



ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL DOUTOR DEMÉTRIO
AZEVEDO JUNIOR

DMM
(DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE MOTORES)

Alunos 4º modulo de eletrotécnica:

João Pedro Correia Jardim

José Carlos Vieira de Almeida Filho

Pablo Alonso Latapiat de Freitas

Raul de Oliveira Macedo

Itapeva

2022

Alunos 4º modulo de eletrotécnica

João Pedro Correia Jardim

José Carlos Vieira de Almeida Filho

Pablo Alonso Latapiat de Freitas

Raul de Oliveira Macedo

DMM

(DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE MOTORES)

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial a obtenção da conclusão de Técnico em Eletrotécnica, na ETEC Doutor Demétrio Azevedo Júnior de Itapeva-SP.

FOLHA DE APROVAÇÃO

João Pedro Correia Jardim, José Carlos Vieira de Almeida
FilhoPablo Alonso Latapiat de Freitas, Raul de Oliveira Macedo

DMM – DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE MOTORES

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Técnico em Eletrotécnica da ETEC Dr. Demétrio de Azevedo Junior.

Itapeva, 07 de dezembro de 2022

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador: Prof. Me. Edgar de Jesus Endo, Eng. Eletricista – Eletrônico, Área 1, Faculdades Integradas de Salvador – BA

Prof. Me. Fabricio Pimentel Gonçalves, Eng. Eletricista –, Facens, Faculdade de Engenharia de Sorocaba

Prof. Esp. Cláudio Camargo Melo, Eng. Eletricista –, Facens, Faculdade de Engenharia de Sorocaba

Sumário

1. Introdução.....	7
2. Resumo	8
3. Abstract.....	8
4. Objetivo	8
5. Justificativa	9
6. Dificuldades encontradas.....	9
7. Metodologia.....	10
8. Materiais	10
8.1 Arduino	10
8.2 Protoboard	11
8.3 Piezoelétrico	11
8.4 Sensor de temperatura LM35	12
8.5 Módulo Sensor de Obstáculo Infravermelho.....	12
8.6 Sensor de corrente não invasivo.....	13
8.7 Sensor de tensão CA	14
8.8 Leds.....	15
8.9 Buzzer	15
9. Desenvolvimento.....	16
9.1 Esquema elétrico	17
9.2 Código do projeto e leitura dos dados	18
9.3 Modelo 3D.....	21
9.4 Montagem do hardware.....	22
10. Considerações finais	26
11. Referências bibliográficas.....	28

Índice de ilustrações

Figura 1 - Arduino UNO.....	10
Figura 2 - Protoboard 400 pontos	11
Figura 3 - Piezoelétrico	12
Figura 4 - Sensor de Temperatura LM35	12
Figura 5 - Módulo Sensor de Obstáculo Infravermelho	13
Figura 6 - Sensor de corrente não invasivo	14
Figura 7 - Sensor de tensão CA	14
Figura 8 - Leds.....	15
Figura 9 - Buzzer	15
Figura 10 - Esquema elétrico.....	17
Figura 11 - Esquema elétrico do sensor de corrente	18
Figura 12 - Código do Arduino.....	19
Figura 13 - Monitor em Excel.....	20
Figura 14 - Dispositivo acoplado ao motor	21
Figura 15 - Dispositivo acoplado ao motor, vista traseira	22
Figura 16 - Sensores no motor.....	22
Figura 17 - Teste 1 - Sensor de Tensão	23
Figura 18 - Teste 1 - Resultado do Multímetro com o Sensor CA	23
Figura 19 - Teste 2 - Sensor de corrente com sensor de tensão CA	24
Figura 20 – Teste 3 - Sensor de Vibração.....	24
Figura 21 - Teste 4 - Sensor de Temperatura.....	25
Figura 22 - Teste 5 - Sensor de Rotação	25
Figura 23 - Teste Final.....	26

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Lista de materiais.....	16
Tabela 2 - Lista dos testes.....	26

1. Introdução

Hoje tanto fábricas grandes como pequenas trabalham com motores elétricos, tais são de extrema importância para estas empresas podendo até mesmo serem considerados o “coração da fábrica” visto que, a parada ou mal funcionamento de apenas um desses dispositivos pode interromper toda a linha de montagem acarretando de enormes prejuízos financeiros além de, em piores casos, causarem acidentes a funcionários.

Para solucionar ou prevenir esses problemas nos motores existem três tipos de manutenção, são elas a corretiva, preventiva e a preditiva, a primeira visa fazer a manutenção no equipamento apenas quando ele apresenta algum defeito, algo que, na maioria dos casos acarreta um grande prejuízo devido ao tempo em que a máquina fica sem trabalhar. A manutenção preventiva por sua vez, consiste em um calendário de manutenção, uma rotina de reparações básicas e que aumentam a vida útil da máquina. Por fim a manutenção preditiva, que busca descobrir o defeito antes mesmo dele acontecer, onde são usados equipamentos de monitoramento para isto.

Dentre as três a preditiva (na maioria dos casos) é a mais eficaz, pois evita desperdícios de equipamentos e atrasos a linha de produção, contudo também é para muitas empresas economicamente inviável devido ao seu elevado custo. Para solucionar tal problema foi criado o DMM (dispositivo de monitoramento de motores), este dispositivo faz o monitoramento de motores elétricos com um custo menos elevado. O DMM afere a tensão, corrente, temperatura, vibração e velocidade de rotação, e assim que ele averigua uma inconsistência em alguma de suas aferições o dispositivo emite um sinal sonoro indicando qual é a instabilidade detectada.

O DMM foi desenvolvido em um Arduino R3 (placa programável destinada a prototipagem de dispositivos elétricos), tal plataforma foi escolhida devido a mesma ser compatível com todos os sensores que foram utilizados para fazer as aferições dos dados a serem monitorados, dados esses que serão emitidos em tempo real através de um programa em Excel que está ligado ao dispositivo.

2. Resumo

Utilizando uma placa de prototipagem (Arduino) conseguimos interligar todos os sensores em um mesmo circuito, com isso foi possível fazer o monitoramento parcial do motor trifásico, aferindo a temperatura do motor, corrente em uma das fases, tensão entre duas fases, velocidade de rotação e vibração. Todos os dados foram exibidos em um computador usando uma aplicação em Excel, com a captura desses dados se mostra possível a manutenção preditiva. Um modelo 3D foi desenvolvido para representar o projeto final, mostrando como seria o dispositivo em aplicações reais.

Palavras-chave: Arduino, sensores, manutenção preventiva e Excel.

3. Abstract

Using a prototyping board (Arduino) we were able to interconnect all the sensors in the same circuit, with this it was possible to partially monitor the three-phase motor, measuring the temperature of the motor, current in one of the phases, voltage between two phases, rotation speed and vibration. All data were displayed on a computer using an Excel application, with the capture of this data, predictive maintenance is possible. A 3D model was developed to represent the final design, showing what the device would look like in real applications.

Keywords: Arduino, sensors, preventive maintenance, and Excel.

4. Objetivo

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é desenvolver um dispositivo elétrico de baixo custo que faz o monitoramento preditivo de motores, para tal o mesmo usa de componentes eletrônicos que aferem informações sobre o funcionamento do motor (tais como: tensão, corrente, temperatura, vibração e velocidade de rotação) e que alertam os supervisores de inconsistências no funcionamento do motor elétrico.

5. Justificativa

Desenvolver nossas habilidades em relação há motores elétricos, eletrônica e programação básica, aplicando os conhecimentos vindo das áreas em que fomos apresentados no curso de eletrotécnica, como, máquinas elétricas, eletrônica, controle e automação, eletricidade básica, circuitos elétricos, eficiência energética, técnicas de manutenção elétrica, inglês, linguagem trabalho e tecnologia, informática básica, segurança no trabalho e comandos elétricos. Também ampliar nossos conhecimentos em relação as medidas de manutenção, e a maneira como é aplicada na indústria voltando nos principalmente aos métodos de monitoramento de motores elétricos.

Assim foi criado o DMM, um dispositivo eletrônico que em sua essência busca evitar grandes prejuízos causados por paradas não programadas, para tal a máquina faz o monitoramento constante de um motor elétrico assim permitindo que possa haver uma manutenção preditiva, sendo acessível a pequenas empresas devido ao seu baixo custo final.

Dispositivos como o DMM já existem em indústrias, contudo esses são encontrados majoritariamente em grandes empresas, pois seu custo elevado muitas vezes acaba com a possibilidade de pequenas empresas adquirirem-no, fazendo com que as empresas optem por uma manutenção corretiva ou preventiva, que a curto prazo são mais viáveis, contudo, ao longo do tempo podem acabar acarretando grandes prejuízos. O DMM vem para ser um dispositivo acessível para pequenas empresas, assim dando a elas uma manutenção preditiva.

6. Dificuldades encontradas

- Pouco tempo para os testes do projeto;
- Conseguir escalabilidade para o DMM;
- Incompatibilidade com o visualizador python exigindo a migração para o Excel.

7. Metodologia

- O projeto será realizado com base nos conhecimentos acadêmicos, juntamente com pesquisas em livros e principalmente na internet, que abordem a utilização de técnicas de manutenção e utilização de sensores para Arduino.
- O programa será desenvolvido em C++ (Linguagem disponibilizada pelo Arduino para a sua programação).
- Haverá testes para saber os padrões de operação do motor e assim permitir a manutenção preventiva.
- Protótipo em 3D representando o projeto final.

8. Materiais

A seguir a lista dos principais componentes utilizados na criação do DMM.

8.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, foi utilizado neste trabalho de conclusão de curso como a principal ferramenta eletrônica realizando a entrada, processamento e saída de dados. A seguir uma figura que representa o Arduino utilizado:

Figura 1 - Arduino UNO

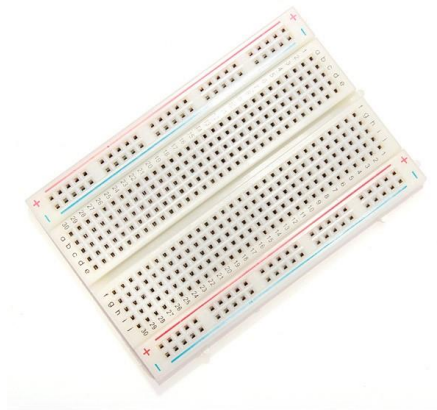


Fonte: filipeflop, 2022

8.2 Protoboard

A protoboard de 400 pontos foi usada como placa de ensaio, como ela foi realizada todas as ligações entre o Arduino e os sensores e sinalizadores eletrônicos. A seguir uma figura que representa a Protoboard utilizada:

Figura 2 - Protoboard 400 pontos



Fonte: filipeflop, 2022

8.3 Piezoelétrico

Materiais piezoelétricos são materiais que produzem uma carga elétrica sob estresse mecânico, utilizando um sensor piezoelétrico conseguimos ter a entrada de dados relacionadas a vibração do motor elétrico. A seguir uma figura que representa o Piezoelétrico utilizado:

Figura 3 - Piezoelétrico

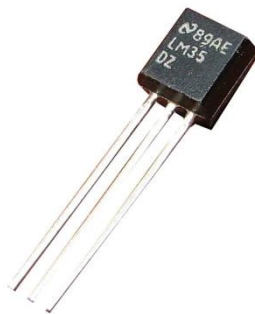


Fonte: AliExpress, 2022

8.4 Sensor de temperatura LM35

O LM35 é sensor capaz de aferir a temperatura ao seu redor, no DMM ele é colocado junto ao motor elétrico que será monitorado assim permitindo a coleta da temperatura do dispositivo. A seguir uma figura que representa o sensor de temperatura utilizado:

Figura 4 - Sensor de Temperatura LM35



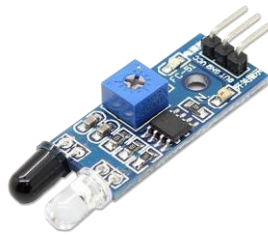
Fonte: Vida de Silício, 2022

8.5 Módulo Sensor de Obstáculo Infravermelho

O Módulo Sensor de Obstáculo Infravermelho funciona emitindo um sinal infravermelho que quanto atinge um objeto retorna ao dispositivo, assim identificando objetos próximos, quanto mais próxima de branco a cor for com maior facilidade o

sensor identificara o objeto, quanto mais escuro ele for, mais difícil será identificá-lo, a partir desta característica será possível detectar a velocidade de rotação de motor, colocando uma faixa clara no eixo do motor e monitorando a sua rotação. A seguir uma figura que representa o módulo de obstáculo infravermelho utilizado:

Figura 5 - Módulo Sensor de Obstáculo Infravermelho



Fonte: Loja Arduino Belém, 2022

8.6 Sensor de corrente não invasivo

O sensor de corrente não invasivo funciona como um alicate amperímetro, com ele o DMM faz a aferição decorrente sem que seja necessário seccionar o cabo de alimentação do motor, o sensor tem capacidade de até 100 amperes e saída de 50 miliamperes em um conector tipo P2. A seguir uma figura que representa o sensor de corrente não invasivo utilizado:

Figura 6 - Sensor de corrente não invasivo

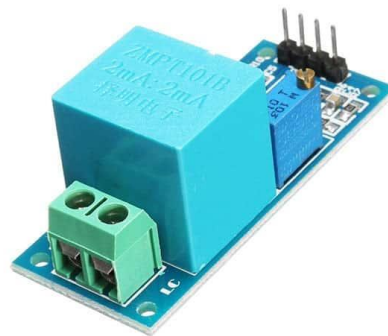


Fonte: filipeflop, 2022

8.7 Sensor de tensão CA

O sensor de tensão CA contrário ao sensor de corrente faz sua aferição de maneira invasiva, contudo sua ligação é realizada com um circuito paralelo assim permitindo a coleta de dados sem afetar relevantemente a tensão enviada ao motor elétrico. A seguir uma figura que representa o sensor de tensão CA utilizado:

Figura 7 - Sensor de tensão CA



Fonte: filipeflop, 2022

8.8 Leds

Os leds são diodos emissores de luz e serão usados como dispositivos de saída indicando a saúde do motor elétrico que está sendo monitorado. A seguir uma figura que representa os leds utilizados:

Figura 8 - Leds



Fonte: Shopee, 2022

8.9 Buzzer

O Buzzer é um componente eletrônico que converte um sinal elétrico em ondas sonoras, sendo um dispositivo de saída, fará um alerta sonoro caso esteja acontecendo algum problema com o motor monitorado. A seguir uma figura que representa o buzzer utilizado:

Figura 9 - Buzzer



Fonte: Mobiliar Móveis e colchões, 2022

A seguir a lista de todos os materiais e seus respectivos valores:

Tabela 1 - Lista de materiais

Materiais			
Descrição	Quantidade	Valor Unitario	Valor total
Arduino	1	R\$ 120.00	R\$ 120.00
Protoboard	1	R\$ 18.00	R\$ 18.00
Sensor de Vibração	1	R\$ 20.00	R\$ 20.00
Sensor de Temperatura	1	R\$ 14.00	R\$ 14.00
Sensor de obstáculo	1	R\$ 8.00	R\$ 8.00
Sensor de Corrente não incasivo	1	R\$ 70.00	R\$ 70.00
Sensor de tensão CA	1	R\$ 32.00	R\$ 32.00
Led	2	R\$ 1.00	R\$ 2.00
Buzzer	1	R\$ 2.50	R\$ 2.50
Total			R\$ 286.50
Total para projeto completo			R\$ 500.00

Fonte: Autoria própria

9. Desenvolvimento

O TCC iniciou-se buscando um projeto elétrico que suprisse alguma necessidade real da população. A primeira ideia foi um leitor automático de relógios de poste padrão, contudo ela foi descartada devido a sua grande dificuldade de desenvolvimento e falta de mobilidade, sendo aplicável apenas em situações específicas. Então foi pensado em um dispositivo que tinha como função fazer o monitoramento de um motor e com isso permitir que seja possível a realização da manutenção preditiva, assim foi concebida a ideia de criar o DMM, ele foi construído na plataforma Arduino e após pesquisas decidimos que o mesmo deveria ter capacidade de aferir alguns dados do motor como: temperatura, tensão, corrente, vibração e velocidade de rotação.

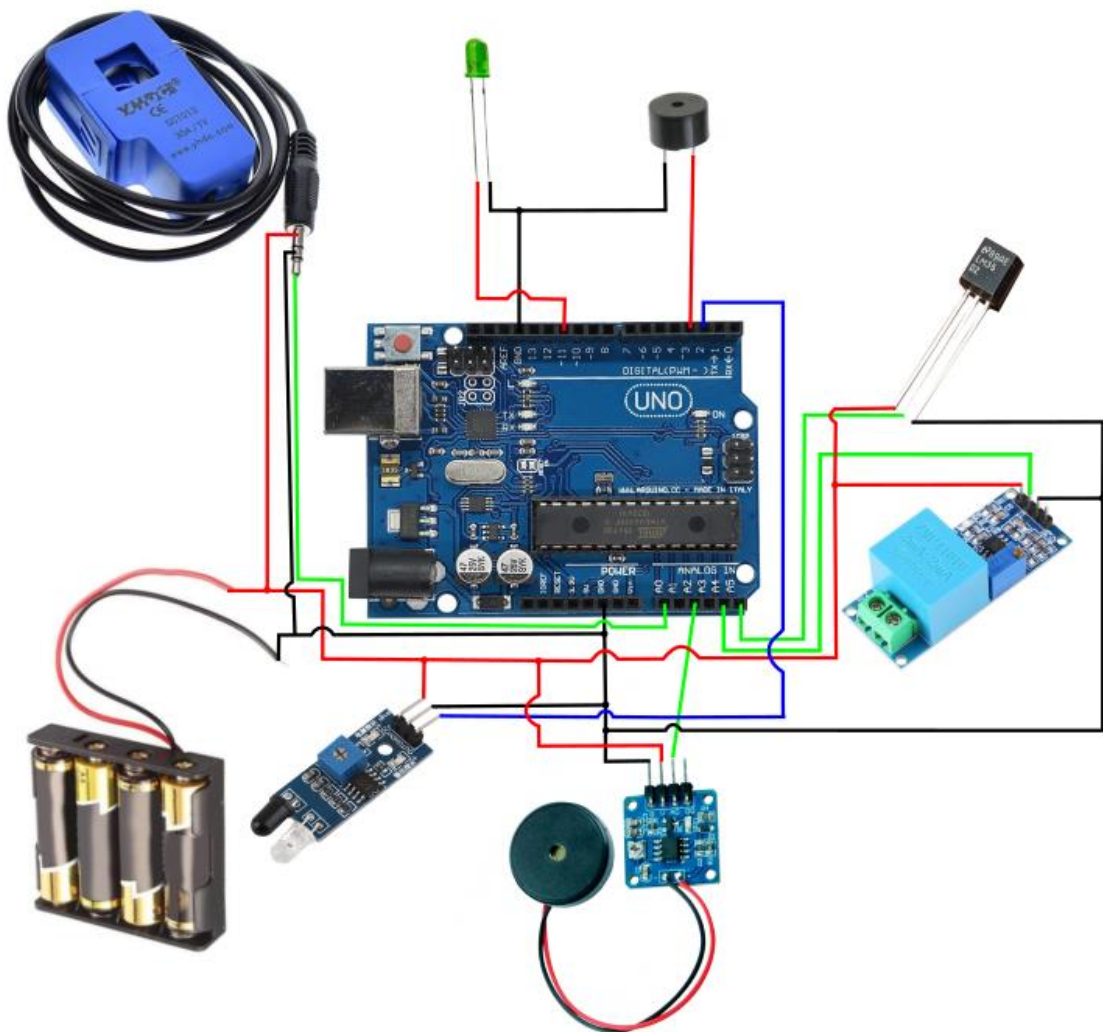
Ao longo do tempo foram feitos testes e pesquisas buscando os melhores sensores para aferir cada dado, assim decidimos por: sensor piezoelétrico para aferir a vibração, sensor de corrente com alicate amperímetro não invasivo, sensor de temperatura LM35, sensor de obstáculo infravermelho para medir a velocidade de rotação e para a tensão um simples sensor CA.

Devido ao alto valor que do projeto completo optou-se por não o construir de maneira 100% funcional, assim nem todas as correntes e tensões serão aferidas, contudo a valor de teste, ele será valido pois as aferições durante os testes podem ser feitas individualmente. Para suprir a falta de um projeto completo ao final do prazo de entrega foi criado um protótipo 3D mostrando como ficaria o projeto final.

9.1 Esquema elétrico

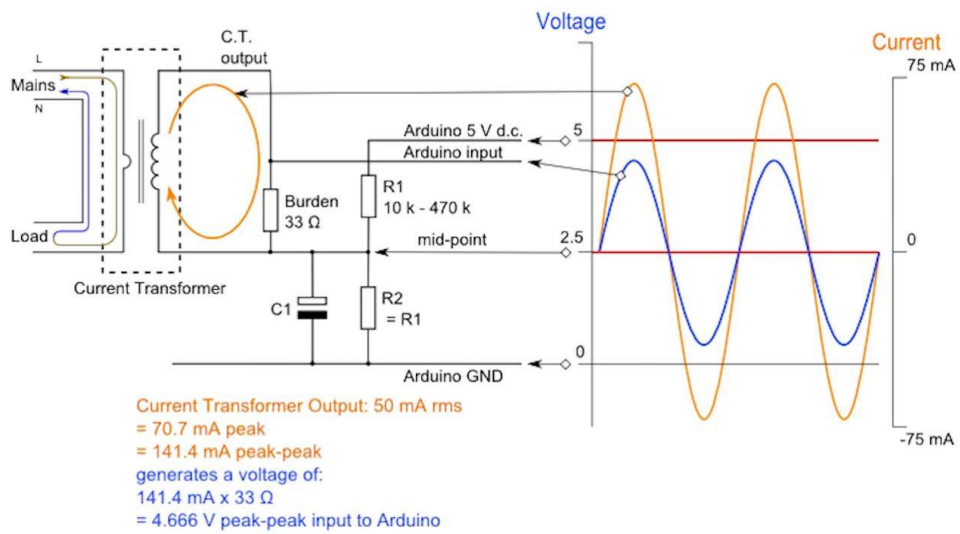
A seguir, o esquema elétrico utilizado no DMM (Modelo representativo, o sensor de corrente foi inserido no circuito de outra maneira, como mostra a figura 11)

Figura 10 - Esquema elétrico



Fonte: Autoria Própria

Figura 11 - Esquema elétrico do sensor de corrente



Fonte: Autoria Própria

9.2 Código do projeto e leitura dos dados

Código utilizado no Arduino para o processamento dos dados aferidos com os sensores (Figura 12), e visualizador em Excel (Figura 13).

Figura 12 - Código do Arduino

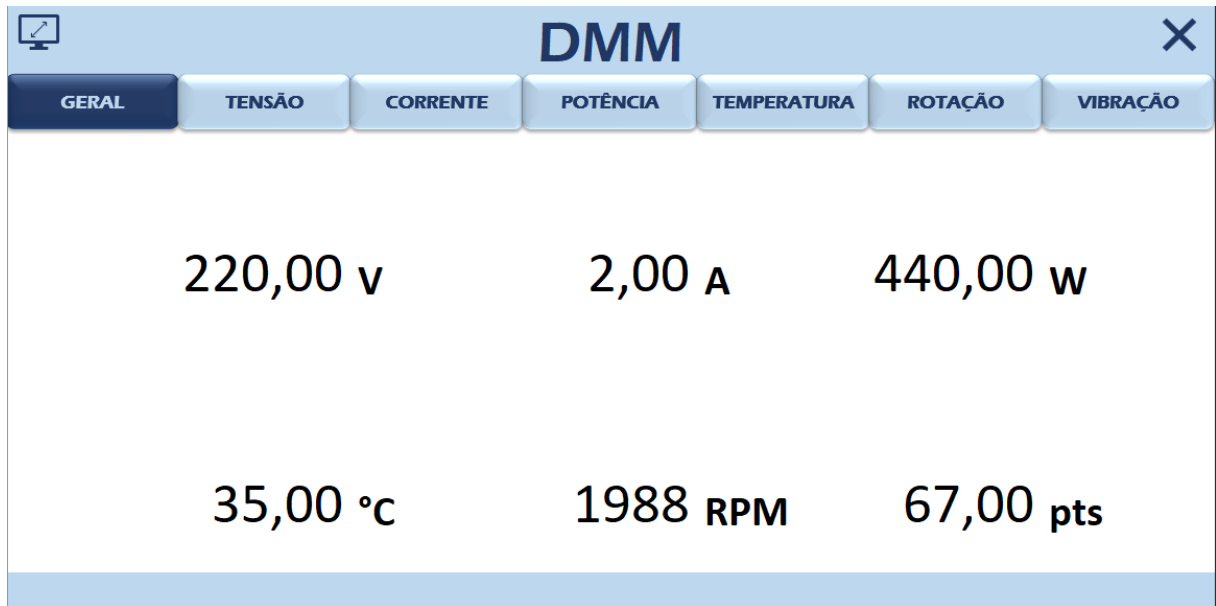
```

DMM.ino
1  #include "EmonLib.h"
2
3  #define pin_temp A0
4  #define pin_vibracao A1
5  #define VOLT_CAL 212
6  #define CURRENT_CAL 24
7  #define mdlRPM 2
8
9  int estadoAtual = 1;
10 int estadoAnterior = 1;
11 unsigned long tempoAnterior = 0;
12 unsigned long tempoAtual = 0;
13 unsigned long tempoDeGiro = 0;
14 float rpm = 0;
15
16 EnergyMonitor emon1;
17
18 void setup() {
19   Serial.begin(9600);
20   tempoAnterior = micros();
21
22   pinMode(pin_temp, INPUT); // porta A0
23   pinMode(pin_vibracao, INPUT); // porta A1
24   emon1.voltage(2, VOLT_CAL, 1.7); // porta A2
25   emon1.current(0, CURRENT_CAL); // porta A3
26   pinMode(mdlRPM, INPUT_PULLUP); // porta D2
27 }
28
29 void loop() {
30
31   // Aferidor de temperatura
32   int temp = (5.0 * analogRead(pin_temp) * 100.0) / 1024;
33
34   // Aferidor de vibração
35   int vibracao = analogRead(pin_vibracao);
36
37
38
39   // Aferidor de RPM
40   estadoAtual = digitalRead(mdlRPM);
41   if(estadoAtual != estadoAnterior) {
42
43     emon1.calcVI(17, 13);
44     // Aferidor de tensão
45     float supplyVoltage = emon1.Vrms;
46
47     // Aferidor de corrente
48     float currentDraw = emon1.Irms;
49
50     if(estadoAtual == HIGH) {
51       tempoAtual = micros();
52       tempoDeGiro = tempoAtual - tempoAnterior;
53       rpm = (float)60000000/tempoDeGiro;
54       Serial.print(temp);
55       Serial.print(",");
56       Serial.print(vibracao);
57       Serial.print(",");
58       Serial.print(supplyVoltage);
59       Serial.print(",");
60       Serial.print(currentDraw);
61       Serial.print(",");
62       Serial.println(rpm);
63       tempoAnterior = tempoAtual;
64     }
65   }
66   estadoAnterior = estadoAtual;
67 }
68

```

Fonte: Autoria Própria

Figura 13 - Monitor em Excel



Fonte: Autoria Própria

9.3 Modelo 3D

O modelo 3D foi desenvolvido com o objetivo de mostrar o possível resultado final para o projeto. Pode ser acessado pelo link: <https://webgl-motor.vercel.app/>.

Figura 14 - Dispositivo acoplado ao motor



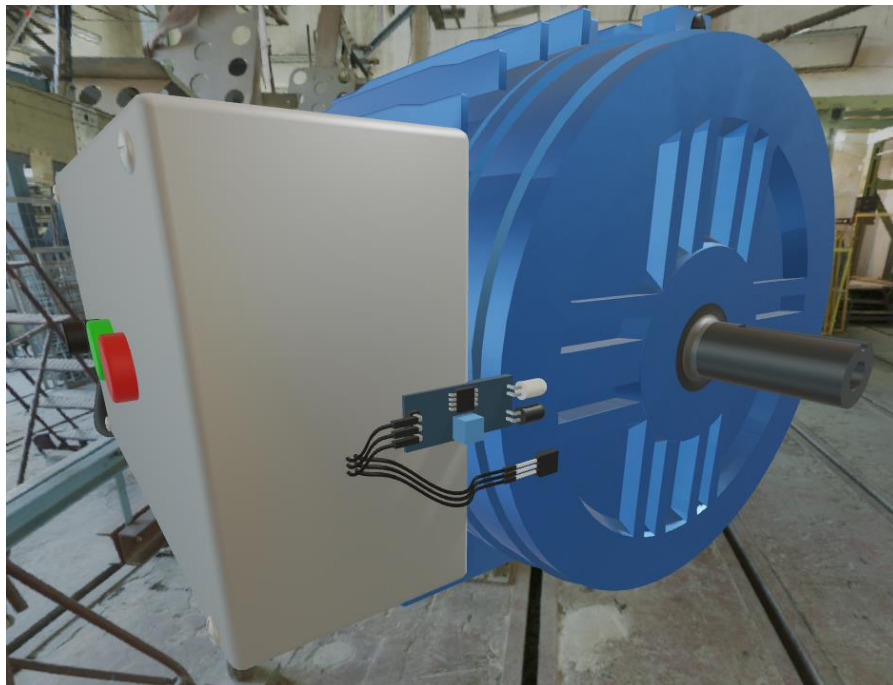
Fonte: Autoria Própria

Figura 15 - Dispositivo acoplado ao motor, vista traseira



Fonte: Autoria Própria

Figura 16 - Sensores no motor



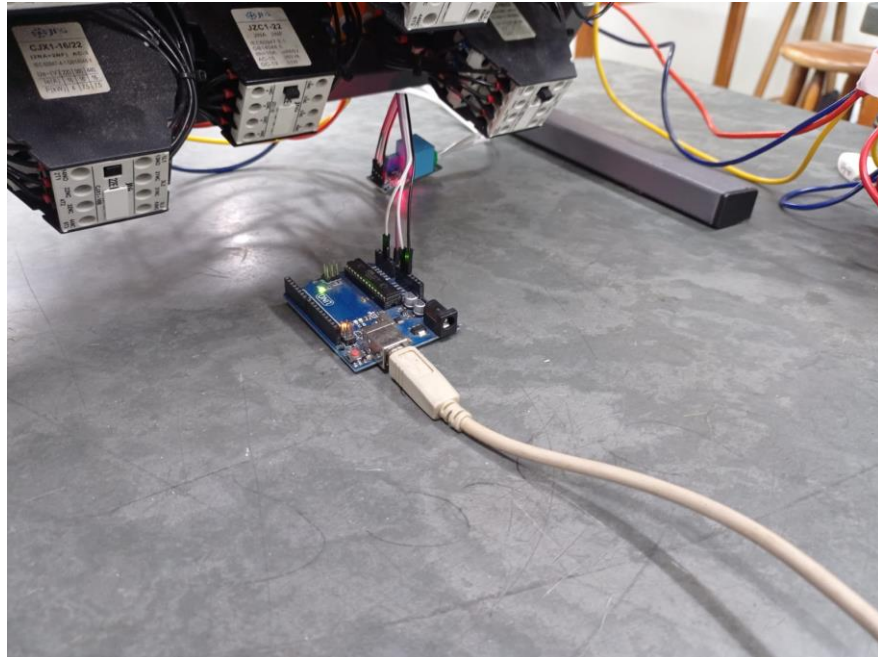
Fonte: Autoria Própria

9.4 Montagem do hardware

O hardware foi montado em várias etapas, onde sequencialmente foram

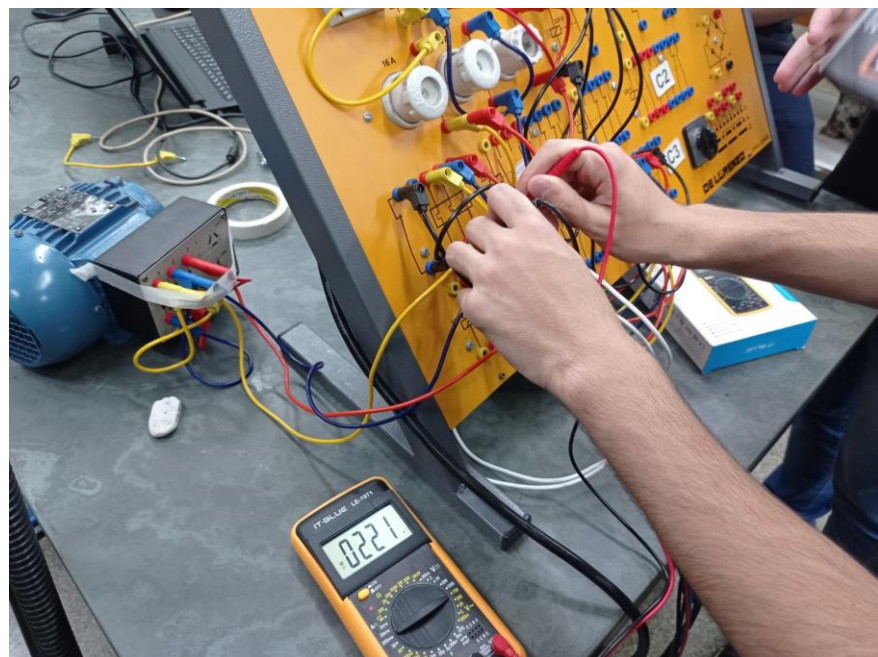
testados individualmente cada sensor, e após todos estarem em pleno funcionamento foi realizado o teste final com todos os sensores ligados ao mesmo tempo, por fim o DMM foi montado em seu case.

Figura 17 - Teste 1 - Sensor de Tensão



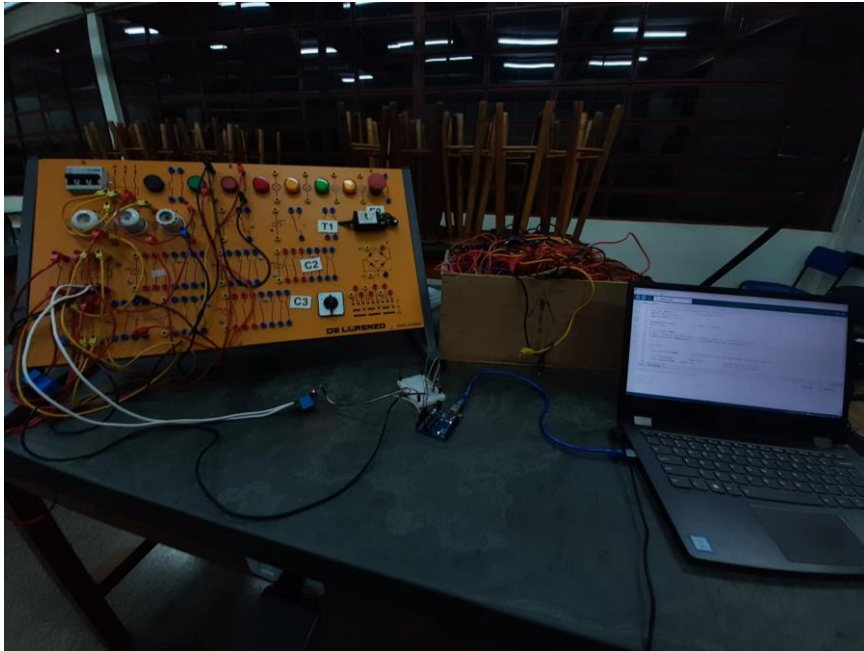
Fonte: Aatoria própria

Figura 18 - Teste 1 - Resultado do Multímetro com o Sensor CA



Fonte: Aatoria própria

Figura 19 - Teste 2 - Sensor de corrente com sensor de tensão CA



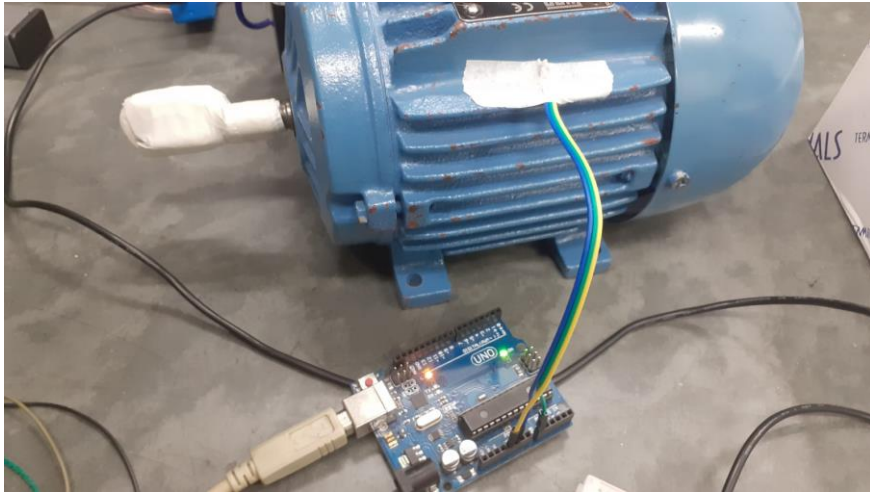
Fonte: Autoria própria

Figura 20 – Teste 3 - Sensor de Vibração



Fonte: Autoria própria

Figura 21 - Teste 4 - Sensor de Temperatura



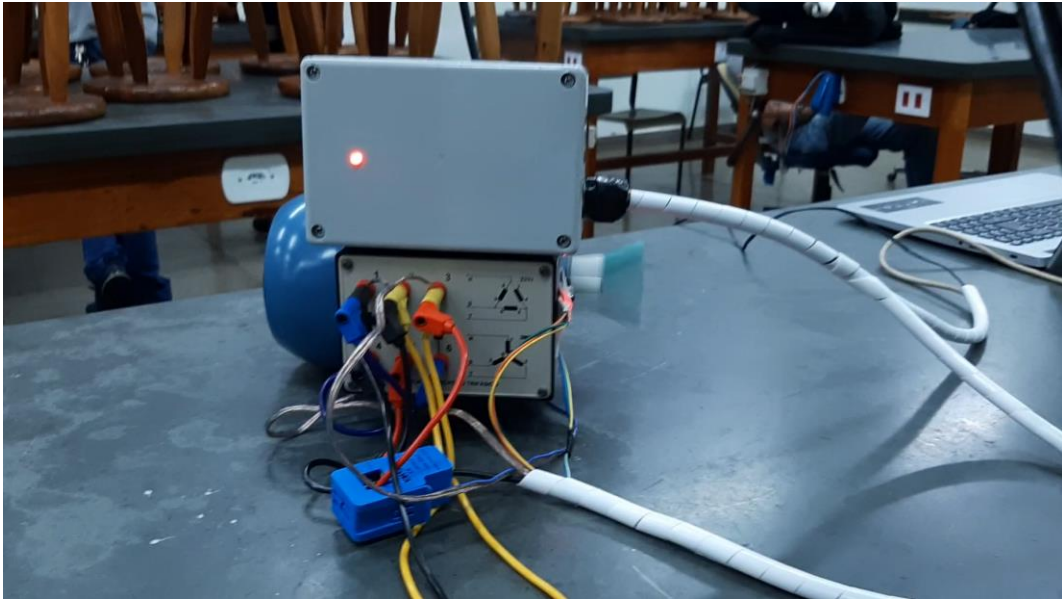
Fonte: Autoria própria

Figura 22 - Teste 5 - Sensor de Rotação



Fonte: Autoria própria

Figura 23 - Teste Final



Fonte: Autoria própria

9.5 Testes

Os principais testes foram desenvolvidos ao final do projeto, a seguir a tabela demonstrando os resultados:

Tabela 2 - Lista dos testes

Testes					
Número do teste	Data	Dispositivo testado	Resultado esperado	Resultado Obtido	Reprovado / Aprovado
#1	11/02/2021	Sensor de Vibração	18 a 22 pts	não obtido	Reprovado
#2	11/02/2021	Sensor de Tensão	220 V	220 V	Aprovado
#3	11/05/2021	Sensor de Temperatura	25 a 30° C	27° C	Aprovado
#4	11/05/2021	Sensor RPM	1900 a 2100 RPM	2000 RPM	Aprovado
#5	11/05/2021	Sensor Vibração	18 a 22 pts	20 pts	Aprovado
#7	24/05/2021	Sensor Corrente	1A a 1,5A	1,1A	Aprovado

Fonte: Autoria própria

10. Considerações finais

Concluimos que o projeto foi um sucesso, o protótipo final conseguiu atender a

todos os requisitos iniciais. O DMM realizou todas as aferições (temperatura, tensão, corrente, velocidade de rotação e vibração) com êxito, assim possibilitando aos seus usuários a possibilidade de uma manutenção preditiva. O hardware teoricamente deve ter um tempo de vida sustentável, contudo caso acabe por haver defeito em algum dos sensores, eles podem ser reparados ou trocados individualmente.

O segundo objetivo do DMM (ser um dispositivo com um preço acessível) também foi alcançado com sucesso, tendo em vista que o valor da sua produção e de venda proporcionam uma margem de lucro relativamente baixa inicialmente, contudo com a estabilidade do projeto a mesma se torna consistente e viável.

11. Referências bibliográficas

ENGEMAN, site. **Tipos de Manutenção**, Disponível em: <<https://blog.engeman.com.br/tipos-de-manutencao/>>. Acesso em 24 de novembro de 2022.

WEG, site. **Motores elétricos**. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Tintas-e-Vernizes/Vernizes-Impregna%C3%A7%C3%A3o/Motores-El%C3%A9tricos/c/TV_VI_MotoresEletricos>. Acesso em 24 de novembro de 2022.

ITKINDAWORKS, Vídeo. **Home Energy Monitor Project: Current**, 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z3YSHhS39Bc>>. Acesso em 24 de novembro de 2022.

OLIVEIRA, Euler, **Como usar com Arduino – Sensor de Tensão AC 0 a 250V Voltímetro ZMPT101B**, 2018. Disponível em <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-tensao-ac-0-a-250v-voltmetro-zmpt101b>>. Acesso em 24 de novembro de 2022.

STROSCHON, Gustavo Rodolfo. **SENSOR DE TEMPERATURA LM35 – PRIMEIROS PASSOS**, 2020. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-temperatura-lm35-primeiros-passos/#:~:text=Esquema%20de%20liga%C3%A7%C3%A3o%20do%20LM35&text=As%20conex%C3%B5es%20do%20LM35%20com,conectado%20ao%20GND%20do%20Arduino>>. Acesso em 24 de novembro de 2022.