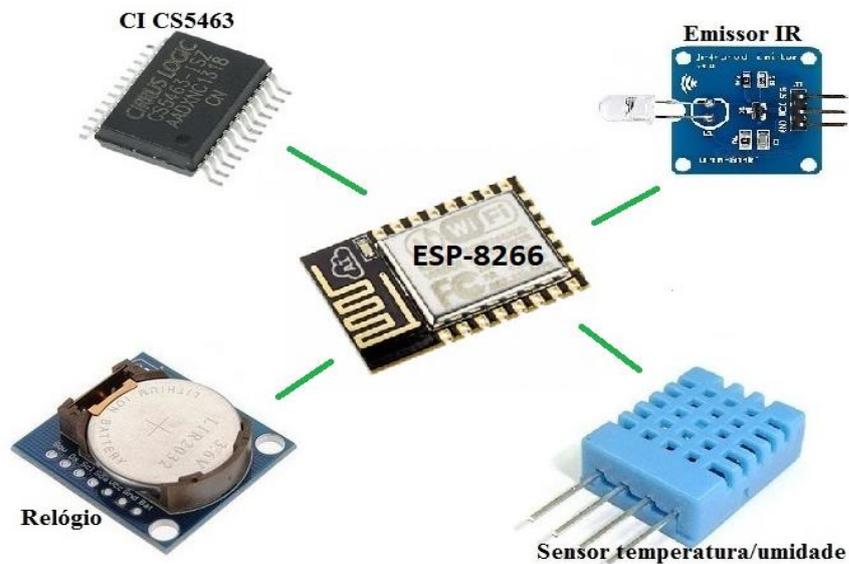


Figura 5 – Representação dos componentes do módulo de dados e controle.
Fonte: Autoria própria.

Como o *hardware* por se só não supri a necessidade de monitoramento, foi necessário implementar uma camada de *software* para poder tornar o protótipo amigável ao usuário.

A Figura 6 apresenta a visão global do sistema (*hardware e software*), onde pode se observar a central condicionadora de ar conectada à rede elétrica por intermédio do módulo de aquisição de dados e controle (bloco 01).

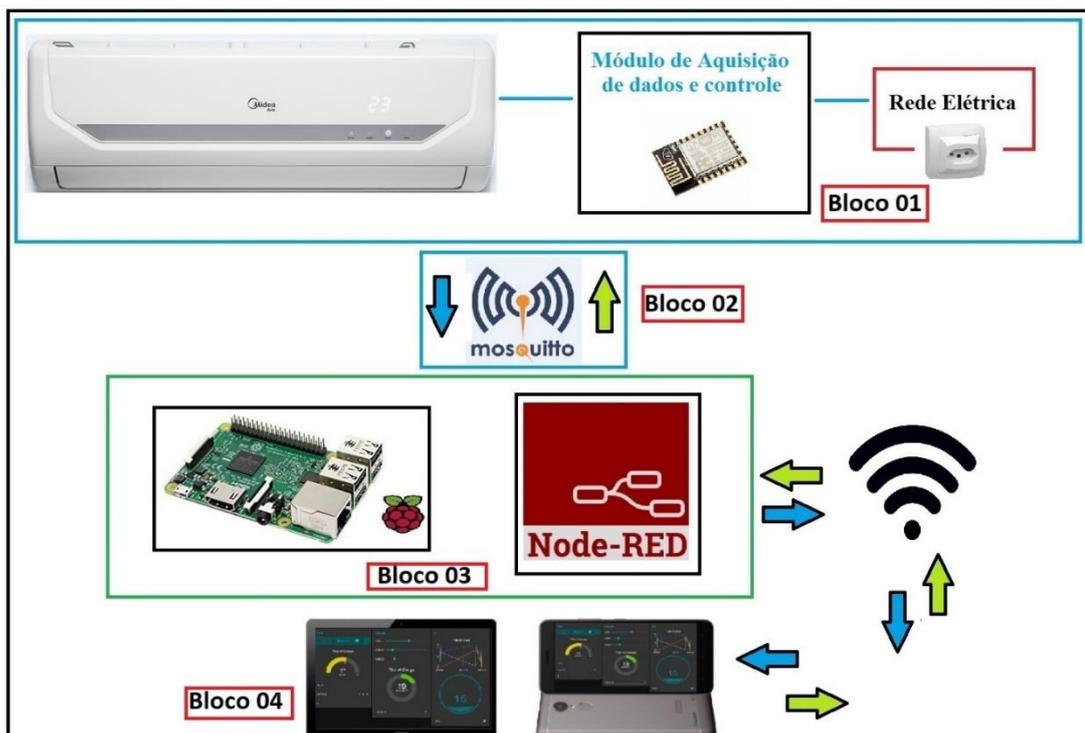


Figura 6 – Representação global do projeto.

Fonte: Autoria própria.

No bloco 02, observa-se o *broker* MQTT *mosquitto*, responsável pela comunicação entre o módulo de aquisição de dados dos sensores e o servidor, sendo este último composto por um computador *Raspberry Pi* (bloco 03) equipado com: sistema operacional *Raspbian* em sua versão *Jessie*; *software Node-RED* para implementação da aplicação de gerenciamento; *software* *Mosquitto*, como *broker* MQTT; aplicação *Node-RED*, como *front-end* possibilitando a construção de uma interface de supervisão para o usuário administrador de modo remoto e com a possibilidade de integração à nuvem computacional.

Por fim, verificam-se os dispositivos conectados remotamente ao sistema possibilitando ao administrador a supervisão do sistema. Qualquer dispositivo, móvel ou não, conectado à mesma rede que o servidor, poderá se comunicar à aplicação e acessar o sistema supervisorio (*dashboard* – Bloco 04) fazendo uso de um navegador *web* através do endereço IP (*Internet Protocol*).

3.1 Módulo de aquisição de dados

A aquisição de dados das variáveis (bloco 01 da Figura 6) será realizada por um módulo composto por sensores de tensão e corrente instantânea, temperatura e umidade. Será embarcado um microcontrolador responsável pela execução das rotinas de coleta dos dados e transmissão destes ao servidor por conexão *Wi-Fi*. Este microcontrolador será detalhado na subseção 3.1.1. Haverá ainda atuadores que objetivam o controle de *set-point* e desenergização do aparelho em casos de emergência. A escolha dos componentes, por se tratar de um protótipo, se deu em relação ao custo-benefício (eficiência, valor e disponibilidade para aquisição no mercado).

3.1.1 Módulo *Wi-Fi* ESP-8266

O módulo *Wemos D1 mini lite* é uma placa que combina um *chip* microcontrolador ESP-8266 com uma interface *USB-Serial* por onde é inserido o *firmware*. Entre as formas de programação e gravação do *firmware* pode ser utilizada a IDE (*Integrated Development Environment*) da plataforma Arduino e esta será a forma utilizada nesse projeto. O módulo possui ainda pinos de entrada/saída e conversor analógico-digital (ADC – *Analogic to Digital Converter*).

Na Figura 7, tem-se a ilustração do módulo *Wemos D1 mini*, composto das seguintes especificações: *Wireless* padrão 802.11 b/g/n; Antena embutida; Conector micro-USB; Portas entrada/saída digital: 11; GPIO com funções de PWM, I2C, SPI; Tensão de operação: 5 *Vdc*; Conversor analógico digital (ADC); Distância entre pinos: 2,54 mm; Dimensões: 34.2 x 25.6 mm; Peso: 10 g.

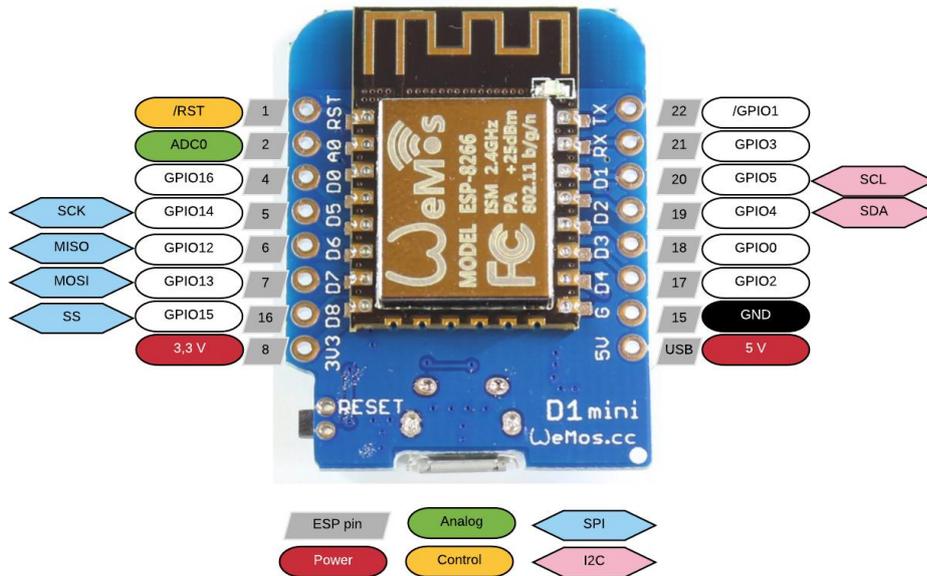


Figura 7 – Módulo *Wemos D1 mini*.
Fonte: Site *kloving*⁴.

O módulo *Wemos D1 mini lite* será acoplado a um circuito eletrônico dedicado à medição das variáveis a serem monitoradas. Embarcará um *firmware* (detalhado na subseção 3.1.8) com rotinas de leitura dos sensores e envio de códigos de controle da central condicionadora de ar via infravermelho (detalhado na subseção 3.1.6).

3.1.2 Circuito integrado CS5463 de medição de energia

O circuito CS5463 é um dispositivo de medição de energia elétrica, fabricado pela empresa *Cirrus Logic*, que embarca conversores analógico-digitais, mecanismos de cálculo de energia, conversor de energia em frequência e interface serial. Foi projetado para medir com precisão as grandezas de tensão e corrente instantânea e a partir destas calcular: tensão e corrente RMS, potência instantânea, potência aparente, potência ativa e reativa para aplicações de medição de energia monofásica (ou trifásica caso se utilize multiplexadores) de 2 ou 3 fios, entre outras grandezas, tudo integrado em um único *chip*.

⁴Disponível em: <<https://kloving.com/image/HvMti>> Acesso em 16 maio, 2017.

A Figura 8, ilustra o circuito integrado CS5463.



Figura 8 – Circuito integrado CS5463.
Fonte: *Cirrus Logic*⁵.

A Figura 9, representa o diagrama em blocos do circuito interno CS5463.

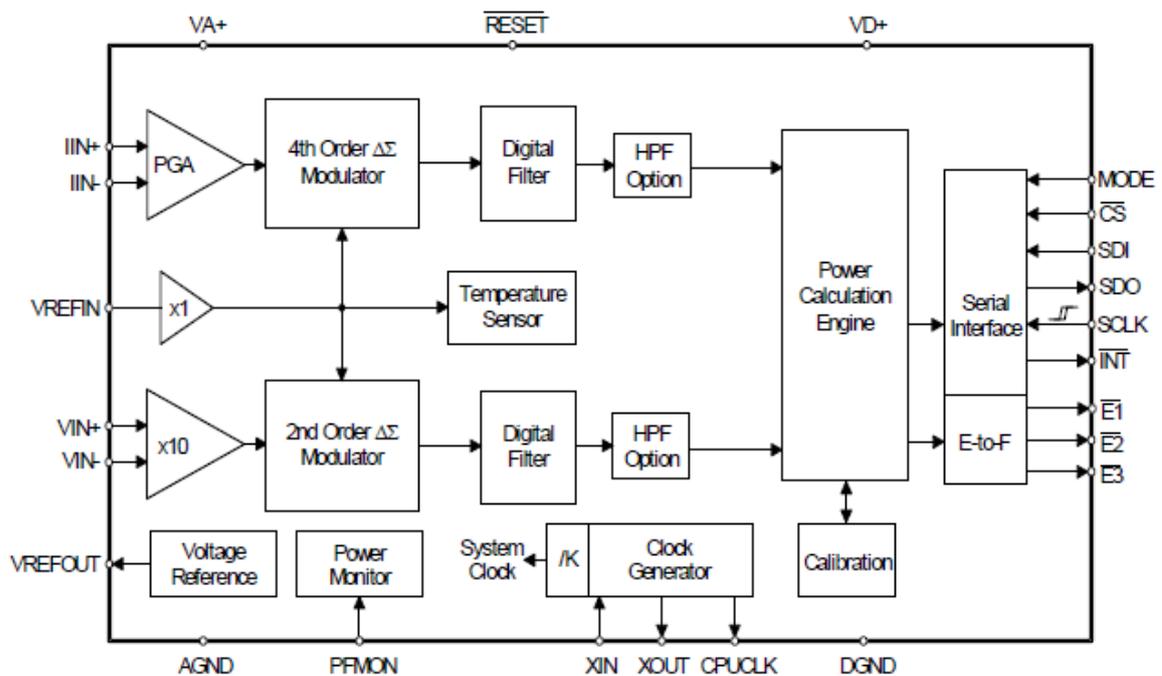


Figura 9 – Circuito interno CS5463 em blocos.
Fonte: *Datasheet CS5463*.

O circuito integra ainda, a interface serial bidirecional para comunicação com um processador externo (neste trabalho o ESP-8266 presente no módulo *Wemos D1 mini lite* será dedicado a esta função) a fim de realizar as leituras das grandezas e calibração do sistema.

⁵ Disponível em: < <https://www.cirrus.com/products/cs5463> > Acesso em 23 mar. 2017.

Apesar do CI CS5463 ser capaz de medir diretamente as grandezas de tensão e corrente (e a partir destas calcular as demais grandezas), são variações de amplitude do nível de tensão de entrada que são convertidos nas demais e estes são na escala de milivolts (*mV*), assim para que seja possível realizar medições em escalas maiores se faz necessário o uso de transformadores de tensão (detalhado na subseção 3.1.7.2) e de corrente (detalhado na subseção 3.1.3) que convertam tensões e correntes elevadas em níveis compatíveis com o circuito integrado.

3.1.3 Transformador de corrente

O transformador de corrente (TC) permite medir correntes elevadas e opera compatibilizando a corrente de operação do aparelho condicionador de ar (circuito de força) com a corrente adequada ao circuito de medição do *chip* CS5463.

O TC escolhido, demonstrado na Figura 10, para utilização neste trabalho é do tipo núcleo dividido (não invasivo) e a compatibilidade entre os circuitos primário e secundário se dá por indução eletromagnética, permitindo o isolamento dos circuitos e disponibilizando no circuito de saída um sinal de tensão proporcional (máxima de 1 V) à corrente que venha a circular no circuito primário (máximo de 30 A).

Apesar deste modelo de TC transformar variações de corrente no primário em variação de tensão no circuito de saída, a amplitude máxima de saída é incompatível com os níveis de tensão da entrada de medição de corrente, assim se fez necessário utilizar um circuito modificador de amplitude e limitador que impedisse a ocorrência de danos ao CI CS 5463. O transformador de tensão ZMTP101B (descrito na subseção 3.1.7.2), após configuração do circuito deste, foi utilizado para tais funções.



Figura 10 – Transformador de corrente SCT-013-030.
Fonte: Site PROMALL⁶.

Além das grandezas físicas já mensuradas e citadas até o momento, durante a realização deste trabalho, se tornou imprescindível o monitoramento da temperatura e umidade do ambiente, para isso foi utilizado o sensor DHT-11, descrito na subseção 3.1.4.

3.1.4 Sensor DHT-11

O sensor DHT-11 possibilita a medição das variáveis temperatura e umidade em um range entre 0 e 50°C / 20 e 90 %, respectivamente. Através da coleta dos dados de temperatura e umidade, após processamento, se buscará o diagnóstico de aspectos relacionados à saúde do equipamento condicionador de ar e salubridade do ambiente. De modo mais específico, se buscará:

- Diagnosticar se o aparelho condicionador, quando em funcionamento, atinge a temperatura necessária ao conforto térmico dos usuários do ambiente;
- Desligar, em caráter de emergência, o aparelho em caso de elevação abrupta da temperatura do ambiente que indique possibilidade de incêndio;
- Monitorar a umidade relativa do ar do ambiente e utilizar estes dados para elaboração de ações que tornem o ambiente mais salubre;
- Verificar se a temperatura configurada (*set-point*) pelo usuário está de acordo com as normas da instituição.

A Figura 11, ilustra o Sensor DHT-11 com sua correta pinagem de montagem. Especificações: Alimentação: 3-5 Vdc (5,5 Vdc máximo); Corrente: 200 μ A a 500 mA, em *standby* de 100 μ A a 150 μ A; Precisão de umidade de medição: \pm 5,0% UR; Precisão de medição de temperatura: \pm 2.0°C; Tempo de resposta: 2 s; Dimensões: 23 x 12 x 5 mm (incluindo terminais).

⁶ Disponível em: <<https://www.promall.ph/non-invasive-ac-current-sensor-30a-max-sct-013-030/>> Acesso em 23 mar. 2017.



Figura 11 – Sensor DHT-11 e indicação da correta conexão aos pinos do sensor.
Fonte: Autoria própria.

Para relacionar de forma temporal todo o monitoramento das grandezas necessárias, foi preciso a utilização de um RTC, o qual será detalhado na subsecção 3.1.5.

3.1.5 Módulo relógio RTC DS1307

O módulo RTC (*Real Time Clock*) é um relógio em tempo real que possibilita obter dados de tempo em segundos e minutos além de datas como dia, mês e ano. Em caso de falta de energia elétrica de alimentação do módulo, um circuito interno aciona a alimentação via bateria de modo automático e assim evita a perda de dados.

Na Figura 12, apresenta-se o módulo relógio de tempo real DS1307.



Figura 12 – Módulo relógio de tempo real DS1307.
Fonte: filipeflop⁷.

Especificações: Computa segundos, minutos, horas, dias da semana, dias do mês, meses e anos (de 2000 a 2099); 56 Bytes de SRAM; Interface I2C – 2 fios; Circuito de detecção de falha de energia; Consome menos de 500 nA no modo bateria com oscilador em funcionamento; Faixa de temperatura: -40°C a +85°C; Dimensões: 27 x 28 x 8,4 mm.

⁷Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds1307/> 17/10/18> Acesso em 18 out. 2017.

Além do monitoramento das grandezas elétricas e de ambiente se fez necessária a inclusão de funções de comando à central condicionadora de ar, códigos enviados diretamente à central fazendo uso de sinais emitidos por um LED infravermelho a ser detalhado na subseção 3.1.6.

3.1.6 Emissor infravermelho

O emissor infravermelho, mostrado na Figura 13, é basicamente um diodo emissor de luz infravermelho com comprimento de onda de 940 nm, capaz de emitir sinais para comando de equipamentos que disponham de receptores do mesmo tipo. Deste modo, é possível controlar equipamentos como televisores, rádios, centrais de condicionadoras de ar (foco deste trabalho) etc. Neste presente trabalho, o emissor infravermelho terá a função de enviar comandos para central condicionadora de ar e assim controlar as funções: ligar, desligar e modificar o ajuste de temperatura (*set-point*).



Figura 13 – Diodo emissor de luz infravermelho.

Fonte: Filipeflop⁸.

Com o intuito de unir sensores, atuadores e microcontrolador citados até o momento, garantindo uma boa resposta em relação à fixação e acomodação dos componentes eletrônicos, foi projetado um conjunto de placas de circuito impresso, que serão descritas na subseção 3.1.7.

3.1.7 Projeto e montagem da PCB (*Printed Circuit Board*)

O projeto das placas de circuito impresso foi executado em *software* específico de nome *Eagle*, que é desenvolvido pela empresa *CadSoft* (adquirida pela empresa *Autodesk* em 2016). O *software* permite a criação do diagrama esquemático e *layout* do projeto, para tal,

⁸Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/led-emissor-infravermelho-ir-5mm/> 17/08/18> Acesso em 18 out. 2017.

possui vasta biblioteca de componentes eletrônicos disponíveis no mercado, fato que agiliza o desenvolvimento.

⁸Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/led-emissor-infravermelho-ir-5mm/> 17/08/18> Acesso em 18 out. 2017.

O projeto foi dividido em três placas eletrônicas com o objetivo de simplificar o projeto e torna-lo mais didático, conforme descritas a seguir:

- **Placa de força:** destinada a realizar a conexão entre a rede elétrica e o circuito de medição, além de dispor alimentação em 5 Vdc para as outras placas;
- **Placa de medição:** destinada a receber os sinais da rede elétrica e realizar a conversão para valores compatíveis com o *chip* de medição;
- **Placa de controle:** destinada ao estabelecimento da comunicação com a placa de medição (obter os valores das grandezas elétricas) e com o servidor remoto. Esta mesma placa embarca os sensores de temperatura e umidade e também o atuador infravermelho que emite sinais de controle para central condicionadora de ar.

3.1.7.1 Placa de força

As Figura 14 e Figura 15, demonstram os diagramas esquemáticos e de *layout* dos componentes da placa de força. Na placa são instalados conectores para interligação com as placas de medição e controle e possui ainda uma fonte de energia na configuração 100-240 Vca/ 5 Vdc 3 W.

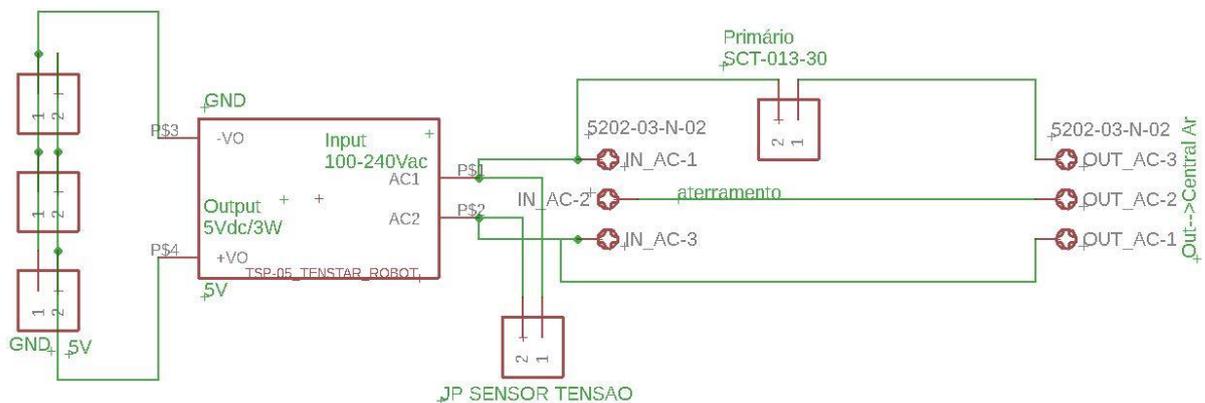


Figura 14 – Diagrama esquemático da placa de força.
Fonte: Autoria própria.

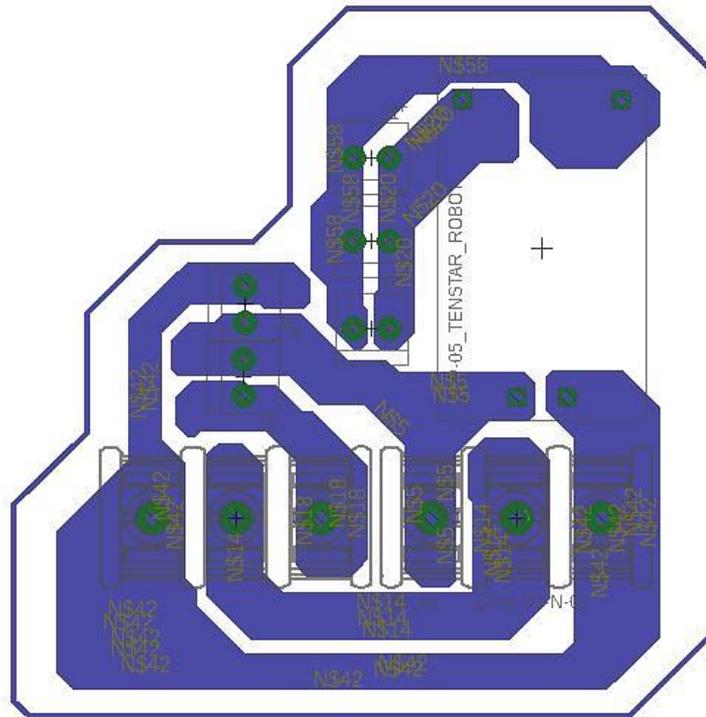


Figura 15 – Layout da placa de força.
Fonte: Autoria própria.

3.1.7.2 Placa de medição

A placa de medição faz uso do circuito integrado CS5463, da fabricante *Cirrus Logic*, para a tarefa de coleta das variáveis elétricas do sistema. Assim, optou-se por projetar o circuito de modo isolado da rede elétrica para protegê-lo de possíveis ruídos uma vez que as portas de entrada para medição da corrente e tensão elétrica são sensíveis às oscilações e ainda, possuem limites máximos de operação em 500 mVp-p .

Os sinais elétricos em corrente alternada foram modificados para valores compatíveis com o padrão de entrada do fabricante e os circuitos de exemplo são disponibilizados no *datasheet* do mesmo, conforme mostra a Figura 16.

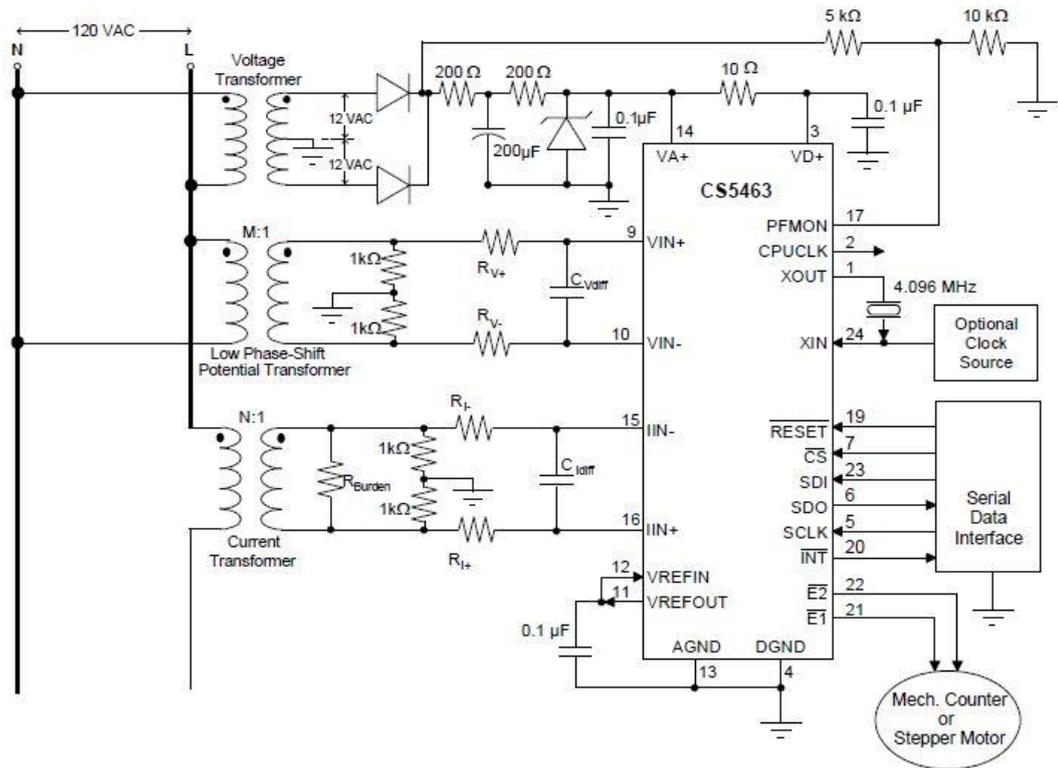


Figura 16 – Exemplo de circuito de ligação do CI CS5463.
Fonte: *Datasheet CS5463* no site *cirrus logic*⁵.

A partir do diagrama mostrado na Figura 17 foi possível configurar o transformador para as tensões de entrada e saída desejadas para o projeto.

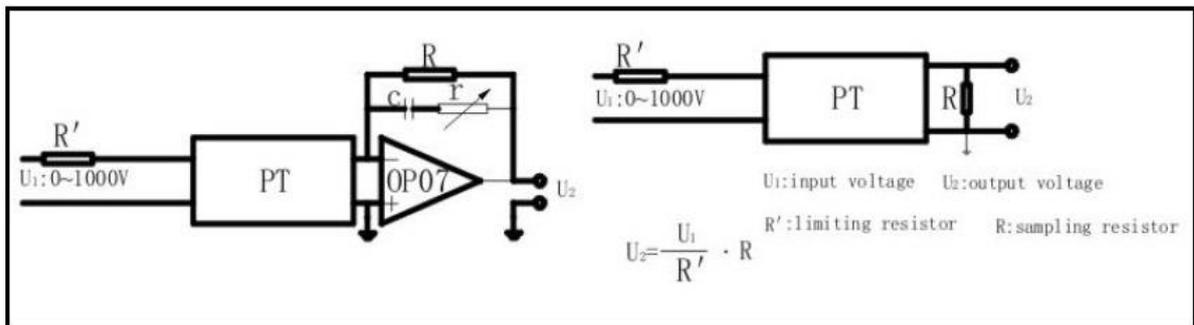


Figura 17 – Diagrama de configuração do transformador ZMTP101B.
Fonte: *Datasheet* do transformador ZMTP101B no site *zeming-e*¹⁰.

¹⁰ Disponível em: <http://www.zeming-e.com/file/0_2013_10_18_093344.pdf> Acesso em 24 out. 2017.

O JP12, presente na Figura 18 é utilizado para interligar a placa de medição à placa de controle e estabelecer a comunicação utilizando do protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*).

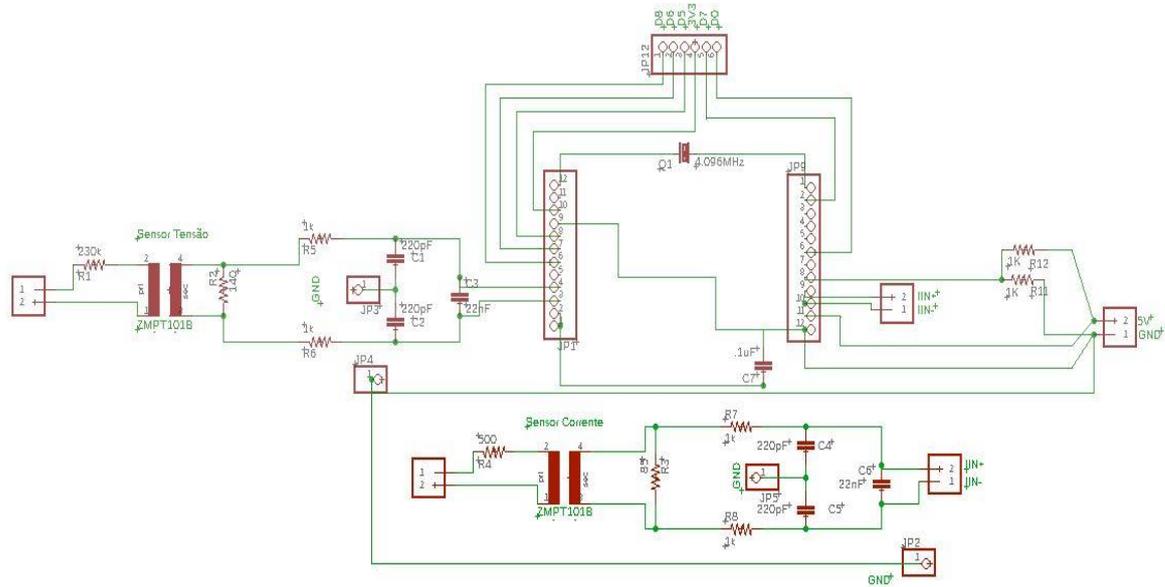


Figura 18 – Diagrama esquemático da placa de força.
Fonte: Autoria própria.

No projeto e montagem da placa de medição, foram utilizados componentes SMD, com o objetivo de reduzir as dimensões da placa e custos. Porém, por se tratar de um protótipo, o CI CS5463 foi instalado em um adaptador do tipo SSOP – DIP para facilitar a substituição caso necessário durante a fase de testes. A Figura 19 mostra o *layout* da placa de medição.

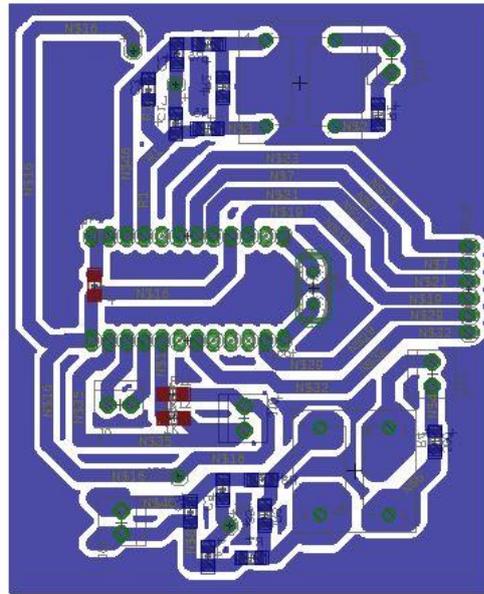


Figura 19 – *Layout* da placa de medição.

Fonte: Autoria própria.

Após o projeto da placa de medição foi realizado o projeto da placa de controle, descrita na subseção 3.1.7.3.

3.1.7.3 Placa de controle

Na placa de controle, conforme se observa nas Figura 20 e Figura 21, foram embarcados os sensores de temperatura e umidade além dos conectores de interligação com as placas de medição e força, ainda foi instalado um conector para embarcar um módulo RTC e um conector para instalação do LED infravermelho para ser utilizado no envio de comandos à central condicionadora de ar.

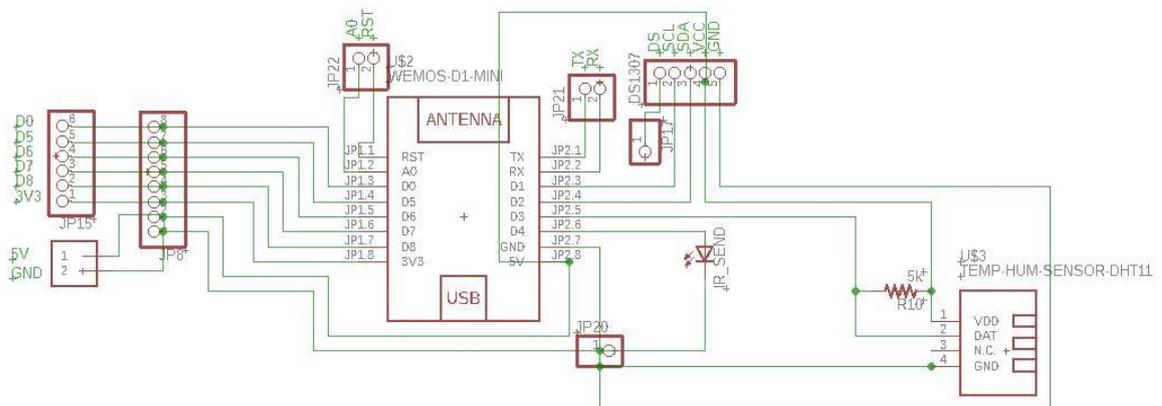


Figura 20 – Esquemático da placa de medição.

Fonte: Autoria própria.

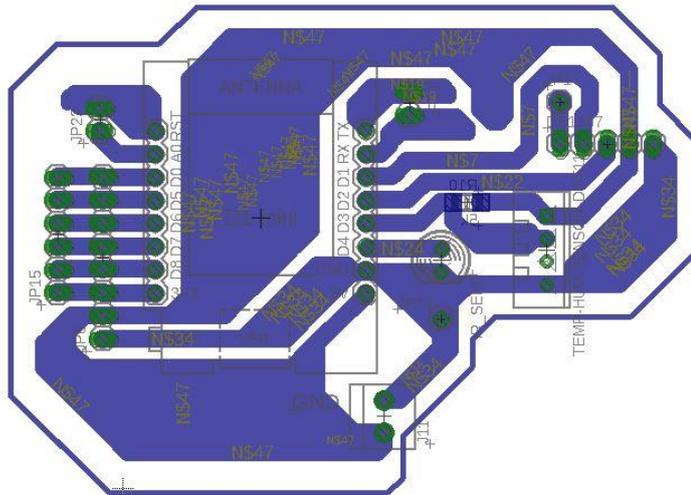


Figura 21 – *Layout* da placa de controle.
Fonte: Autoria própria.

Toda a programação da placa ESP-8266 (subseção 3.1.1), foi realizada na IDE 1.8.5 e será abordada na sub seção 3.1.8.

3.1.8 Implementação *firmware*

A implementação de *firmware* foi realizada utilizando a IDE (*Integrated Development Environment*), ver Figura 22, da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, uma vez que esta permite a instalação das bibliotecas necessárias ao desenvolvimento em placas ESP-8266, e também é gratuita e *open-source*.

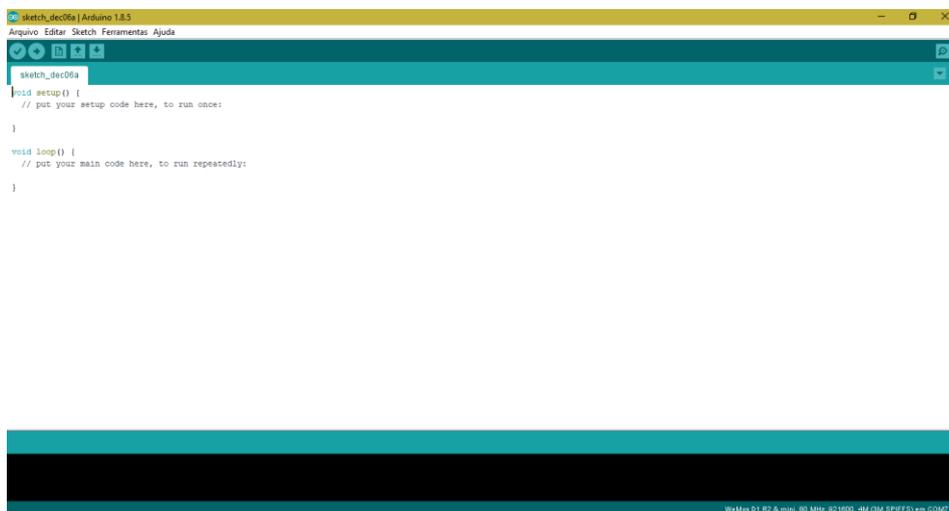


Figura 22 – IDE plataforma Arduino.
Fonte: Autoria própria.

Depois de programado, o ESP-8266, será responsável pela leitura dos sensores ao executar rotinas de requisição aos sensores em modo *looping*. A subseção 3.1.8.1 descreve este processo.

3.1.8.1 Aquisição de dados

Ao energizar o sistema, as rotinas de inicialização são executadas. As variáveis a serem monitoradas são divididas em: variáveis de ambiente (temperatura e umidade); e elétricas (tensão e corrente eficaz, potência ativa e aparente, e fator de potência). A coleta dos dados se dá através de requisições aos sensores (CI CS5463 e DHT11) a cada ciclo computacional e são armazenadas temporariamente em variáveis específicas.

O CI CS5463, que utiliza protocolo SPI para comunicação, aceita requisições de leitura (1 *byte* de dados) e escrita (3 *bytes* de dados) em formato hexadecimal. A Figura 23 mostra as requisições possíveis para página zero de registradores.

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
0	W/R	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	0

The Read/Write informs the command decoder that a register access is required. During a read operation, the addressed register is loaded into an output buffer and clocked out by SCLK. During a write operation, the data is clocked into an input buffer and transferred to the addressed register upon completion of the 24th SCLK.

$\overline{W/R}$ Write/Read control
0 = Read
1 = Write

RA[4:0] Register address bits (bits 5 through 1) of the read/write command.

Register Page 0

Address	RA[4:0]	Name	Description
0	00000	Config	Configuration
1	00001	I_{DCoff}	Current DC Offset
2	00010	I_{gn}	Current Gain
3	00011	V_{DCoff}	Voltage DC Offset
4	00100	V_{gn}	Voltage Gain
5	00101	Cycle Count	Number of A/D conversions used in one computation cycle (N).
6	00110	PulseRateE	Sets the E1, E2 and E3 energy-to-frequency output pulse rate.
7	00111	I	Instantaneous Current
8	01000	V	Instantaneous Voltage
9	01001	P	Instantaneous Power
10	01010	P_{Active}	Active (Real) Power
11	01011	I_{RMS}	RMS Current
12	01100	V_{RMS}	RMS Voltage
13	01101	ϵ (Epsilon)	Ratio of line frequency to output word rate (OWR)
14	01110	P_{off}	Power Offset
15	01111	Status	Status
16	10000	I_{ACoff}	Current AC (RMS) Offset
17	10001	V_{ACoff}	Voltage AC (RMS) Offset
18	10010	Mode	Operation Mode
19	10011	T	Temperature
20	10100	Q_{AVG}	Average Reactive Power
21	10101	Q	Instantaneous Reactive Power
22	10110	I_{Peak}	Peak Current
23	10111	V_{Peak}	Peak Voltage
24	11000	Q_{Triq}	Reactive Power calculated from Power Triangle
25	11001	PF	Power Factor
26	11010	Mask	Interrupt Mask
27	11011	S	Apparent Power
28	11100	Ctrl	Control
29	11101	P_H	Harmonic Active Power
30	11110	P_F	Fundamental Active Power
31	11111	Q_F	Fundamental Reactive Power / Page

Figura 23 – Endereçamento dos registradores do CI CS5463.
Fonte: *Datasheet CS5463 Cirrus Logic* no site *cirrus logic*⁵.

Para que o CI CS5463 permita as requisições de escrita e leitura, antes deve ser realizada a configuração de alguns registradores, conforme pode ser observado na Figura 24 através das linhas de código de configuração. A requisição de dados pode ser verificada no anexo A deste trabalho.

```

Serial.begin(115200); //Set modo de operacao
SPI.begin();          digitalWrite(CS, LOW);
SPI.setBitOrder(MSBFIRST); SPI.transfer(0x64);
pinMode(CS, OUTPUT);  SPI.transfer(0x00);
pinMode(RESET, OUTPUT); SPI.transfer(0x00);
digitalWrite(CS, HIGH); SPI.transfer(0xE1);
delay (100);          digitalWrite(CS, HIGH);
digitalWrite(RESET, LOW); delay (100);
digitalWrite(RESET, HIGH); //Set Control
delay (100);          digitalWrite(CS, LOW);
//Set Config register SPI.transfer(0x78);
digitalWrite(CS, LOW); SPI.transfer(0x00);
SPI.transfer(0x40);     SPI.transfer(0x00);
SPI.transfer(0xC0);     SPI.transfer(0x04);
SPI.transfer(0x10);     digitalWrite(CS, HIGH);
SPI.transfer(0x01);     delay (100);
digitalWrite(CS, HIGH); //Set Start Conversions
delay (100);          digitalWrite(CS, LOW);
                      SPI.transfer(0xE8);
                      digitalWrite(CS, HIGH);
                      delay (100);

```

Figura 24 – Rotina de inicialização do CI CS5463.
Fonte: Autoria própria.

Após a coleta dos dados, as informações recebidas devem ser processadas para uma melhor interação com o usuário final. O processamento dessas informações será melhor descrito na subseção 3.1.8.2.

3.1.8.2 Processamento das informações

As informações coletadas por meio da placa de controle, vindas da placa de medição, precisam ser modificadas para valores compatíveis com as grandezas em questão. Para tal, cada dado recebido é atribuído a uma equação padrão disponibilizada pelo fabricante. A Equação 1 representa o processamento do dado para obtenção da potência ativa ou fator de potência e após o cálculo se obtém um valor no intervalo que compreende $[-1,1[$. A Equação 2 é utilizada na obtenção da potência aparente cujo valor está no intervalo $[0,1[$. Já a Equação 3 deve ser utilizada na obtenção dos valores de tensão e corrente eficaz, obtendo-se valores no intervalo $[0,1[$. Os valores obtidos das equações são então convertidos em valores compatíveis com a grandeza medida num processo de calibração (descrita na subseção 3.3). No anexo A é possível verificar o algoritmo com a rotina para requisições de leitura ao CI CS5463.

$$\text{VALORdecimal} = -\text{MSB} \times \frac{1}{2^{23}-1} \times \text{hexToDec}(\text{VALORhexadecimal}) \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{VALORdecimal} = \left[\frac{1}{2^{23}-1} \right] \times \text{hexToDec}(\text{VALORhexadecimal}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{VALOR}_{\text{decimal}} = \left\lfloor \frac{1}{2^{24}-1} \right\rfloor \times \text{hexToDec}(\text{VALOR}_{\text{hexadecimal}}) \quad \text{Eq. 3}$$

Uma vez processados, os dados contendo as informações coletadas devem ser enviadas para um servidor, esta etapa será descrita na subsecção 3.1.8.3.

3.1.8.3 Envio de dados processados ao servidor

O envio das informações ao servidor se dá de modo sem fio onde a placa ESP-8266 se conecta ao servidor remoto (computador *Raspberry Pi*) por meio de um *broker* MQTT (servidor em comunicações MQTT) chamado Mosquitto que se encarrega do tráfego de informações (tópicos – *publisher/subscriber*) realizando a entrega ao destinatário da informação. A Figura 25 demonstra a sintaxe para *subscriber* e *publish*.



Figura 25 – Exemplo de *subscriber* e *publish*.

Fonte: Autoria própria.

O servidor foi implementado em um computador do tipo *Raspberry Pi* que será detalhado na subsecção 3.2.

3.2 Servidor

Optou-se por utilizar como servidor remoto (bloco 03 da Figura 6) um computador do tipo *Raspberry Pi*, devido ao seu reduzido custo de aquisição (em comparação a um computador *desktop*), ser compacto, baixo consumo de energia, e ser bem aceito na comunidade de desenvolvedores, principalmente em aplicações envolvendo internet das coisas. O modelo utilizado foi o B+ em sua versão 1.2 (Figura 26), dotado de 4 portas USB, 1 porta *Ethernet*, porta HDMI, saída de áudio e vídeo em formato P2, processador Cortex A7 900 MHz e memória do sistema de 1GB SDRAM.



Figura 26 – Raspberry Pi B+ versão 1.2.
Fonte: Site embarcados¹¹.

Para que o sistema funcione adequadamente, se faz necessária a instalação e configuração de um sistema operacional e algumas aplicações, conforme descreve a subseção 3.2.1.

3.2.1 Configuração *Raspberry Pi*

No computador *Raspberry Pi* o sistema operacional é instalado em um cartão de memória micro SD e que apesar de tornar o sistema mais lento oferta maior flexibilidade para cópia do sistema e instalação em outras máquinas. Como sistema operacional, optou-se pela versão *Jessie* do sistema *Raspbian* por apresentar ser mais estável em comparação com versões *Raspbian* mais atuais. Foi instalada a aplicação *Node-RED* e definido IP fixo ao servidor para que os dispositivos MQTT encontrem-o na rede.

3.2.2 Configuração broker MQTT Mosquitto

O *broker* MQTT Mosquitto foi previamente instalado no servidor e selecionada a porta de comunicação 1883 para o IP fixo definido para o servidor (192.168.0.100:1883) conforme mostra a Figura 27.

¹¹ Disponível em: < <https://www.embarcados.com.br/lancamento-raspberry-pi-2-model-b/>> Acesso em 05 jun. 2017.

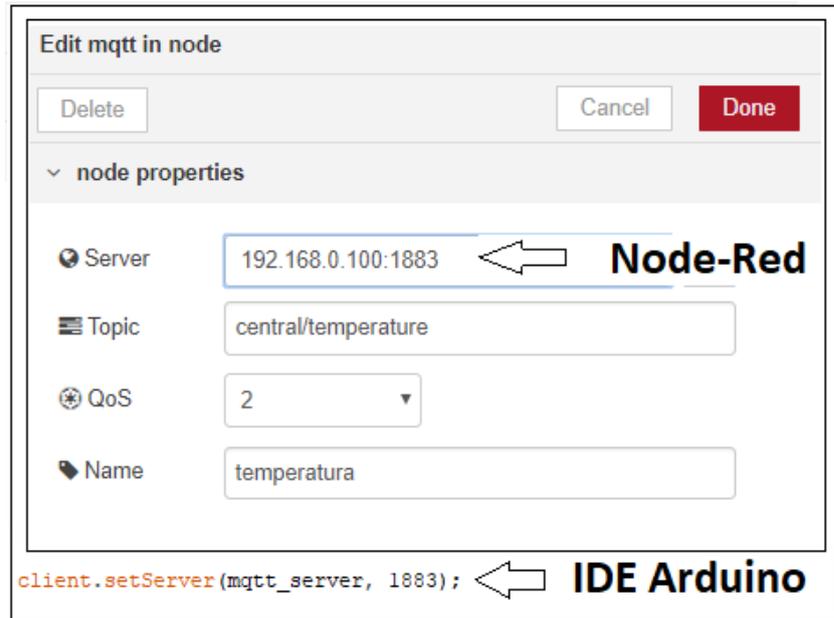


Figura 27 – Configuração MQTT *broker*.
Fonte: Autoria própria.

Com o objetivo de integrar a aplicação *Node-RED* ao módulo de aquisição de dados por meio do *broker* MQTT foi necessário utilizar nós específicos para comunicação MQTT, conforme pode ser visto na subseção 3.2.3.

3.2.3 Implementação *Node-RED*

A aplicação *Node-RED* é baseada na utilização de blocos, chamados nós (*nodes*). Cada nó possui capacidades específicas para a realização de alguma tarefa de programação. Para utilizar um dos nós basta arrastar e soltar na área chamada de *flow* e depois conectar em outros nós para que ocorra uma aplicação. São inúmeros os nós disponibilizados pela comunidade de desenvolvedores e cada nó permite a execução de uma tarefa específica.

A Figura 28 demonstra a utilização dos nós, onde os do tipo receptor MQTT transferem a informação coletada do módulo de aquisição de dados para os nós subsequentes. Os nós do tipo emissor MQTT direcionam as mensagens originadas no sistema supervisorio para o módulo de aquisição, requisitando ações de controle da central condicionadora de ar monitorada.

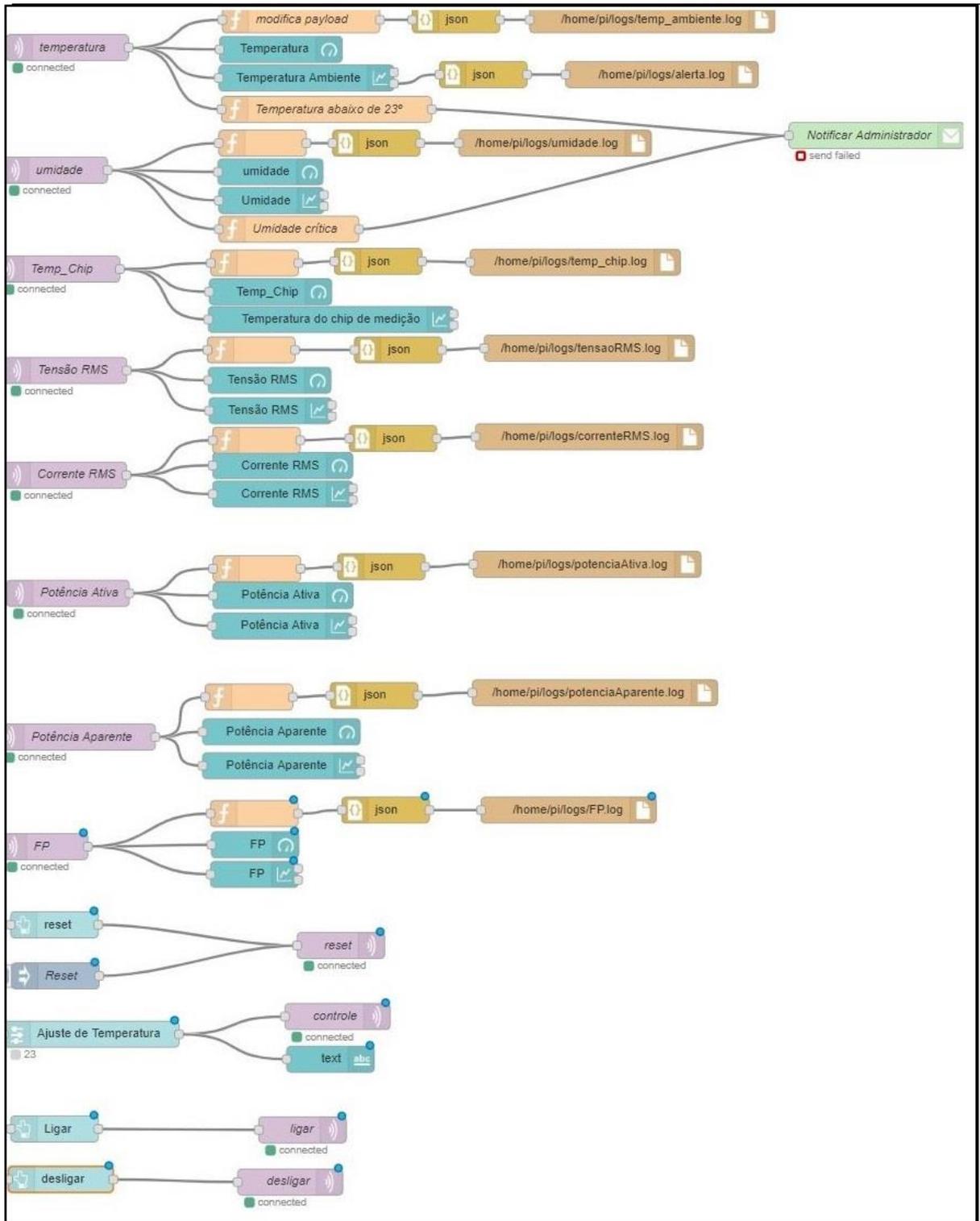


Figura 28 – Implementação Node-RED.
Fonte: autoria própria.

3.2.3.1 Integração *Node-RED* ao *broker* MQTT

A comunicação entre o servidor e o módulo de aquisição de dados se dá através do servidor *broker* MQTT Mosquitto e este utiliza a porta 1883 como padrão. No módulo de aquisição de dados, cada variável a ser monitorada publica os dados em um tópico específico. Então, o *broker* gerencia a entrega das mensagens (*payload*) de cada tópico ao servidor. Do mesmo modo, os nós MQTT configurados no *Node-RED* devem constar a inscrição no devido tópico para que se estabeleça a comunicação. A Figura 29 demonstra a integração entre a aplicação *Node-RED* e o *broker* Mosquitto.

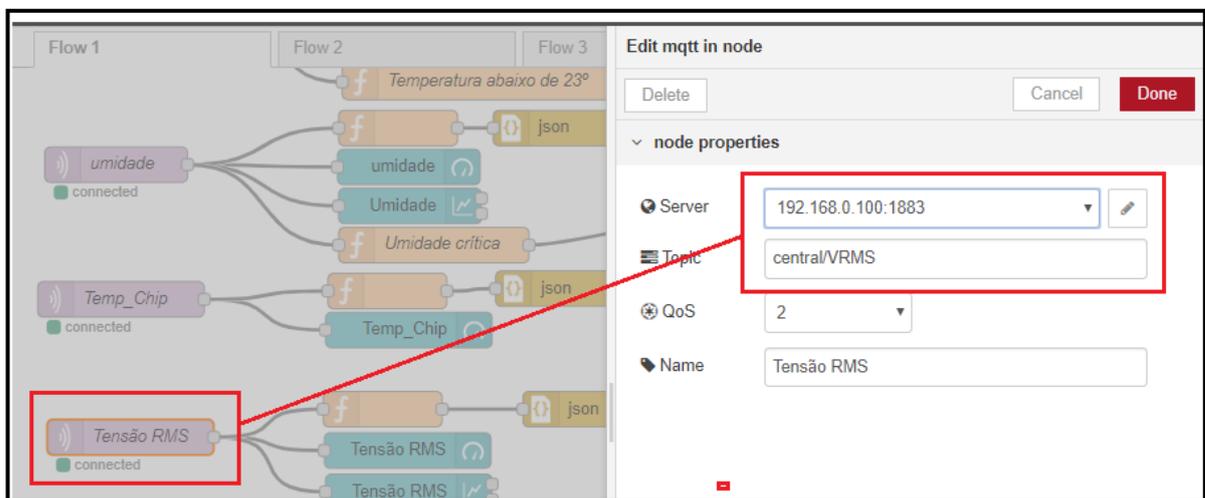


Figura 29 – Integração *Node-RED* ao *broker* Mosquitto.

Fonte: Autoria própria.

Após a configuração de integração entre a aplicação *Node-RED* e o módulo de aquisição de dados via *broker* foram então configurados os nós relativos ao supervisor do sistema (*dashboard*), conforme descreve a subseção 3.2.3.2.

3.2.3.2 *Dashboard Node-RED*

Considerando a implementação da dimensão de gerenciamento da técnica de PHM foi desenvolvida uma interface administrativa para gestão do uso de equipamentos condicionador de ar. Utilizando a aplicação *Node-RED* Mosquitto foi possível realizar a integração entre o protótipo de aquisição de dados e o servidor e ainda o desenvolvimento de um *dashboard* (interface supervisória), conforme mostrado na Figura 30.

Foram implementados mostradores que exibem o valor atual da variável e também gráficos que exibem os valores obtidos no decorrer do tempo de monitoramento. Ainda, foram implementados controles para: reiniciar o microcontrolador do protótipo de aquisição de dados; ligar e desligar a central condicionadora de ar; e ajustar o *set-point* de temperatura da central através de um botão deslizante. Os controles permitem o envio de informações diretamente para a central condicionadora de ar através de um emissor infravermelho 940 nm a uma frequência de 38 kHz idêntico ao presente no controle remoto do aparelho.

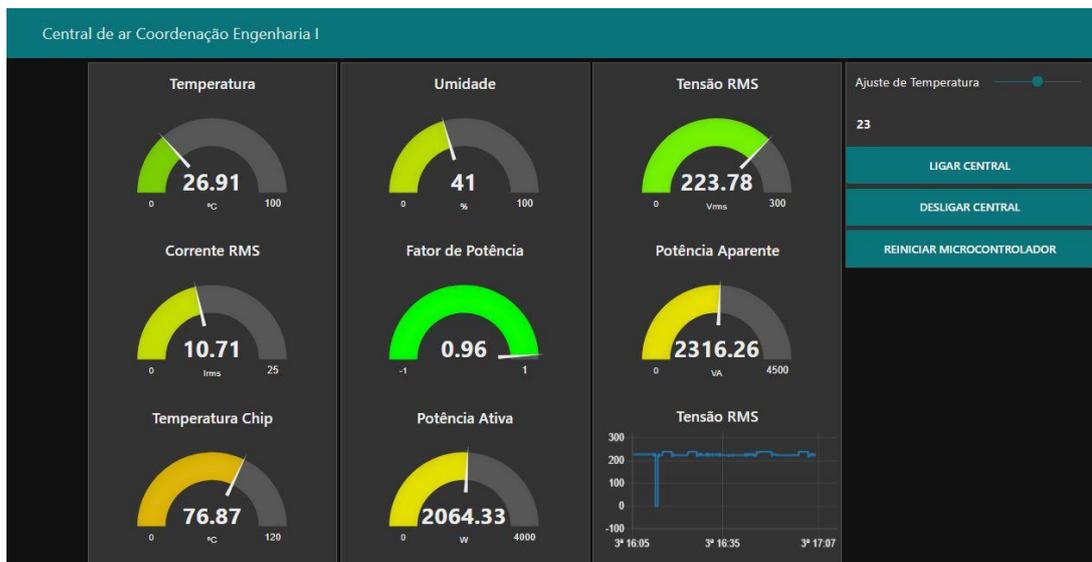


Figura 30 – *Dashboard* do sistema proposto.

Fonte: Autoria própria.

Após a etapa de projeto, impressão e corrosão das placas foi realizada à montagem dos componentes, descrita na subseção 3.2.3.3.

3.3 Produto final

O produto final foi composto por três placas de circuito impresso divididas em: placa de força; placa de controle; e placa de medição. A Figura 31 mostra a disposição dos componentes utilizados na placa de força, nesta foram utilizados conectores em bloco para fixação da fiação, conectores para alimentação 5 Vdc das placas de medição e placa de controle, e uma fonte que converte a tensão alternada da rede em tensão contínua (100-240 Vca/ 5 Vdc).



Figura 31 – Placa de força.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 32 apresenta a placa de controle que embarca: o módulo microcontrolador *Wemos D1 mini lite*; o módulo RTC; o sensor de temperatura e umidade DHT11; e o LED infravermelho. Há ainda conexão para alimentação da placa e pinos de interligação à placa de medição para comunicação com esta.



Figura 32 – Placa de controle.
Fonte: Autoria própria.

A placa de medição, demonstrada na Figura 33, embarca: o CI CS5463 responsável pelas medições das variáveis elétricas; os transformadores de tensão ZMTP101B que isolam e limitam os níveis de tensão para proteger o CI de medição; o transformador de corrente que no enrolamento primário recebe a corrente nominal da rede e em circuito secundário se conecta a um transformador de tensão ZMTP101B.



Figura 33 – Placa de medição.
Fonte: Autoria própria.

Com o objetivo de acomodar e proteger as placas eletrônicas foi realizado o projeto em CAD de uma caixa nas dimensões 9 x 9 x 7,5 cm com tampa no *software sketchup 2017 make* da Google e fabricado em termoplástico biodegradável PLA (*Polylactic Acid*) por meio do *software CURA* em uma máquina de prototipagem rápida (impressora 3D). A Figura 34 mostra o resultado final da caixa de proteção.

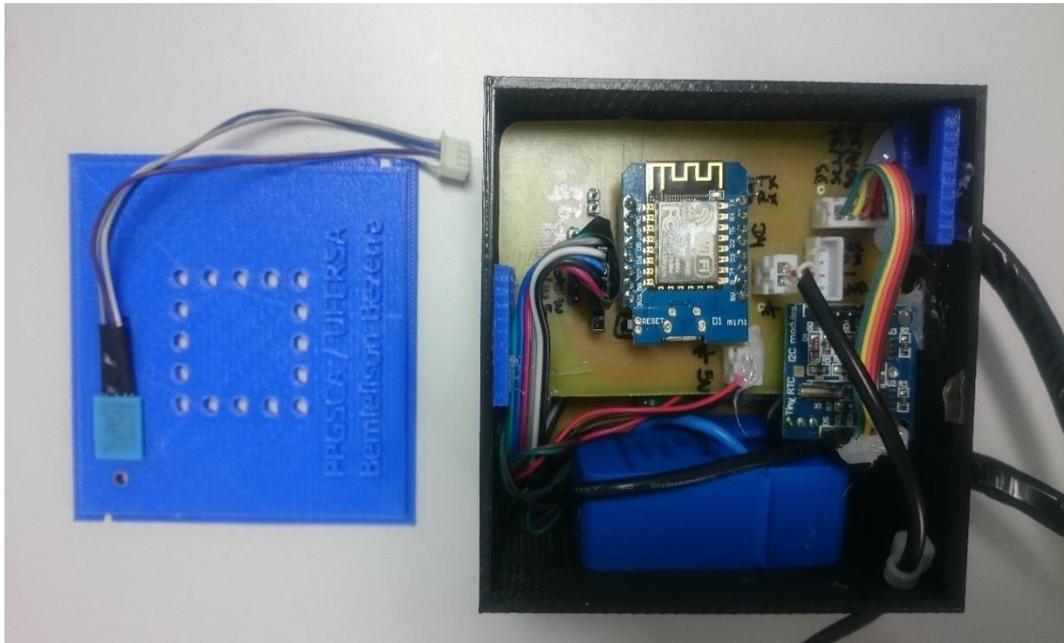


Figura 34 – Caixa de proteção e acomodação.
Fonte: Autoria própria.

Após a montagem das placas eletrônicas foi necessário realizar um procedimento de calibração (descrito na subseção 4.1) para adequação das variáveis elétricas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo mostra o procedimento e os resultados obtidos do ajuste de calibração do circuito de medição e a especificação do equipamento condicionador de ar a ser monitorada. Também, são descritos os resultados dos testes no sistema de uma central condicionadora de ar pertencente à UFERSA com a aplicação dos princípios de PHM, bem como os custos envolvidos com a fabricação do protótipo de aquisição de dados e discussão voltada aos casos de desperdício de energia elétrica na UFERSA.

4.1 Calibração do protótipo

A calibração se fez necessária uma vez que os valores das grandezas elétricas disponibilizados pelo CI CS5463, apesar de proporcionais, precisam ser convertidos em unidades convencionais. Assim, fazendo uso de um analisador de energia, foi realizado a comparação entre o valor medido pelo protótipo e o analisador de energia para obter as equações de ajuste de tensão (Figura 35) e corrente eficaz (Figura 36). As equações de ajuste foram introduzidas no *firmware* do microcontrolador e então uma nova comparação foi realizada para averiguar a adequação entre os valores obtidos do protótipo e do analisador de energia.

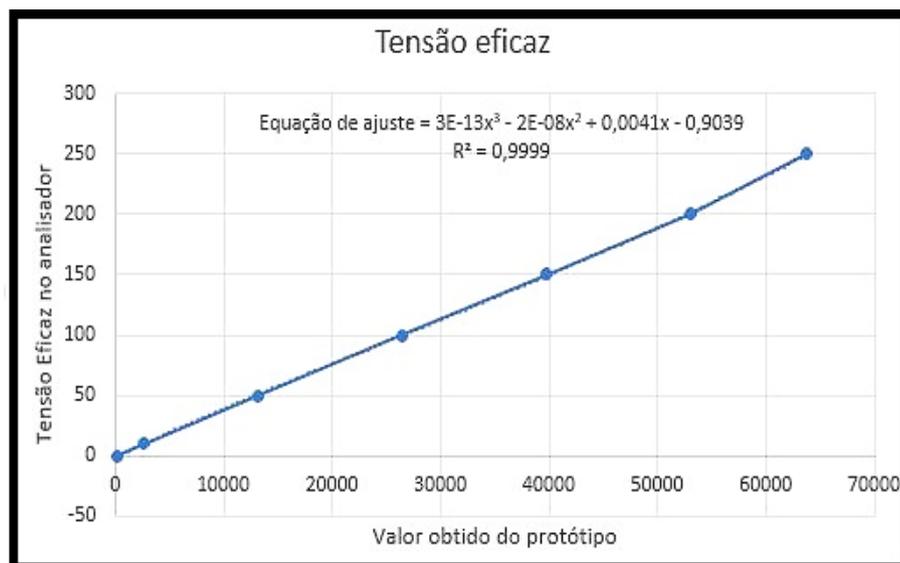


Figura 35 – Calibração da tensão eficaz.

Fonte: Autoria própria.

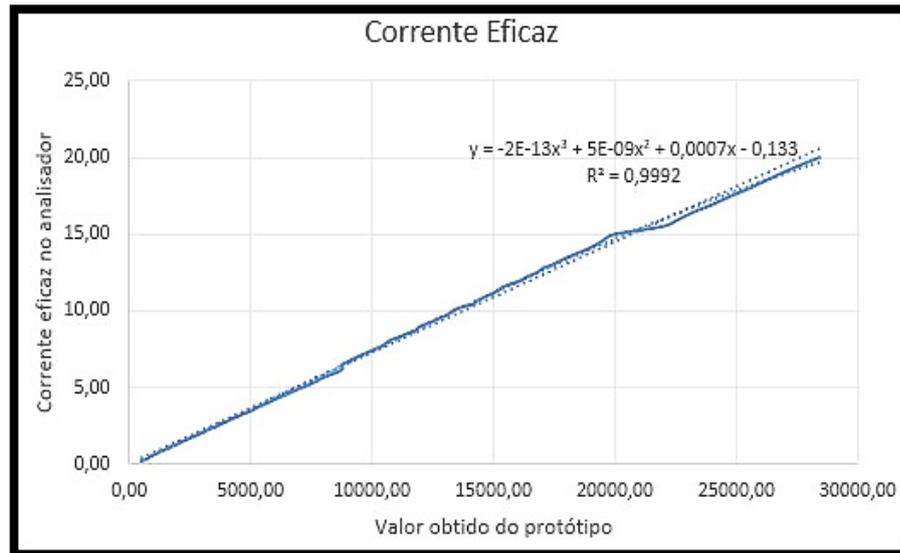


Figura 36 – Calibração da corrente eficaz.
 Fonte: Autoria própria.

O analisador de energia utilizado foi da fabricante Minipa, modelo ET-5061C, apresentado na Figura 37 que também mostra uma das medições efetuadas durante o procedimento de calibração. O processo de calibração considerou limites máximos para os valores de tensão e corrente eficaz, sendo estes 250,0 Vca e 20,0 A, respectivamente.

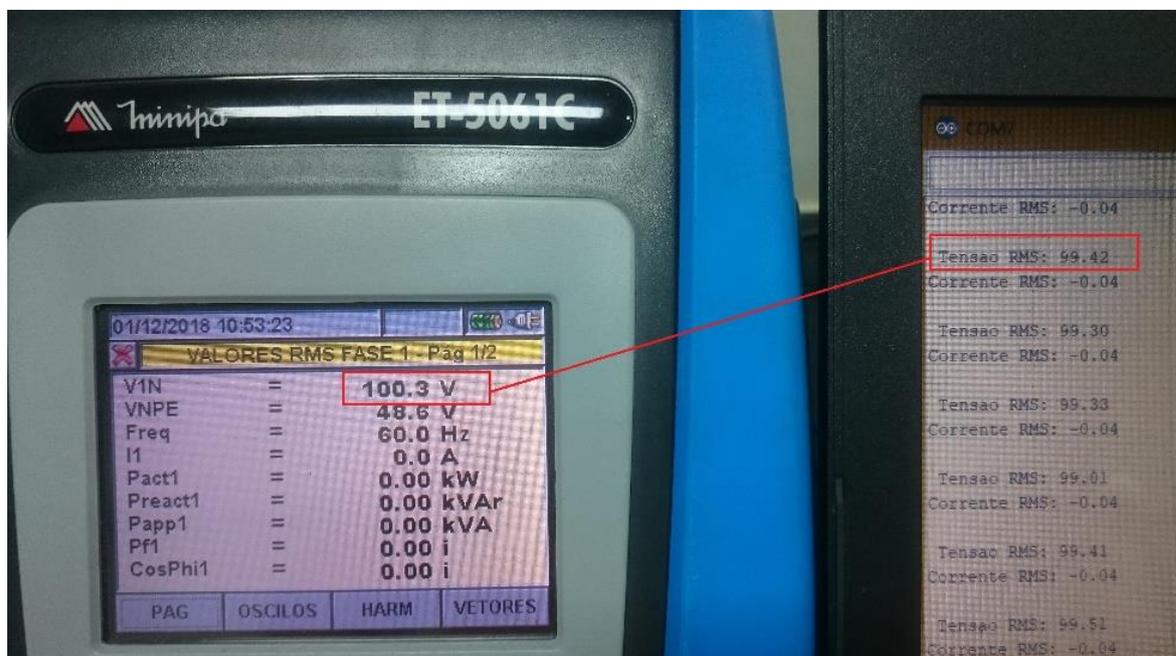


Figura 37 – Analisador de energia ET-5061C Minipa durante a calibração.
 Fonte: Autoria própria.

As Tabela 2 e Tabela 3 mostram alguns dos valores obtidos após a calibração.

Tabela 2 – Calibração da tensão eficaz.

Tensão Eficaz (V)		
Analizador	Protótipo	Erro (%)
25,00	25,15	0,59
100,30	99,42	- 0,88
150,30	149,83	- 0,31
200,70	201,93	0,61
250,40	253,01	1,03

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Calibração da corrente eficaz.

Corrente Eficaz (A)		
Analizador	Protótipo	Erro (%)
1,00	0,97	- 3,09
5,00	5,01	0,20
10,10	10,06	- 0,39
15,10	15,18	0,52
20,10	20,30	0,98

Fonte: Autoria própria.

Para validar o protótipo foi escolhida uma central condicionadora de ar pertencente à universidade UFERSA, conforme descrito na subseção 4.2.

4.2 Equipamento monitorado

Para validação do protótipo, foi utilizado uma das centrais condicionadoras de ar da UFERSA a fim de receber o protótipo e por conseguinte proceder as medições das variáveis elétricas e de ambiente. O condicionador de ar utilizado nas medições encontra-se instalado no campus central, prédio de engenharia I, lado leste e em perfeito estado de funcionamento. A Figura 38 mostra o protótipo instalado na central condicionadora de ar e a Tabela 4 mostra os dados do fabricante relativos deste equipamento.



Figura 38 – Protótipo instalado no condicionador de ar da UFERSA.
Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 – Especificações do fabricante do condicionador de ar.

Modelo	SRFE-24000-2
Capacidade de refrigeração	24000 BTU/h 7033 W
Alimentação elétrica	220 Vca
Frequência	60 Hz
Corrente	11,5 A
Potência	2490 W

Fonte: Autoria própria.

Após a escolha da central condicionadora de ar foram realizados testes de operação do sistema como um todo, sendo estes descritos na subseção 4.4.

4.3 Custos do protótipo

Os custos envolvidos na fabricação do protótipo de aquisição de dados são individualizados por placa. Na Tabela 5, são apresentadas as informações necessárias à construção da placa de controle, sendo o módulo *Wemos D1 Mini lite* o de maior valor.

Tabela 5 – Custos de aquisição dos componentes da placa de controle.

Placa de Controle				
Item	Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1	Placa Wemos D1 Mini lite	1	R\$10,55	R\$ 10,55
2	LED infravermelho 940 nm 5 mm	1	R\$ 0,47	R\$ 0,47
3	Módulo RTC DS1307	1	R\$ 2,61	R\$ 2,61
4	Sensor de temperatura DHT11	1	R\$ 3,38	R\$ 3,38
5	Conector 2 fios 3.5 mm	1	R\$ 0,37	R\$ 0,37
6	Conector 4 fios 3.5 mm	1	R\$ 0,71	R\$ 0,71
7	Conector 5 fios 3.5 mm	1	R\$ 0,87	R\$ 0,87
8	Conector 6 fios	1	R\$ 1,05	R\$ 1,05
9	Resistor SMD 5 k Ω	1	R\$ 0,01	R\$ 0,01
10	Placa fenolite virgem 10 x 15 cm	1	R\$ 5,87	R\$ 5,87
			Total:	R\$ 25,89
Cotação AliExpress.com, incluso frete				

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 6, são disponibilizados os custos para construção da placa de força, sendo a fonte AC/DC o item mais oneroso.

Tabela 6 – Custos de aquisição dos componentes da placa de força.

Placa de Força				
Item	Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1	Conector 2 fios 3.5 mm	5	R\$ 0,37	R\$ 1,85
2	Conector 3 fios serie CTB5202	1	R\$ 0,54	R\$ 0,54
3	Fonte 100-240 Vca / 5 Vdc TSP-05	1	R\$ 14,11	R\$ 14,11
4	Placa fenolite virgem 10 x 15 cm	1	R\$ 5,87	R\$ 5,87
			Total:	R\$ 22,37
Cotação AliExpress.com, incluso frete				

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 7, é apresentado o orçamento para construção da placa de medição. Esta possui o maior custo dentre as 3 placas e se justifica pela utilização do transformador de corrente SCT-013-30, o item de maior valor dentre todos desta placa.

Tabela 7 – Custos de aquisição dos componentes da placa de medição.

Placa de Medição				
Item	Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1	CI CS5463 fabricante <i>Cirrus Logic</i>	1	R\$ 2,62	R\$ 2,62
2	Conector 2 fios	5	R\$ 0,37	R\$ 1,85
3	Conector 6 fios	1	R\$ 1,05	R\$ 1,05
4	Transformador ZMTP101B	2	R\$ 4,38	R\$ 8,76
5	Transformador SCT-013-30	1	R\$ 28,93	R\$ 28,93
6	Resistor SMD 230 k Ω	1	R\$ 0,01	R\$ 0,01
7	Resistor SMD 140 Ω	1	R\$ 0,01	R\$ 0,01
8	Resistor SMD 1 k Ω	6	R\$ 0,01	R\$ 0,08
9	Resistor SMD 500 Ω	1	R\$ 0,01	R\$ 0,01
10	Resistor SMD 85 Ω	1	R\$ 0,01	R\$ 0,01
11	Capacitor SMD cerâmico 220 pF	4	R\$ 0,08	R\$ 0,32
12	Capacitor SMD cerâmico 22 nF	2	R\$ 0,08	R\$ 0,16
13	Capacitor SMD cerâmico 0.1 uF	1	R\$ 0,08	R\$ 0,08
14	Oscilador 4.096 Mhz	1	R\$ 8,56	R\$ 8,56
15	Placa fenolite virgem 10 x 15 cm	1	R\$ 5,87	R\$ 5,87
Total:				R\$ 58,33

Cotação AliExpress.com, incluso frete

Fonte: Autoria própria.

Já na Tabela 8 é possível observar o somatório total dos custos envolvidos na construção do protótipo.

Tabela 8 – Custos totais.

Item	Descrição	Custo Total
1	Placa de controle	R\$ 25,89
2	Placa de força	R\$ 22,37
3	Placa de medição	R\$ 58,33
4	Impressão 3D da caixa para acomodação das placas	R\$ 10,00
5	Impressão PCB	R\$ 12,00
Total:		R\$ 116,59

Fonte: Autoria própria.

4.4 Aplicação da técnica PHM

A aplicação da técnica de PHM se fundamenta na implementação das quatro dimensões (sensoriamento, diagnóstico, prognóstico e o gerenciamento). Assim, o presente

trabalho se propôs a desenvolver um sistema baseado em PHM que reúne elementos que possibilitam a aplicação parcial ou integral da técnica citada.

No que se refere à dimensão de sensoriamento o sistema contemplou a utilização de sensores para captura de variáveis elétricas (tensão e corrente eficaz, potência ativa e aparente e fator de potência) e de ambiente (temperatura e umidade do ambiente).

Para a dimensão referente ao diagnóstico, foram utilizados os dados técnicos fornecidos pelo fabricante do equipamento condicionador de ar a fim de avaliar falhas críticas que possam comprometer o uso do equipamento (tensão, corrente ou temperatura elevadas; umidade relativa do ar em nível crítico).

A implementação da dimensão de prognóstico, por requerer conhecimentos relacionados às leis físicas sobre como as coisas se degradam (abordagem física da falha) e/ou a utilização do histórico de funcionamento monitorado no decorrer do tempo (abordagem baseada em dados), poderá ser contemplada em trabalhos futuros. No entanto, os elementos necessários à captura dos dados e armazenamento do histórico de funcionamento estão todos considerados neste trabalho.

A dimensão de gerenciamento se refere à correta tomada de decisão para evitar falhas catastróficas, reduzir custos, entre outros. O sistema proposto neste trabalho contempla uma interface supervisória dotada de comandos para controlar o funcionamento da central condicionadora de ar e rotinas para notificar ao administrador do sistema casos de uso em inconformidade.

4.5 Monitoramento da central condicionadora de ar

O equipamento condicionador de ar estava instalada e em funcionamento contínuo. O regime de uso deste equipamento ocorre em horário diurno com parada durante o horário de descanso dos servidores do setor. Assim, o equipamento permanece em funcionamento geralmente por 8 horas/ dia de segunda à sexta-feira.

O protótipo foi instalado e com início de monitoramento às 11h00min do dia 04/12/2018. Durante o monitoramento foi possível observar flutuações no nível de tensão da rede elétrica que alimenta a central condicionadora de ar em função da entrada/saída do compressor do equipamento. Porém, normalizando-se em seguida em valores compatíveis com a especificação do fabricante.

Com relação à corrente eficaz monitorada, foi possível observar picos ocorridos também durante a entrada/saída do compressor do equipamento e normalizando-se entre 10,5

A e 11,5 A, valores estes compatíveis com os especificados pelo fabricante do equipamento. A Figura 39 exibe o comportamento descrito e ocorrido durante as medições.

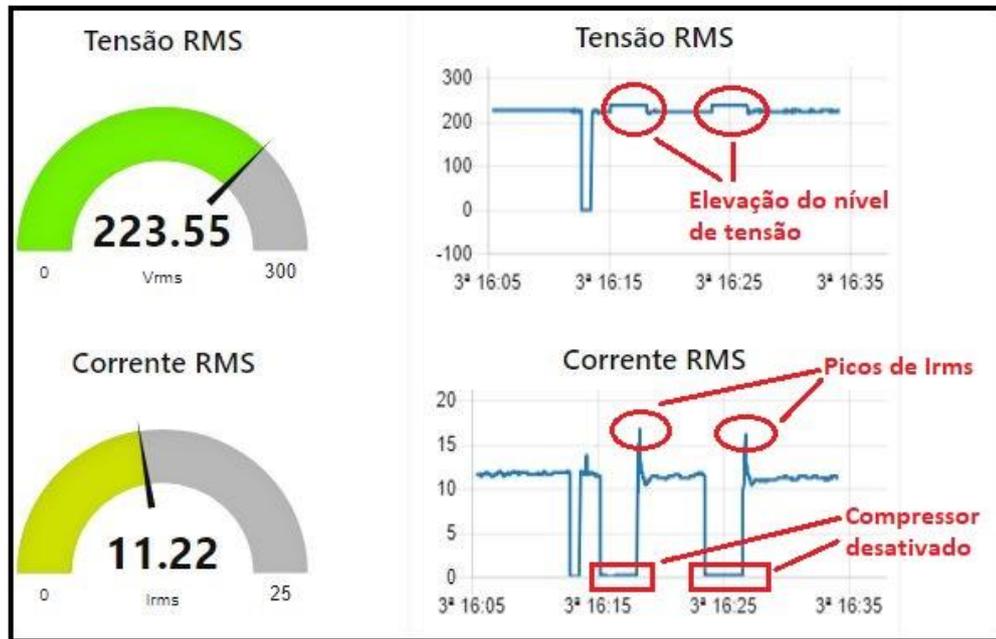


Figura 39 – Valores de tensão e corrente eficaz obtidos nos testes.
Fonte: Autoria própria.

A potência ativa instantânea consumida medida atingiu picos de 3.100,0 W, porém normalizou-se em valor próximo de 2.100,0W também compatível com o especificado pelo fabricante, conforme Figura 40.

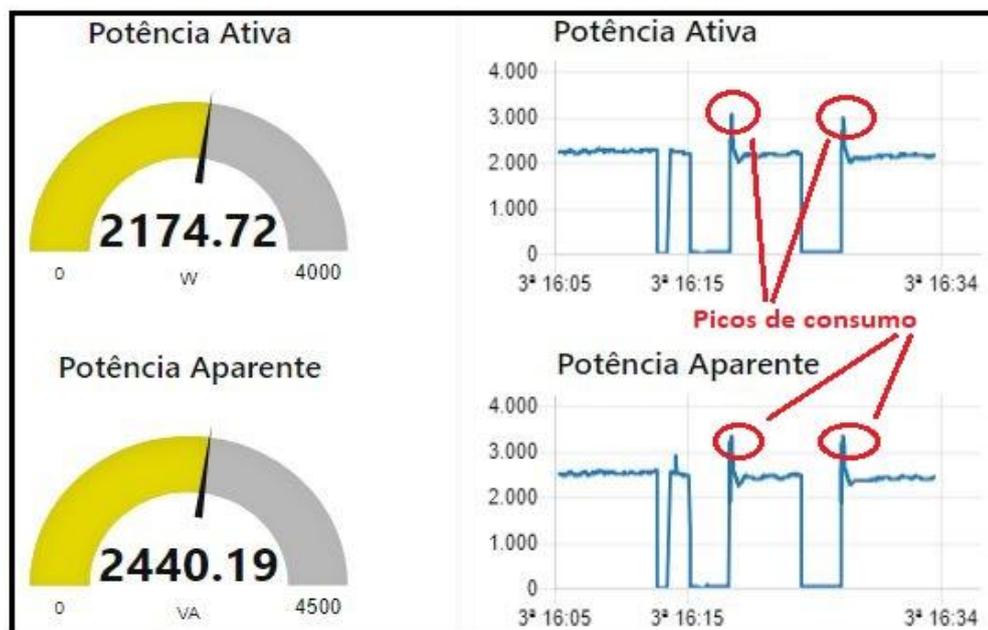


Figura 40 – Valores de potência ativa e aparente obtidos nos testes.
Fonte: Autoria própria.

A partir dos registros obtidos nas medições das variáveis de ambiente, foi possível observar uma relação direta entre as variações de temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar, conforme mostrado nas Figura 41 e Figura 42.



Figura 41 – Valores de temperatura ambiente obtidos nos testes.
Fonte: Autoria própria.



Figura 42 – Valores de umidade relativa do ar obtidos nos testes.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 43, é apresentada a interface supervisória *dashboard* parte 2/2.



Figura 43 – *Dashboard* parte 2/2.

Fonte: Autoria própria.

Obedecendo a dimensão de diagnóstico da técnica de PHM, foi implementada uma rotina de desligamento da central condicionadora de ar em casos que configurem curto-circuito (corrente elétrica superior à 50^a), sobretensão (tensão elétrica superior à 270 Vca) e/ou incêndio (temperatura superior à 60°C). Nos casos em que a umidade relativa do ar encontrar-se em níveis abaixo de 30 %, uma notificação deverá ser enviada ao administrador do sistema e do mesmo modo ocorre caso o usuário utilize a central condicionadora de ar em temperatura inferior à 23°C (mínimo permitido pela portaria UFERSA N° 0430/2016).

4.6 Eficiência energética

Uma matriz elétrica, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), é o conjunto de fontes de energia disponível apenas para geração de energia elétrica de um país e espécie do gênero matriz energética.

No Brasil, segundo o relatório síntese do balanço energético nacional 2018 (ano base 2017), o consumo final de eletricidade nos setores residencial, comercial e industrial cresceram 0,8 %, 1,5 % e 1,1 %, respectivamente, em relação ao ano base 2016, mas em contrapartida houve uma redução de 3,4 % da energia hidráulica disponibilizada em relação ao mesmo ano devido às condições hidrológicas desfavoráveis. Para equilibrar o aumento do consumo de eletricidade ao baixo nível dos reservatórios hidráulicos a geração eólica assumiu um papel de destaque ao passo que atingiu 42,4 TWh que representa um aumento de 26,5 % em relação ao ano anterior.

Conforme a EPE, a participação de energias renováveis na matriz elétrica do Brasil (80,4 % – ano base 2017) se manteve entre as maiores do mundo (22,8 % – ano base 2015). Apesar do destaque frente aos índices mundiais de uso de energias renováveis o Brasil enfrenta o desafio de suprir a crescente demanda do consumo de energia elétrica ao passo que sofre com a escassez das reservas hídricas. Em virtude disso, o Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão (MPOG), através da portaria N° 23 de 12 de fevereiro de 2015, estabelece regras de boas práticas de gestão e uso de energia elétrica e de água nos órgãos e entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional e dispõe ainda sobre o monitoramento do consumo desses bens e serviços.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), é uma autarquia especial vinculada ao ministério da educação e criada pela lei N° 11.155/2015, se sujeira à portaria n° 23 do MPOG e em consonância com esta emitiu a portaria UFERSA/GAB N° 0430/2016 que estabelece práticas para gestão e uso da energia elétrica em busca de maior eficiência energética relacionada ao consumo de eletricidade na instituição. Nesta portaria foram contemplados equipamentos de consumo destinados à iluminação e refrigeração (condicionadores de ar), e deste último observam-se as seguintes determinações:

- Art. 1° / I – A temperatura de funcionamento dos condicionadores de ar deve ser programada para, no mínimo, 23°C ou em 50 % do botão de giro do termostato, nos ambientes onde o controle de temperatura visa o controle térmico;
- Art° 1 / II – Os condicionadores de ar devem permanecer desligados em todos os ambientes, fora dos horários de atividades administrativas e acadêmicas e nos momentos em que não houver ocupação, exceto nos casos previstos nesta portaria (...);
- Art. 2° – O uso da iluminação e dos condicionadores de ar em condições diversas das estabelecidas no Art. 1°, quando justificável, deve ser solicitado pela chefia da unidade requisitante, em formulário próprio disponibilizado no site da UFERSA, onde conste a

justificativa técnica para tal situação a ser previamente autorizada pela SIN, para surtir efeito;

- Art. 3º – Caberá à Superintendência de Infraestrutura (SIN) a responsabilidade pelo acompanhamento do cumprimento desta Portaria, no que se refere ao uso da iluminação e dos condicionadores de ar, devendo (...).

A partir desta portaria, a UFERSA, através da SIN, intensificou a divulgação dos procedimentos a serem observados para uso eficiente da energia elétrica. E por meio da direção de serviços de vigilância, realizou o controle do registro das ocorrências em inconformidade com a portaria citada, no período de vistorias noturnas (após às 22h30min). Apesar dos esforços, em relatório apresentado por meio de memorando eletrônico relativo ao primeiro semestre de 2018, foi possível observar um grande número de ocorrências em descumprimento da portaria, fato que gerou desperdício de energia elétrica e consequentemente aumento das despesas, além de reduzir a vida útil dos equipamentos utilizados sem necessidade. As ocorrências, segundo o relatório, foram divididas de acordo com o tipo de equipamento ligado em inconformidade com a portaria, ou seja, iluminação e condicionadores de ar e etc, conforme apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Ocorrências de descumprimento da portaria UFERSA N° 0430/2016.

Local de ocorrência	Condicionador de ar energizado	Iluminação energizada	Equipamentos condicionadores de ar e iluminação simultâneos
Prédio X	16	16	0
Prédio Y	13	10	0
Prédio Z	24	10	0
Prédio W	135	26	18
TOTAL	188	62	18

Fonte: Autoria própria.

Se forem consideradas apenas as ocorrências relacionadas com as centrais condicionadoras de ar do prédio X, cujas centrais predominantemente apresentam potência de refrigeração de 12.000 BTU, potência nominal de refrigeração de 1.096 W e classificação energética “A” (PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) pode-se estimar o desperdício causado.

Hipoteticamente:

Potência nominal: 1.096 W;

Consumo/hora: 0.766 kWh;

Valor médio kWh/fora de ponta: R\$ 0,33;

Período de tempo: 12 h por ocorrência;

Quantidade de ocorrências: 16.

O desperdício total seria de aproximadamente **147 kWh**, mas se estes dados forem estendidos para as demais ocorrências obtém-se um desperdício aproximado de **1.728,0 kWh** no período de seis meses. Se for considerado que a UFERSA está inscrita no grupo tarifário A4 e que o custo médio por kWh em horário fora de ponta nos primeiros seis meses de 2018 foi de aproximadamente **R\$ 0,33** teríamos então um desperdício total de **R\$ 570,24**, considerando apenas quatro prédios da universidade. Esta estimativa de desperdício apresentada é o cenário mais otimista, de custo mínimo, porém algumas das inconformidades ocorreram em prédio de laboratórios em que as centrais condicionadoras de ar são de potência mais elevada e ainda a energização indevida das máquinas pode ter ocorrido durante o horário de ponta (quando o custo por kWh supera cinco vezes o valor fora da ponta) e a equipe de vigilância somente realizou o registro após às 22h30min.

Diante do exposto, evidenciasse a necessidade da aplicação de medidas alternativas que garantam o efetivo cumprimento da portaria em questão e que promova economia de energia e prolongamento da vida útil dos equipamentos. Assim, a aplicação do sistema proposto neste presente trabalho, no ambiente da UFERSA, lança-se como potencial opção para combater o desperdício de energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão do protótipo e realização dos testes em uma central condicionadora de ar, foi possível verificar a eficiência do proposto trabalho no que se refere ao monitoramento das variáveis elétricas e de ambiente em tempo real, e a partir destas, diagnosticar a inexistência/existência de problemas críticos que afetem o funcionamento da central condicionadora de ar. Os níveis de tensão, corrente, fator de potência e a potência ativa, encontravam-se em conformidade com os dados técnicos fornecidos pelo fabricante e legislação pertinente, reduzindo assim a urgência na realização de manutenção corretiva.

O servidor *broker* MQTT Mosquitto executou sua função com eficiência ao realizar o tratamento das mensagens através de tópicos e mostrou-se robusto para utilização em grande escala. O *dashboard* da aplicação *Node-RED* mostrou-se excepcional ao apresentar rapidez nas atualizações da página.

Foi observado que o servidor, na qual foi utilizado um computador *Raspberry*, apesar de executar as ações pretendidas, apresentou lentidão e travou a aplicação algumas vezes em função de limitações na capacidade de processamento. Logo, considerando a aplicação do sistema para quantidades maiores de centrais condicionadoras de ar, torna-se prudente a utilização de servidores dedicados com maior poder de processamento.

O emissor infravermelho, requer a instalação em uma porta GPIO diferente da utilizada, pois caso contrário provoca o travamento do sistema.

O monitoramento da variável umidade relativa do ar, considerando que a utilização dos condicionadores de ar tornam o ar mais seco, poderá contribuir para melhoria da salubridade do ambiente ao alertar sobre níveis críticos e reduzir os riscos de doenças respiratórias.

Os botões de controle mostraram-se eficientes e permitem que o administrador do sistema intervenha em casos na qual haja inconformidade no uso do equipamento. A exemplo dos casos de uso da central condicionadora de ar em horário incompatível com as atividades acadêmicas e/ou ajuste de temperatura inferior à 23°C, transgredindo a portaria UFERSA 0430/2016. Deste modo, a instalação do protótipo poderá vir a combater o desperdício de energia elétrica ao passo que contribui para o cumprimento da portaria já citada.

A aplicação *Node-RED* mostrou-se como uma poderosa ferramenta de integração entre os módulos microcontrolados e a interface administrativa de monitoramento remoto. E oferece a possibilidade de uso de recursos modernos e complexos para o desenvolvimento dos sistemas mais robustos.

Por fim, apesar de sucintas, as funções implementadas para validação do protótipo se revelou eficiente e uma ferramenta útil na tarefa de gerenciamento remoto local/automático da manutenção. Além do controle de uso para fins de redução do desperdício de energia elétrica. O monitoramento contínuo das grandezas elétricas e de ambiente, gerando um histórico de dados, proporcionarão a possibilidade de implementação de recursos de reconhecimento de desvios de parâmetros e conseqüentemente da saúde do equipamento.

Assim, se poderá, não apenas identificar a avaria, mas prever a vida útil do equipamento antes da falha, com o intuito de traçar as estratégias de manutenção. Rotinas de desenergização dos equipamentos condicionadores de ar nos horários em que não haja atividade acadêmica evitará o desperdício de energia elétrica e conseqüentemente aumentará a vida útil destes.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros sugere-se: a implementação das rotinas de medição de consumo; computo das horas em funcionamento; simulação de defeitos; inserção de formulários para agendamento de horários permitidos para funcionamento do equipamento; integração à nuvem computacional; implementação de técnicas de IA (Inteligência Computacional) com abordagem PHM baseada em dados; e a divisão do *dashboard* por setor e/ou por máquinas para o gerenciamento destes.

Ainda sugere-se: a confecção do módulo de aquisição de dados em placa única, dupla face, para reduzir o tamanho e a necessidade de cabos de interligação; a inserção de dissipador de calor sobre o CI CS5463 a fim de melhorar a dissipação de calor; a instalação do sensor de temperatura e umidade junto ao LED infravermelho; a instalação de um relé para seccionamento do circuito; e o desenvolvimento de um circuito para comutação do LED infravermelho durante a inicialização do microcontrolador.

REFERÊNCIAS

ANGRISAN, L. *et al.* **First step towards a cost-effective IoT platform for customers power consumption awareness.** 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8078388/>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

CAVALCANTE, C. G. S.; ALMEIDA, T. D. Os benefícios da Indústria 4.0 no gerenciamento das empresas. **Journal of Lean Systems.** v.3, n. 1, 2017, pp. 125-152.

IE, A. B.; MINERVA, R.; ROTONDI, D. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). **IEEE Internet Initiative.** 2015.

CIABATTONI, L. *et al.* IoT based indoor personal comfort levels monitoring. **In: IEEE International Conference on Consumer Electronics.** doi:10.1109/ICCE.2016.7430548. 2016.

COSTA, E. C. **Refrigeração.** 3ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013.

DUFFUAA, S. O.; RAOUF, A.; CAMPBELL, J. D. **Planning and control of maintenance systems: modeling and analysis.** New York: John Wiley & Sons, c1999. 371p.

IEEE. Special Report: The Internet of Things. [Online]. Disponível em: <<http://theinstitute.ieee.org/static/special-report-the-internet-of-things>>. 2014.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001

.

KWON, D. *et al.* IoT-Based Prognostics and Systems Health Management for Industrial Applications. **IEEE Access,** v.4, pp. 3659-3670. doi: 10.1109/access.2016.2587754. 2016.

MONTGOMERY, N.; BANJEVIC, D. e JARDINE, A. K. S. Minor maintenance actions and their impact on diagnostic and prognostic CBM models. **In: Journal of Intelligent Manufacturing.** v.23, n.2, pp. 303-311. 2012.

MOSQUITTO: Broker MQTT. Broker MQTT. 2017. Disponível em: <<https://mosquitto.org/>> Acesso em: 20/08/2017. 2017.

MOUBRAY, J. **Reliability- centred maintenance**. Oxord: Butterworth- Heinemann, 1997.

NODE-RED. Disponível em: <<https://nodered.org/>>. Acesso em: 20/04/2017. 2017.

PECHT, M. G.; GU, J. **Prognostics and Health Management of Electronics**. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2008.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

RASPBERRY PI FOUNDATION. Raspberry Pi. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>> Acesso em: 01/02/2017. 2017.

RIZOPOULOS, D. **In: Joint Models for Longitudinal and Time-to-Event Data: With Applications in R**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012.

SAMIE, F.; BAUER, L.; CHAIR, J. IoT Technologies for Embedded Computing: A Survey. **In: International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis**, Pittsburgh. doi: 10.1145/2968456.2974004. 2016.

SANTAROSSA, M.; DAS, N. HELWIG, A.; AHFOCK, T. Energy Management and Automated Analytics for Reduction of Energy Consumption. **In: 2016 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)**. doi: 10.1109/AUPEC.2016.7749315

SI, X.-S; Wang, W.; HU, C.-H, e ZHOU, D.-H. **Remaining useful life estimation. A review on the statistical data driven approaches**. Eur. J. Oper. Res., vol. 213, 2012. pp. 1_14.

SLACK, N. *et al.* **Administração da Produção**: edição compacta. São Paulo: Atlas, 1999. 526 p.

TAVARES, L. A. **Excelência na manutenção**: estratégias, otimização e gerenciamento. Salvador: Casa da Qualidade Editora, 1996. p. 130-131.

WINIG, L. GE's big bet on data and analytics. **In: Proc. MIT Sloan Manage. Rev.**, vol. 57. 2016. pp. 1-16.

XENOS, H, G, P. **Gerenciamento da manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, c1988. 302 p.

ANEXO A

Algoritmo para análise dos resultados das medições de tensão e corrente eficaz, consumo instantâneo de energia ativa, aparente e fator de potência:

```

/*
 * PPGSCA UFERSA DEZ/2018
 * Discente: Bemielilson Gletson da Silva Bezerra
 * Orientador: Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale
 * Co-Orientadora: Prof.ª Dr.ª Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra
 * Tema: IoT BASEADA EM PHM APLICADA A CENTRAIS CONDICIONADORAS DE AR
 *
 * Contribuição com trechos de codigos:
 * http://randomerdtutorials.com/
 * Infravermelho: Based on Ken Shirriff's IrsendDemo Version 0.1 July, 2009, Copyright 2009 Ken Shirriff, http://arcfn.com
 * http://www.felipeflon.com
 * Projeto PiPowerMeter: https://github.com/crjens/PiPowerMeter
 * Outros que entre centenas de exemplos de codigos e retalhos infelizmente foram esquecidos. peço perdão e desejo que este lhes possa ser util de algum modo.
 *
 * Observacoes:
 * Aos que tiverem acesso a este codigo, e precisarem utilizar mesmo que em partes, favor citar a fonte.
 */

#include <SPI.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "DHT.h"
#include <DS1307.h>
#include <IRremoteESP8266.h>
#include <IRsend.h>
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
const char* ssid = "SUA REDE";
const char* password = "SUA SENHA";
const char* mqtt_server = "IP DO COMPUTADOR UTILIZADO COMO SERVIDOR"; // ip da rasp
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

DS1307 rtc(4, 5); // RELOGIO RTC
String hora;
String data;
String dia;

const uint16_t kIrLed = 2; // Utilizado: GPIO2 D4 PARA O INFRAVERMELHO.
IRsend irsend(kIrLed); // Set the GPIO to be used to sending the message.

//CODIGOS DE UM CONDICIONADOR DE AR MARCA ELGIN
uint16_t LIGA[197] = {6116, 7348, 604, 1608, 588, 1596, 556, 1652, 584, 1604, 600, 1608, 584, 1604, 552, 1656, 588, 1596, 556, 588, 588, 528, 552, 588,
588, 528, 552, 588, 588, 528, 552, 592, 584, 532, 580, 1632, 584, 1604, 588, 1600, 604, 1608, 588, 1600, 584, 1604, 608, 1608, 588, 1596, 608, 536, 584, 532,
552, 592, 580, 536, 588, 556, 588, 532, 580, 560, 584, 536, 576, 1612, 552, 1664, 580, 1608, 588, 1600, 552, 1664, 580, 1608, 588, 1604, 580, 1608, 628, 516,
616, 500, 560, 584, 612, 508, 616, 528, 604, 516, 584, 532, 580, 568, 576, 1612, 584, 536, 556, 1660, 584, 536, 588, 1604, 560, 584, 588, 1604, 580, 1612, 584,
560, 532, 1660, 584, 536, 588, 1604, 556, 592, 576, 1616, 588, 532, 580, 564, 548, 572, 580, 540, 584, 560, 584, 1612, 580, 1640, 556, 564, 556, 1636, 528,
1664, 584, 1612, 580, 1612, 584, 1636, 556, 564, 528, 592, 584, 1612, 580, 568, 556, 564, 528, 592, 552, 1668, 556, 564, 560, 1636, 556, 564, 528, 1668, 556,
592, 552, 572, 552, 1644, 548, 572, 552, 1644, 552, 596, 556, 1640, 556, 564, 556, 1640, 556, 1644, 560, 7376, 584,}; //liga no setpoint 23
uint16_t DESLIGA[197] = {6120, 7376, 584, 1600, 596, 1612, 592, 1592, 592, 1620, 584, 1600, 592, 1620, 536, 1648, 596, 1616, 536, 580, 596, 544, 536, 580,
596, 548, 532, 584, 592, 548, 532, 588, 588, 552, 568, 1620, 584, 1600, 596, 1620, 584, 1604, 592, 1620, 564, 1624, 588, 1600, 596, 1616, 536, 580, 592, 552,
532, 584, 588, 556, 568, 548, 596, 548, 564, 556, 588, 528, 596, 1620, 532, 1656, 588, 1600, 596, 1620, 564, 1624, 588, 1604, 592, 1596, 616, 1600, 532, 588,
588, 560, 564, 552, 592, 552, 560, 556, 536, 584, 588, 556, 568, 552, 580, 1612, 596, 1620, 560, 1628, 536, 584, 592, 1600, 592, 552, 540, 1652, 584, 1608, 584,
560, 564, 556, 588, 528, 596, 1624, 568, 552, 584, 1608, 596, 548, 564, 556, 556, 564, 588, 560, 564, 552, 560, 1664, 560, 1632, 564, 556, 564, 1656, 508, 1684,
532, 1664, 560, 1632, 564, 1628, 564, 556, 568, 580, 532, 1664, 528, 592, 564, 584, 508, 612, 532, 1660, 564, 556, 564, 1632, 564, 584, 528, 1668, 536, 584,
560, 560, 564, 1632, 560, 588, 536, 1660, 532, 588, 568, 1632, 560, 560, 564, 1660, 536, 1656, 536, 7360, 592,};
uint16_t TEMP_18[197] = {6120, 7376, 584, 1600, 596, 1612, 592, 1592, 592, 1620, 584, 1600, 592, 1620, 536, 1648, 596, 1616, 536, 580, 596, 544, 536, 580,
596, 548, 532, 584, 592, 548, 532, 588, 588, 552, 568, 1620, 584, 1600, 596, 1620, 584, 1604, 592, 1620, 564, 1624, 588, 1600, 596, 1616, 536, 580, 592, 552,
532, 584, 588, 556, 568, 548, 596, 548, 564, 556, 588, 528, 596, 1620, 532, 1656, 588, 1600, 596, 1620, 564, 1624, 588, 1604, 592, 1596, 616, 1600, 532, 588,
588, 560, 564, 552, 592, 552, 560, 556, 536, 584, 588, 556, 568, 552, 580, 1612, 596, 1620, 560, 1628, 536, 584, 592, 1600, 592, 552, 540, 1652, 584, 1608, 584,

```

560, 564, 556, 588, 528, 596, 1624, 568, 552, 584, 1608, 596, 548, 564, 556, 556, 564, 588, 560, 564, 552, 560, 1664, 560, 1632, 564, 556, 564, 1656, 508, 1684, 532, 1664, 560, 1632, 564, 1628, 564, 556, 568, 580, 532, 1664, 528, 592, 564, 584, 508, 612, 532, 1660, 564, 556, 564, 1632, 564, 584, 528, 1668, 536, 584, 560, 560, 564, 1632, 560, 588, 536, 1660, 532, 588, 568, 1632, 560, 560, 564, 1660, 536, 1656, 536, 7360, 592,};

uint16_t TEMP_19[197] = {6164, 7324, 616, 1600, 592, 1600, 584, 1612, 560, 1632, 552, 1668, 576, 1616, 588, 1604, 592, 1604, 588, 540, 584, 544, 588, 544, 588, 540, 584, 548, 584, 548, 584, 544, 588, 544, 580, 1612, 580, 1616, 588, 1604, 592, 1604, 588, 1608, 588, 1608, 552, 1640, 556, 1640, 604, 528, 552, 580, 584, 548, 584, 544, 592, 544, 588, 540, 580, 552, 584, 548, 584, 1612, 592, 540, 580, 1616, 580, 1616, 588, 1608, 584, 1616, 588, 1608, 616, 1580, 584, 548, 584, 1616, 576, 556, 580, 524, 556, 576, 588, 544, 588, 548, 584, 548, 588, 1608, 584, 548, 584, 1616, 580, 552, 580, 552, 580, 552, 560, 548, 584, 1612, 584, 552, 580, 1616, 588, 548, 584, 1616, 576, 1620, 584, 1616, 528, 1672, 532, 600, 564, 572, 560, 572, 560, 1640, 556, 1644, 560, 1612, 580, 552, 528, 1672, 532, 1672, 552, 1648, 556, 1644, 560, 576, 556, 548, 556, 580, 532, 1668, 556, 580, 556, 576, 556, 580, 532, 1644, 548, 584, 528, 1676, 560, 576, 556, 1644, 560, 548, 532, 604, 560, 1644, 552, 580, 560, 1644, 532, 576, 524, 1680, 556, 580, 552, 1652, 552, 1624, 528, 7416, 588,};

uint16_t TEMP_20[197] = {6128, 7340, 612, 1604, 588, 1600, 552, 1664, 580, 1612, 584, 1608, 584, 1604, 560, 1656, 588, 1604, 588, 540, 584, 544, 588, 540, 584, 544, 588, 540, 584, 548, 584, 544, 588, 540, 584, 1608, 584, 1636, 580, 1608, 584, 1612, 580, 1612, 584, 1608, 584, 1608, 556, 1664, 580, 548, 584, 548, 576, 552, 580, 548, 532, 600, 524, 604, 528, 604, 528, 576, 580, 1640, 572, 556, 528, 1668, 576, 1616, 588, 1608, 584, 1608, 588, 1608, 584, 1608, 616, 516, 616, 1580, 584, 548, 584, 544, 588, 544, 580, 552, 580, 548, 584, 548, 588, 1608, 584, 548, 584, 1612, 584, 544, 588, 544, 576, 556, 548, 584, 528, 1668, 536, 596, 556, 1612, 592, 544, 580, 1616, 588, 1608, 584, 1612, 580, 1620, 584, 548, 584, 1612, 584, 1612, 612, 548, 584, 1612, 580, 1620, 584, 576, 560, 1608, 584, 1616, 588, 572, 528, 604, 528, 1640, 556, 608, 532, 572, 532, 1664, 560, 576, 528, 604, 528, 604, 528, 1644, 560, 604, 528, 1640, 552, 612, 524, 1648, 536, 596, 536, 600, 532, 1640, 552, 608, 524, 1648, 556, 604, 532, 1640, 532, 604, 528, 1644, 560, 1644, 560, 7376, 552,};

uint16_t TEMP_21[197] = {6124, 7348, 552, 1636, 608, 1608, 564, 1628, 552, 1636, 560, 1660, 584, 1604, 588, 1604, 592, 1600, 560, 568, 556, 572, 592, 536, 584, 548, 588, 540, 580, 548, 584, 548, 588, 540, 580, 1640, 576, 1616, 588, 1604, 588, 1604, 588, 1604, 592, 1604, 556, 1636, 600, 1620, 584, 544, 576, 556, 580, 548, 584, 548, 532, 596, 528, 604, 528, 600, 532, 572, 592, 1604, 560, 568, 552, 1672, 572, 1620, 584, 1612, 584, 1612, 592, 1604, 588, 1604, 588, 544, 588, 1608, 616, 512, 612, 520, 612, 520, 612, 520, 604, 524, 580, 552, 528, 1668, 576, 556, 576, 1620, 576, 556, 524, 608, 556, 548, 584, 548, 584, 1612, 580, 552, 584, 1612, 592, 540, 592, 1604, 588, 1612, 580, 1616, 588, 1608, 588, 544, 588, 544, 588, 1612, 580, 552, 584, 1612, 580, 1620, 584, 544, 524, 1676, 528, 1672, 524, 1672, 532, 604, 560, 1636, 556, 576, 556, 580, 552, 1648, 556, 576, 528, 576, 536, 596, 536, 1664, 560, 576, 556, 1644, 560, 572, 560, 1640, 556, 552, 548, 584, 528, 1672, 564, 572, 560, 1640, 552, 584, 560, 1612, 580, 552, 552, 1652, 532, 1668, 556, 7352, 584,};

uint16_t TEMP_22[197] = {6124, 7352, 620, 1600, 580, 1612, 584, 1604, 608, 1584, 608, 1612, 584, 1604, 588, 1604, 588, 1604, 612, 544, 576, 556, 576, 552, 584, 544, 576, 556, 576, 552, 584, 544, 524, 608, 576, 1616, 580, 1612, 592, 1600, 592, 1604, 588, 1604, 588, 1604, 560, 1632, 612, 1584, 608, 548, 588, 544, 576, 552, 528, 604, 580, 552, 532, 596, 556, 548, 584, 576, 556, 1608, 556, 576, 588, 1608, 584, 1612, 560, 1636, 600, 1592, 612, 1584, 608, 1588, 616, 544, 580, 1616, 588, 544, 576, 556, 528, 604, 528, 604, 560, 544, 588, 544, 588, 1608, 584, 548, 616, 1580, 612, 520, 616, 516, 584, 548, 584, 548, 536, 1660, 584, 552, 528, 1668, 524, 584, 580, 1616, 588, 1608, 584, 1616, 588, 1608, 588, 548, 584, 1612, 592, 544, 576, 556, 576, 1620, 584, 1588, 576, 584, 528, 1644, 560, 1640, 584, 548, 584, 1644, 560, 1612, 580, 580, 552, 584, 528, 1640, 556, 580, 560, 576, 560, 572, 560, 1640, 552, 580, 564, 1636, 524, 584, 528, 1648, 588, 572, 560, 576, 528, 1672, 528, 608, 528, 1616, 584, 580, 556, 1620, 580, 580, 536, 1636, 556, 1648, 532, 7412, 580,};

uint16_t TEMP_23[197] = {6156, 7324, 608, 1612, 588, 1604, 592, 1600, 592, 1604, 580, 1636, 576, 1616, 588, 1604, 592, 1600, 592, 540, 580, 548, 588, 544, 588, 540, 580, 552, 580, 548, 588, 544, 588, 540, 580, 1616, 588, 1604, 592, 1604, 588, 1604, 588, 1608, 588, 1604, 608, 1588, 604, 1616, 588, 544, 588, 544, 580, 548, 584, 548, 556, 576, 556, 572, 560, 572, 560, 1608, 588, 544, 588, 1608, 584, 1612, 580, 1616, 588, 1608, 588, 1608, 584, 1612, 592, 568, 564, 1604, 588, 548, 584, 548, 588, 544, 588, 544, 588, 540, 584, 548, 584, 1616, 588, 544, 576, 1592, 580, 528, 584, 548, 588, 544, 588, 544, 588, 1612, 580, 552, 580, 1616, 588, 548, 576, 1592, 612, 1588, 564, 1636, 588, 1612, 592, 540, 592, 544, 588, 544, 588, 544, 592, 1608, 584, 1588, 584, 576, 556, 1616, 588, 1612, 592, 1608, 584, 1616, 588, 1612, 592, 544, 588, 544, 580, 1592, 592, 544, 588, 548, 584, 548, 584, 1616, 588, 548, 532, 1640, 584, 552, 592, 1612, 580, 552, 592, 544, 588, 1584, 588, 548, 588, 1616, 588, 548, 584, 1616, 588, 548, 564, 1612, 588, 1616, 588, 7380, 592,};

uint16_t TEMP_24[197] = {6152, 7340, 588, 1600, 612, 1604, 588, 1600, 584, 1604, 612, 1604, 588, 1604, 588, 1600, 584, 1604, 608, 548, 584, 544, 580, 548, 584, 544, 580, 548, 584, 544, 588, 540, 584, 544, 592, 1600, 588, 1604, 588, 1600, 616, 1604, 588, 1604, 592, 1600, 580, 1608, 608, 1612, 592, 540, 580, 548, 584, 544, 580, 548, 584, 544, 588, 1604, 588, 544, 580, 1612, 592, 1604, 588, 1604, 588, 1604, 560, 1636, 608, 1584, 612, 548, 584, 1608, 584, 548, 584, 548, 584, 544, 580, 548, 584, 548, 584, 544, 580, 1588, 616, 544, 544, 1620, 616, 544, 580, 552, 528, 600, 552, 580, 552, 1616, 560, 600, 560, 1608, 588, 572, 560, 1604, 560, 1640, 560, 1636, 560, 1636, 556, 600, 564, 1604, 556, 1644, 632, 1592, 612, 544, 580, 1592, 612, 548, 552, 1616, 608, 1588, 556, 604, 560, 572, 560, 544, 588, 1608, 584, 552, 580, 1616, 588, 544, 588, 548, 608, 524, 576, 1592, 612, 548, 532, 1640, 584, 576, 588, 1580, 584, 552, 612, 520, 612, 1588, 616, 516, 604, 1596, 608, 524, 580, 1592, 580, 584, 580, 1592, 612, 1588, 584, 7348, 608,};

uint16_t TEMP_25[197] = {6132, 7348, 556, 1628, 612, 1596, 588, 1596, 608, 1604, 588, 1596, 608, 1600, 616, 1568, 612, 1600, 584, 540, 604, 520, 612, 512, 632, 520, 592, 536, 636, 488, 584, 540, 604, 524, 596, 1616, 608, 1576, 556, 1628, 620, 1596, 584, 1600, 636, 1576, 584, 1604, 600, 1612, 584, 540, 592, 536, 588, 536, 552, 572, 636, 492, 596, 528, 608, 548, 584, 540, 580, 548, 588, 536, 584, 1604, 600, 1616, 588, 1600, 636, 1552, 600, 1612, 592, 1596, 584, 1604, 632, 1580, 612, 516, 588, 540, 580, 544, 560, 568, 552, 576, 600, 524, 628, 1588, 584, 544, 592, 1596, 584, 544, 560, 568, 604, 524, 600, 528, 604, 1584, 608, 548, 588, 1600, 592, 536, 588, 1600, 600, 1616, 588, 1604, 592, 1596, 556, 572, 624, 504, 608, 1584, 608, 1608, 584, 544, 588, 1604, 592, 536, 584, 1608, 596, 1596, 660, 1556, 584, 544, 592, 536, 584, 1608, 584, 544, 592, 1600, 560, 572, 552, 576, 596, 532, 552, 1640, 604, 528, 624, 1568, 604, 548, 636, 1560, 584, 544, 588, 540, 584, 1608, 616, 516, 584, 1608, 588, 544, 588, 1604, 588, 540, 612, 1584, 600, 1592, 604, 7336, 604,};

uint16_t TEMP_26[197] = {6128, 7348, 588, 1600, 552, 1640, 608, 1608, 584, 1608, 584, 1608, 588, 1600, 612, 1580, 612, 1608, 584, 548, 588, 540, 580, 548, 584, 548, 584, 544, 588, 544, 580, 1608, 584, 1612, 584, 1608, 552, 1640, 604, 1592, 612, 1608, 584, 1608, 588, 1608, 584, 544, 588, 544, 580, 548, 584, 548, 584, 1608, 584, 548, 584, 1612, 584, 1612, 580, 1612, 592, 1604, 588, 1608, 584, 1612, 584, 548, 584, 1612, 580, 552, 580, 552, 584, 544, 588, 544, 588, 544, 576, 556, 580, 1612, 592, 544, 588, 1608, 584, 548, 604, 528, 532, 600, 584, 548, 584, 1584, 612, 520, 612, 1588, 616, 516, 584, 1612, 592, 1608, 584, 1612, 584, 1616, 584, 548, 588, 1608, 584, 552, 548, 1620, 584, 580, 532, 1636, 588, 548, 584, 1616, 580,

```

1616, 588, 548, 584, 1616, 588, 544, 556, 1616, 576, 584, 560, 1612, 580, 556, 580, 552, 580, 552, 580, 1620, 584, 552, 548, 1624, 560, 604, 560, 1612, 580,
580, 552, 584, 528, 1644, 560, 572, 532, 1644, 588, 572, 532, 1644, 580, 580, 532, 1640, 560, 1644, 532, 7380, 588.);
uint16_t TEMP_27[197] = {6152, 7324, 608, 1592, 560, 1648, 588, 1616, 588, 1612, 592, 1588, 584, 1620, 584, 1620, 588, 1616, 588, 524, 588, 552, 592, 544,
536, 576, 588, 552, 580, 556, 536, 576, 592, 548, 584, 1620, 532, 1648, 588, 1620, 584, 1620, 532, 1648, 588, 1620, 584, 1592, 592, 1616, 588, 552, 584, 556,
564, 548, 588, 552, 540, 572, 592, 548, 584, 556, 568, 548, 584, 1620, 532, 584, 592, 1616, 588, 1620, 564, 1616, 588, 1620, 536, 1644, 620, 1588, 584, 532,
592, 1616, 588, 552, 560, 556, 588, 552, 528, 584, 592, 548, 584, 560, 564, 1616, 588, 556, 556, 1628, 588, 552, 560, 1624, 592, 548, 564, 1620, 584, 1628, 568,
544, 588, 1624, 540, 576, 588, 1624, 560, 552, 592, 1620, 532, 612, 560, 580, 504, 612, 564, 576, 504, 1684, 560, 580, 504, 1680, 564, 580, 532, 1652, 564,
1624, 560, 1652, 532, 1656, 560, 580, 508, 1680, 556, 588, 504, 1680, 568, 548, 564, 580, 564, 552, 560, 1656, 528, 588, 556, 1656, 508, 608, 564, 1624, 560,
584, 560, 556, 568, 1648, 536, 580, 560, 1656, 528, 588, 556, 1632, 564, 580, 532, 1656, 560, 1656, 536, 7384, 592.);
uint16_t TEMP_28[197] = {6148, 7344, 556, 1644, 592, 1612, 592, 1608, 584, 1620, 536, 1640, 564, 1636, 588, 1616, 588, 1616, 580, 532, 592, 544, 588, 548,
584, 556, 556, 556, 588, 548, 584, 552, 564, 548, 592, 1612, 596, 1612, 580, 1596, 588, 1616, 588, 1620, 584, 1592, 592, 1616, 588, 1616, 592, 544, 568, 544,
588, 552, 580, 560, 564, 548, 584, 552, 532, 608, 564, 548, 584, 1624, 532, 580, 592, 1612, 596, 1612, 560, 1620, 596, 1612, 580, 1600, 596, 1612, 612, 524,
608, 1572, 592, 552, 592, 544, 568, 548, 584, 552, 584, 560, 560, 552, 584, 1624, 536, 576, 592, 1616, 588, 552, 560, 1624, 588, 552, 560, 1620, 588, 1620, 532,
584, 592, 1616, 556, 556, 588, 1624, 580, 560, 564, 1620, 584, 556, 556, 556, 588, 1624, 528, 1680, 584, 588, 528, 584, 556, 1656, 560, 552, 560, 1652, 564,
1620, 564, 580, 532, 580, 564, 1652, 552, 1628, 564, 580, 556, 1628, 556, 584, 536, 580, 556, 584, 560, 1624, 560, 584, 536, 1648, 568, 576, 536, 1648, 568,
576, 536, 580, 564, 1648, 504, 612, 564, 1648, 504, 612, 560, 1628, 556, 588, 556, 1628, 556, 1656, 540, 7400, 560.);

const int DHTPin = 0; // DHT Sensor - GPIO 0 = D3 on ESP-12E

DHT dht(DHTPin, DHTTYPE); // Initialize DHT sensor.

// Timers auxiliar variables
long now = millis();
long lastMeasure = 0;

//escreve
const byte escreve_IACoff = 0x60; // Current AC (RMS) Offset
const byte escreve_VACoff = 0x62; // Voltage AC (RMS) Offset
const byte escreve_IDCoff = 0x42; // Current DC Offset
const byte escreve_VDCoff = 0x46; // Voltage DC Offset
// constantes para requisicao de leitura dos dados no chip.
const byte ler_Config = 0x00; // Configuration
const byte ler_IDCoff = 0x02; // Current DC Offset
const byte ler_Ign = 0x04; // Current Gain
const byte ler_VDCoff = 0x06; // Voltage DC Offset
const byte ler_Vgn = 0x08; // Voltage Gain
const byte ler_CycleCount = 0x0A; // Number of A/D conversions used in one computation cycle (N).
const byte ler_PulseRateE = 0x0C; // Sets the E1, E2 and E3 energy-to-frequency output pulse rate.
const byte ler_I_instant = 0x0E; // Instantaneous Current
const byte ler_V_instant = 0x10; // Instantaneous Voltage
const byte ler_P_instant = 0x12; // Instantaneous Power
const byte ler_PActive = 0x14; // Active (Real) Power
const byte ler_IRMS = 0x16; // RMS Current
const byte ler_VRMS = 0x18; // RMS Voltage
const byte ler_Epsilon = 0x1A; // Ratio of line frequency to output word rate (OWR)
const byte ler_Poff = 0x1C; // Power Offset
const byte ler_Status = 0x1E; // Status
const byte ler_IACoff = 0x20; // Current AC (RMS) Offset
const byte ler_VACoff = 0x22; // Voltage AC (RMS) Offset
const byte ler_Mode = 0x24; // Operation Mode
const byte ler_Temp = 0x26; // Temperature

```

```

const byte ler_QAVG      = 0x28; // Average Reactive Power
const byte ler_Q        = 0x2A; // Instantaneous Reactive Power
const byte ler_IPeak    = 0x2C; // Peak Current
const byte ler_VPeak    = 0x2E; // Peak Voltage
const byte ler_QTrig    = 0x30; // Reactive Power calculated from Power Triangle
const byte ler_PF       = 0x32; // Power Factor
const byte ler_Mask     = 0x34; // Interrupt Mask
const byte ler_S        = 0x36; // Apparent Power
const byte ler_Ctrl     = 0x38; // Control
const byte ler_PH       = 0x3A; // Harmonic Active Power
const byte ler_PFA      = 0x3C; // Fundamental Active Power
const byte ler_QF       = 0x3E; // Fundamental Reactive Power / Page
//calibracao
const byte I_DC_offset  = 0xC9; //11001001 Current channel DC offset
const byte I_DC_gain    = 0xCA; //11001010 Current channel DC gain
const byte I_AC_offset  = 0xCD; //11001101 Current channel AC offset
const byte I_AC_gain    = 0xCE; //11001110 Current channel AC gain
const byte V_DC_offset  = 0xD1; //11010001 Voltage channel DC offset
const byte V_DC_gain    = 0xD2; //11010010 Voltage channel DC gain
const byte V_AC_offset  = 0xD5; //11010101 Voltage channel AC offset
const byte V_AC_gain    = 0xD6; //11010110 Voltage channel AC gain
const byte I_V_DC_offset = 0xD9; //11011001 Current and Voltage channel DC offset
const byte I_V_DC_gain  = 0xDA; //11011010 Current and Voltage channel DC gain
const byte I_V_AC_offset = 0xDD; //11011101 Current and Voltage channel AC offset
const byte I_V_AC_gain  = 0xDE; //11011110 Current and Voltage channel AC gain

//variaveis atualizadas.
unsigned long Config_lido      = 0x00; // Configuration
float IDCoff_lido             = 0x00; // Current DC Offset
float Ign_lido                = 0x00; // Current Gain
float VDCoff_lido             = 0x00; // Voltage DC Offset
float Vgn_lido                = 0x00; // Voltage Gain
unsigned long CycleCount_lido = 0x00; // Number of A/D conversions used in one computation cycle (N).
unsigned long PulseRateE_lido = 0x00; // Sets the E1, E2 and E3 energy-to-frequency output pulse rate.
float I_instant_lido          = 0x00; // Instantaneous Current
float V_instant_lido          = 0x00; // Instantaneous Voltage
float P_instant_lido          = 0x00; // Instantaneous Power
float PActive_lido            = 0x00; // Active (Real) Power
float IRMS_lido               = 0x00; // RMS Current
float VRMS_lido               = 0x00; // RMS Voltage
unsigned long Epsilon_lido    = 0x00; // Ratio of line frequency to output word rate (OWR)
unsigned long Poff_lido       = 0x00; // Power Offset
unsigned long Status_lido     = 0x00; // Status
float IACoff_lido             = 0x00; // Current AC (RMS) Offset
float VACoff_lido             = 0x00; // Voltage AC (RMS) Offset
unsigned long Mode_lido       = 0x00; // Operation Mode
float Temp_lido               = 0x00; // Temperature
float QAVG_lido               = 0x00; // Average Reactive Power
float Q_lido                  = 0x00; // Instantaneous Reactive Power
float IPeak_lido              = 0x00; // Peak Current
float VPeak_lido              = 0x00; // Peak Voltage
float QTrig_lido              = 0x00; // Reactive Power calculated from Power Triangle
float PF_lido                 = 0x00; // Power Factor

```

```

unsigned long Mask_lido      = 0x00; // Interrupt Mask
float S_lido                = 0x00; // Apparent Power
unsigned long Ctrl_lido     = 0x00; // Control
float PH_lido              = 0x00; // Harmonic Active Power
float PFA_lido             = 0x00; // Fundamental Active Power
float QF_lido              = 0x00; // Fundamental Reactive Power / Page
//-----
//pinos do ESP
const int CS = 15; // Assign the Chip Select signal to pin D8 = GPIO15
const int RESET = 16; // Assign Reset to pin D0 GPIO 16
byte ler;
unsigned long MSB;
float PF;
float aux01;
float aux02;
String H_byte_string;
String M_byte_string;
String L_byte_string;
String H_byte0;
String M_byte0;
String L_byte0;
String H_bytel;
String M_bytel;
String L_bytel;
String aux;
String valor_3byte_string;
char H_byte0_char;
char M_byte0_char;

String L_byte0;
String H_bytel;
String M_bytel;
String L_bytel;
String aux;
String valor_3byte_string;
char H_byte0_char;
char M_byte0_char;
char L_byte0_char;
char H_bytel_char;
char M_bytel_char;
char L_bytel_char;
unsigned long aux00;
byte H_byte;
byte M_byte;
byte L_byte;
unsigned long valor_3byte; // valor concatenado dos 3 bytes (H,M,L_byte)
int x = 0;
char letra_m []= {'a','b','c','d','e','f'};
char letra_M []= {'A','B','C','D','E','F'};
float M_P_Ativa = 0.0000001192093038;
float M_Qavg_IVpk = 0.0000001192093038;
float I_V_P_inst = 0.0000001192093038;
float calibra = 0.0000001192093038;
float M_FP = 0.0000001192093038;
float M_Temp = 0.0000152590219;

```

```

float M_Tensao = 0.00000005960464833;
float M_Corrente = 0.00000005960464833;
float M_P_Aparente = 0.0000001192093038;
float M_P_Reativa = 0.0000001192093038;
static char Temp_lidoCHAR[10];
static char VRMS_lidoCHAR[10];
static char IRMS_lidoCHAR[10];
static char PActive_lidoCHAR[10];
static char S_lidoCHAR[10];
static char horaCHAR[10];
static char PF_lidoCHAR[10];
void setup_wifi() {
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.print("WiFi connected - ESP IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

void callback(String topic, byte* message, unsigned int length) {
  Serial.print("Message arrived on topic: ");
  Serial.print(topic);
  Serial.print(". Message: ");
  String messageAtual;

  for (int i = 0; i < length; i++) {
    Serial.print((char)message[i]);
    messageAtual += (char)message[i];
  }
  Serial.println();
  if(topic=="central/reset"){ if(messageAtual == "reset"){ ESP.restart(); } } //usado para reiniciar o ESP em caso de falha.
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "18"){ irsend.sendRaw(TEMP_18, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "19"){ irsend.sendRaw(TEMP_19, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "20"){ irsend.sendRaw(TEMP_20, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "21"){ irsend.sendRaw(TEMP_21, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "22"){ irsend.sendRaw(TEMP_22, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "23"){ irsend.sendRaw(TEMP_23, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "24"){ irsend.sendRaw(TEMP_24, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "25"){ irsend.sendRaw(TEMP_25, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "26"){ irsend.sendRaw(TEMP_26, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "27"){ irsend.sendRaw(TEMP_27, 197, 38); }}
  if(topic=="central/AjusteTemp"){ if(messageAtual == "28"){ irsend.sendRaw(TEMP_28, 197, 38); }}
  if(topic=="central/ligar"){ if(messageAtual == "ligar"){ irsend.sendRaw(LIGA, 197, 38); }}
  if(topic=="central/desligar"){ if(messageAtual == "desligar"){ irsend.sendRaw(DESLOGA, 197, 38); }}}

```

```

void reconnect() {
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");
    // Attempt to connect
    if (client.connect("ESP8266Client")) {
      Serial.println("connected");
      // Subscribe or resubscribe to a topic
      client.subscribe("central/AjusteTemp");
      client.subscribe("central/ligar");
      client.subscribe("central/desligar");
    } else {
      Serial.print("failed, rc=");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" try again in 5 seconds");
      // Wait 5 seconds before retrying
      delay(5000); }}}

void setup() {
  configurar();
  irsend.begin();
  rtc.halt(false); //Aciona o relógio
  rtc.setSQWRate(SQW_RATE_1);
  rtc.enableSQW(true);
  dht.begin();
  Serial.begin(115200);
  setup_wifi();
  client.setServer(mqtt_server, 1883); //porta do servidor broker
  client.setCallback(callback); }

void loop(){
  medicao();
  if (!client.connected()) { reconnect(); }
  if (!client.loop()) client.connect("ESP8266Client"); now = millis();
  if (now - lastMeasure > 5000) { lastMeasure = now; // Publishes new temperature and humidity
    float h = dht.readHumidity(); // Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
    float t = dht.readTemperature(); // Read temperature as Celsius (the default)
    float f = dht.readTemperature(true); // Read temperature as Fahrenheit (isFahrenheit = true)
    if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) { // Check if any reads failed and exit early (to try again).
      Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
      return; }
    float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false); // Computes temperature values in Celsius
    static char temperatureTemp[7];
    dtostrf(hic, 6, 2, temperatureTemp);
    static char humidityTemp[7];
    dtostrf(h, 6, 2, humidityTemp);
    if(hic >= 60){ //desligamento em caso de emergência
      irsend.sendRaw(DESLIGA, 197, 38); }
    client.publish("central/temperature", temperatureTemp); // Publishe topic Temperature and Humidity values
    client.publish("central/humidity", humidityTemp); } }

```

Rotinas de configuração do CI CS5463 bem como as de conversão dos dados coletados do mesmo foram suprimidas, mas podem ser obtidas através de solicitação ao autor (bemielison@gmail.com).

ANEXO B

Link das cotações dos componentes eletrônicos utilizados na construção do protótipo:

<https://www.aliexpress.com/item/10PCS-TSP-05-replace-HLK-PM01-AC-DC-220V-to-5V-mini-power-supply-module-intelligent/32705507003.html>

https://www.aliexpress.com/item/10-1000pairs5mm-940nm-IR-LED-Assorted-Infrared-Emitter-And-IR-Receiver-Diodes-5mm-940nm-IR/32802456195.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=e58d3ac8-fc01-4daf-a155-58459c622945-1&algo_pvid=e58d3ac8-fc01-4daf-a155-58459c622945

https://www.aliexpress.com/item/5pcs-Smart-Electronics-D1-mini-Mini-NodeMcu-4M-bytes-Lua-WIFI-Internet-of-Things-development-board/32671708652.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=6c197e22-5284-4cdb-8556-0e2493024311-0&algo_pvid=6c197e22-5284-4cdb-8556-0e2493024311

https://www.aliexpress.com/item/10pcs-LOT-I2C-RTC-DS1307-AT24C32-Real-Time-Clock-Module-For-AVR-ARM-PIC-Tiny-RTC/32949715017.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=f01ff7fe-540a-417f-92a9-0d7b9c03e4b9-3&algo_pvid=f01ff7fe-540a-417f-92a9-0d7b9c03e4b9

https://www.aliexpress.com/item/Free-shipping-10pcs-lot-DTH11-temperature-and-humidity-sensor-DHT11-temperature-and-humidity-module/32636039721.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=2a978cba-75e9-4952-9972-0f5b716fa6c8-3&algo_pvid=2a978cba-75e9-4952-9972-0f5b716fa6c8

https://www.aliexpress.com/item/wholesale-FR4-Blank-Copper-Clad-Circuit-Board-Single-Side-10x15cm-10-15cm-thickness-1-6mm-PCB/749924499.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=19629dce-d5ad-4767-95fe-a645eb3a7494-41&algo_pvid=19629dce-d5ad-4767-95fe-a645eb3a7494

https://www.aliexpress.com/item/8-Pcs-Silver-Tone-Metal-4-096MHZ-Quartz-Crystal-Oscillator-Resonator/100006594665.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=a99e46c3-db30-4cac-85e0-9301f3c337df-0&algo_pvid=a99e46c3-db30-4cac-85e0-9301f3c337df

https://www.aliexpress.com/item/D4011G-D4030G-D4015G-physical-store-transaction-integrity-quality-assurance-of/32299917781.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=a373a38a-2f07-4d9e-b801-8fac8298f506-0&algo_pvid=a373a38a-2f07-4d9e-b801-8fac8298f506

https://www.aliexpress.com/item/10pcs-Precision-micro-voltage-transformer-ZMPT101B-2mA-2mA-ZMPT101/32911863796.html?ws_ab_test=searchweb0_0.searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536.searchweb201603_51.ppcSwitch_0&algo_expid=9cc38466-f109-448c-a645-c9b1a113d340-0&algo_pvid=9cc38466-f109-448c-a645-c9b1a113d340

https://www.aliexpress.com/item/TCAM-SCT-013-Non-invasive-AC-Current-Transformer-Sensor-Split-Core-Transformer-0-30A-Y122/32809497993.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536,searchweb201603_51,ppcSwitch_0&algo_expid=48bf390f-2a10-4fcc-9f3f-f7cbdad2f582-0&algo_pvid=48bf390f-2a10-4fcc-9f3f-f7cbdad2f582

https://www.aliexpress.com/item/10Pcs-2Pin-10Pin-Screw-PCB-Mounted-Terminal-Blocks-Connector-2-54mm-Pitch-S05-Drop-shipping/32871295549.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536,searchweb201603_51,ppcSwitch_0&algo_expid=188bc052-040b-4ddc-86d8-4bc9bbf32cc7-2&algo_pvid=188bc052-040b-4ddc-86d8-4bc9bbf32cc7

https://www.aliexpress.com/item/50-Value-Elements-3K-4-7M-0805-SMD-Film-Chip-Resistor-Assort-Kit-Package/32872680231.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536,searchweb201603_51,ppcSwitch_0&algo_expid=92985b90-0283-4cec-866f-698e7e0b34ba-1&algo_pvid=92985b90-0283-4cec-866f-698e7e0b34ba

https://www.aliexpress.com/item/25-Value-Element-0-R-39R-0805-SMD-Film-Chip-Resistor-Assort-Kit-Package/32872660648.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536,searchweb201603_51,ppcSwitch_0&algo_expid=92985b90-0283-4cec-866f-698e7e0b34ba-0&algo_pvid=92985b90-0283-4cec-866f-698e7e0b34ba

https://www.aliexpress.com/item/50-Value-Elements-1R-2-7K-0805-SMD-Film-Chip-Resistor-Assort-Kit-Package/32872405288.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536,searchweb201603_51,ppcSwitch_0&algo_expid=92985b90-0283-4cec-866f-698e7e0b34ba-2&algo_pvid=92985b90-0283-4cec-866f-698e7e0b34ba

https://www.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative_id=SB_20181207144534&SearchText=capacitor+smd

https://www.aliexpress.com/item/100pcs-12PF-18PF-27PF-33PF-47PF-100PF-220PF-470PF-NPO-Error-5-50V-0603-33P-SMD/32944625649.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10065_10068_10547_319_10059_10884_317_10548_10887_10696_100031_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_538_537_536,searchweb201603_51,ppcSwitch_0&algo_expid=8974d207-dac0-46e1-88ca-bf526de69ab5-24&algo_pvid=8974d207-dac0-46e1-88ca-bf526de69ab5