

## **ANALISE PREDITIVA DE FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS UTILIZANDO ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E TEMPERATURA COM INTEGRAÇÃO DE CLP**

GOMES. Felipe<sup>1</sup>, BUSO<sup>2</sup>. Julia, SANTOS<sup>3</sup>. Laryssa, PEREIRA. José<sup>4</sup>, BARALDI. Marcelo<sup>5</sup>, BRAGA, Mauro<sup>6</sup>, KOKUMAI. Fabíola<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Salto, felipe.torres@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Salto, j.buso@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Salto, laryssa.carvalho@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>4</sup> Docente em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Salto, jose.pereira@ifsp.edu.br.

<sup>5</sup> Docente em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Salto, marcelo.baraldi@ifsp.edu.br.

<sup>6</sup> Docente em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Salto, fabiolatdef@ifsp.edu.br.

<sup>7</sup> Docente em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Salto, mauro@ifsp.edu.br..

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.00.00.00-9 Engenharias

Artigo apresentado à comissão julgadora como Trabalho de Conclusão de Curso, atendendo aos requisitos de formação do curso Superior de Engenharia de Controle e Automação do Campus Salto do IFSP

Data de apresentação - Salto-SP, Brasil

**RESUMO:** O monitoramento contínuo dos parâmetros é essencial para o desenvolvimento da manutenção preditiva, a qual os utiliza para definirmos limites operacionais das máquinas, evitando paradas indesejadas na linha de produção, por conta de falhas. Neste contexto, a utilização de um dispositivo que captura estes parâmetros e os demonstra através de um dashboard, se faz extremamente útil. No projeto, foram utilizados dois sensores que captam sinais analógicos, sendo estes um acelerômetro ADXL 335, responsável pela obtenção da vibração, e um sensor de temperatura, LM35 que os transmite a um microcontrolador, o ESP 32. Por fim, através da conexão IoT (*Internet Of Things*), os dados são transmitidos ao *Google Sheets* e demonstrados através de gráficos, como X, Y e Z, Magnitude e Temperatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** manutenção; dispositivo; baixo custo;

### **PREDICTIVE FAILURE ANALYSIS OF ELECTRIC MOTORS USING VIBRATION AND TEMPERATURE ANALYSIS WITH PLC INTEGRATION**

**ABSTRACT:** Continuous parameter monitoring is essential for the development of predictive maintenance, which uses these parameters to define the operational limits of machinery, preventing unwanted production line stoppages due to failures. In this context, the use of a device that captures these parameters and displays them through a dashboard is extremely useful. In the project, two sensors that capture analog signals were used, namely an ADXL 335 accelerometer, responsible for obtaining vibrations, and an LM35 temperature sensor, which transmits them to a microcontroller, the ESP 32. Finally, through an IoT (*Internet Of Things*) connection, the data is transmitted to Google Sheets and displayed through graphs, such as X, Y, and Z, Magnitude, and Temperature.

**KEYWORDS:** maintenance; device; low cost;

## INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico tem garantido a dependência das indústrias em relação ao trabalho realizado através das máquinas, principalmente as máquinas rotativas, as quais são utilizadas em indústrias de geração de energia, aeronáutica e petroquímica (Silva, 2012). Neste cenário, a necessidade de manutenções rápidas, eficientes e econômicas são requisitadas, evitando defeitos que resultam em prejuízos, interrupção da produção e riscos à segurança dos trabalhadores. No domínio industrial, predominam-se três tipos de manutenções: preventiva, preditiva e corretiva. Conforme o Blog Produttivo, a manutenção preventiva é realizada através de fiscalizações periódicas, a fim de evitar problemas futuros; a manutenção preditiva, consiste no monitoramento contínuo dos equipamentos, analisando dados para identificar possíveis alterações que indiquem defeitos, utilizando assim o máximo de aproveitamento que o equipamento possa oferecer, é o método mais atual de manutenção (Adriano, 2020); a manutenção corretiva ocorre somente após a falha do equipamento.

A manutenção preditiva, baseia-se no monitoramento de dados do equipamento, entre as variáveis que são mensuradas para a manutenção de um motor, encontra-se vibração e aquecimento. Alguns defeitos como, rolamentos desgastados, rompimento de barras, desalinhamento, ventilador quebrado e mau contato, são obtidos através da alteração destes parâmetros.

Todavia, para as pequenas e médias empresas, o custo para se realizar esta manutenção é exorbitante (Vieira *et al.*, 2022). Portanto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico de baixo custo, que possa realizar a manutenção preditiva em motores elétricos e bifásicos, será monitorado, através de IOT (Internet das Coisas), os parâmetros: vibração e temperatura. Com a saída destas variáveis do padrão, será emitido um alerta, com possível defeito a ser analisado. Além disso, o dispositivo será conectado a um CLP (Controlador Lógico Programável), utilizando linguagem Ladder, para facilitar a utilização por profissionais da área.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado os seguintes materiais eletrônicos:

- ESP 32: Um microcontrolador com Wi-Fi e Bluetooth integrados.
- Módulo Acelerômetro ADXL 335: Sensor que mede acelerações em três eixos (X, Y, Z).
- Plug 3 Pinos (3P + T): Conector elétrico com três pinos.
- Disjuntor 6A: Dispositivo de proteção que desliga o circuito em caso de sobrecarga ou curto-circuito.
- Cabo PP: Tipo de cabo elétrico flexível, com isolamento de PVC.
- Motor Bifásico: Motor elétrico que opera com duas fases.
- Protoboard: Placa de ensaio para montagem temporária de circuitos eletrônicos.
- Jumpers (Fios, 20 unidades): Fios usados para conexões em protoboard e circuitos

Para realizar o monitoramento dos dados, foi desenvolvido o circuito do motor, configurando-o para operar em 110V. Em seguida, foi construído o circuito eletrônico com o ESP32 e o acelerômetro na protoboard e fixamos esses componentes na carcaça do motor para iniciar a aquisição de dados FIGURA 1 e FIGURA 2.

FIGURA 1. Circuito eletrônico com ESP 32 e Acelerômetro ADXL 345.

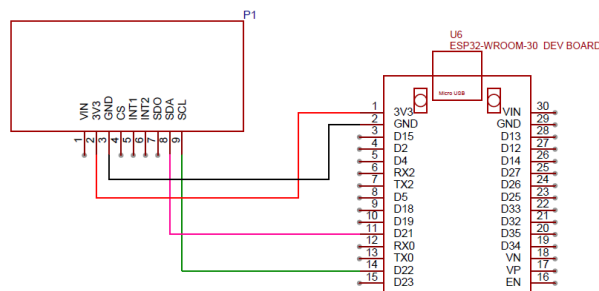
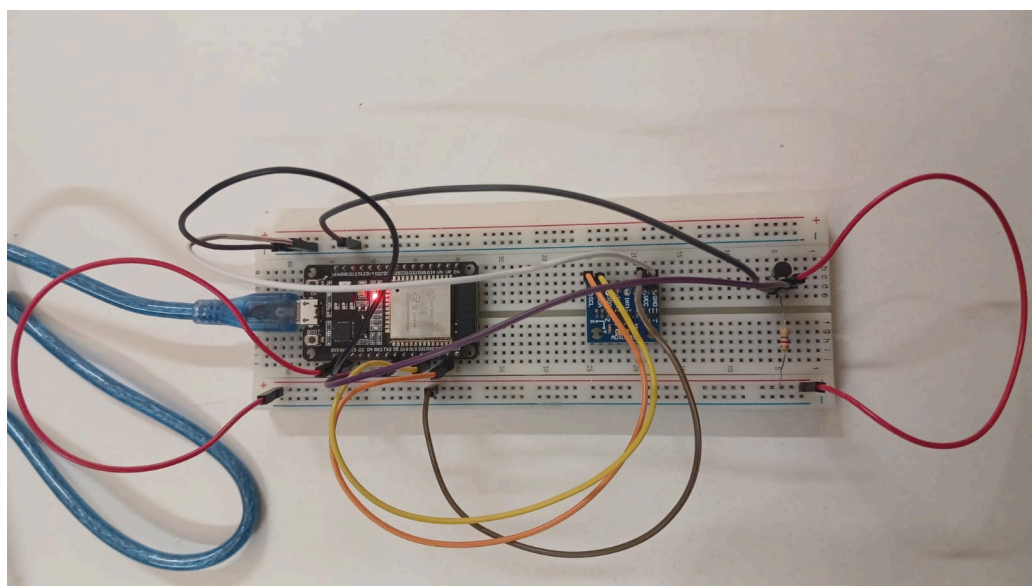


FIGURA 2. Circuito montado em protoboard.



O código do ESP32 é responsável por coletar os dados e se comunicar com uma planilha do Google Sheets, que recebe esses dados e gera, através de um script em JavaScript, gráficos conforme a vibração do motor, possibilitando seu monitoramento e análise.

Para o desenvolvimento da PCB do CLP, foi utilizado o software EasyEda, no qual foi inserido saída e entradas digitais, entradas analógicas, PWM/PTO e Comunicação RS485

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

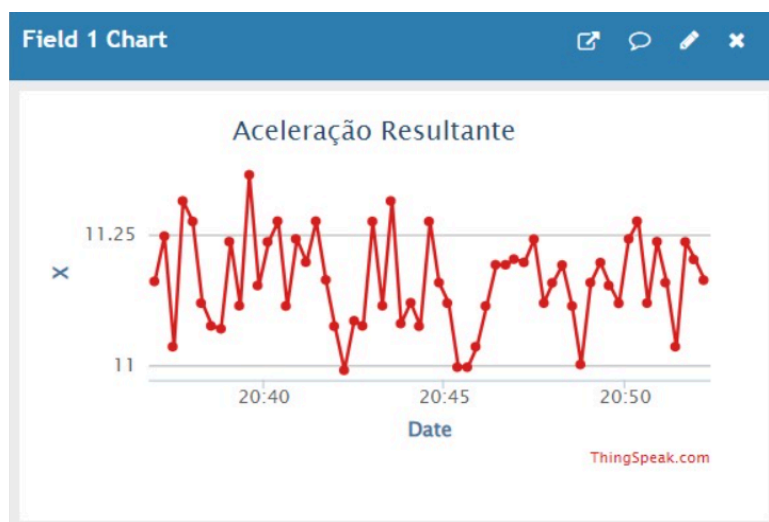
O primeiro teste com o módulo acelerômetro foi realizado a partir da IDE Arduino, onde foi possível obter os componentes X, Y e Z de aceleração em relação ao movimento, concluindo assim que o dispositivo sensorial estaria funcionando Figura 3.

FIGURA 3. Primeiro teste com o acelerômetro recebendo os componentes X, Y e Z.

X: 0.12	Y: -1.29	Z: 11.22	m/s <sup>2</sup>
X: 0.16	Y: -1.45	Z: 11.14	m/s <sup>2</sup>
X: 0.12	Y: -1.33	Z: 11.26	m/s <sup>2</sup>
X: 0.20	Y: -1.26	Z: 11.26	m/s <sup>2</sup>
X: 0.08	Y: -1.37	Z: 11.22	m/s <sup>2</sup>
X: 0.12	Y: -1.37	Z: 11.26	m/s <sup>2</sup>
X: 0.12	Y: -1.33	Z: 11.26	m/s <sup>2</sup>
X: 0.12	Y: -1.33	Z: 11.18	m/s <sup>2</sup>
X: 0.16	Y: -1.45	Z: 11.22	m/s <sup>2</sup>
X: 0.12	Y: -1.33	Z: 11.22	m/s <sup>2</sup>

Após a conclusão desse primeiro teste, foi realizada uma modificação no código para obter a magnitude da aceleração, para que assim fosse possível observar através de gráfico o funcionamento do módulo. A obtenção desse gráfico foi a partir da plataforma IoT ThingSpeak. Com a obtenção desse gráfico foi possível analisar que em repouso o módulo apresenta um valor entre  $11 \text{ m/s}^2$  e  $11,25 \text{ m/s}^2$  Figura 4.

FIGURA 4. Gráfico de magnitude do acelerômetro ADXL 335.

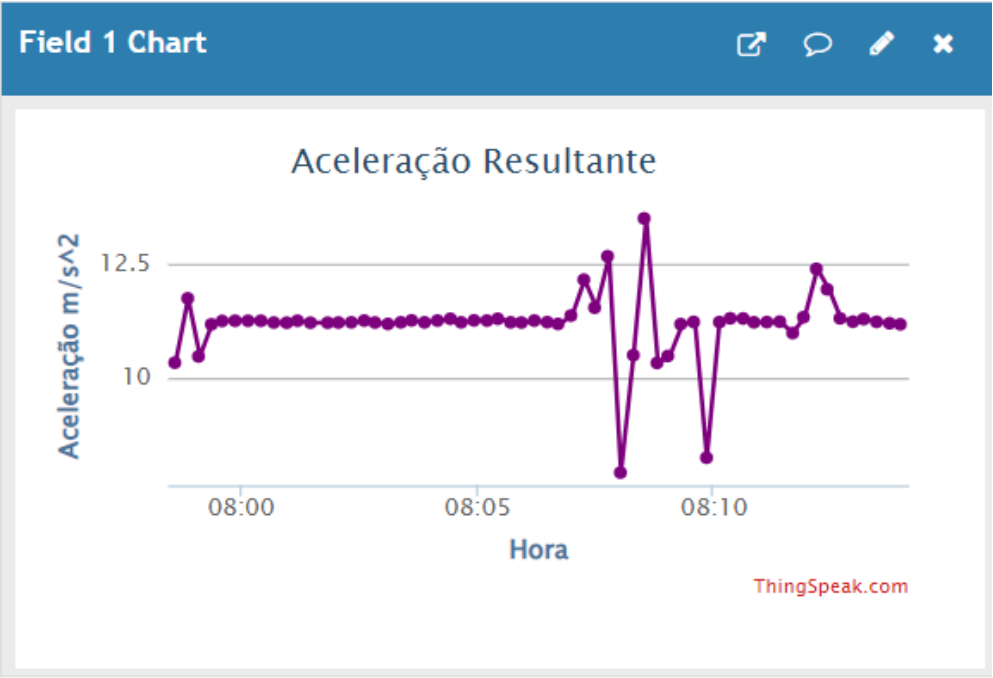


Dessa forma, foi conduzido um segundo teste para analisar o comportamento do acelerômetro quando colocado próximo à carcaça do motor elétrico durante sua partida Figura 5. Durante os primeiros momentos do motor ligado, foi possível observar os resultados do gráfico, com a transição dos valores de repouso para outras medidas Figura 6..

FIGURA 5. Módulo próximo da carcaça do motor elétrico durante a partida.



FIGURA 6. Gráfico de magnitude do acelerômetro ADXL 335 durante partida de motor.



Com essa plataforma IoT foi gerado o gráfico desejado, porém foi observado uma lentidão na chegada dos dados ao gráfico, que são enviados do ESP32 o que não possibilitaria também um arquivamento dos dados numéricos de magnitude para uma possível falha. Em vista disso, foi procurada uma outra opção para a captura dos dados e visualizar os gráficos de forma eficiente.

A opção escolhida foi o uso do Google Sheets, que através de um script é possível enviar e salvar os valores FIGURA 7 de magnitude, X, Y e Z para uma planilha e conseguimos obter também os gráficos respectivos. Com isso, foi criado uma aba que contém todas as informações reunidas FIGURA 8.

FIGURA 7. Dados de magnitude e das componentes X, Y e Z sendo recebidos em tempo real no Google Sheets com seus respectivos gráficos.

23/05/2024 07:58:17	0,24
23/05/2024 07:58:24	0,12
23/05/2024 07:58:31	0,2
23/05/2024 07:58:38	0,16
23/05/2024 07:58:46	0,16
23/05/2024 07:58:53	0
23/05/2024 07:59:01	0,12
23/05/2024 07:59:08	0,2
23/05/2024 07:59:15	0,08
23/05/2024 07:59:23	0,12

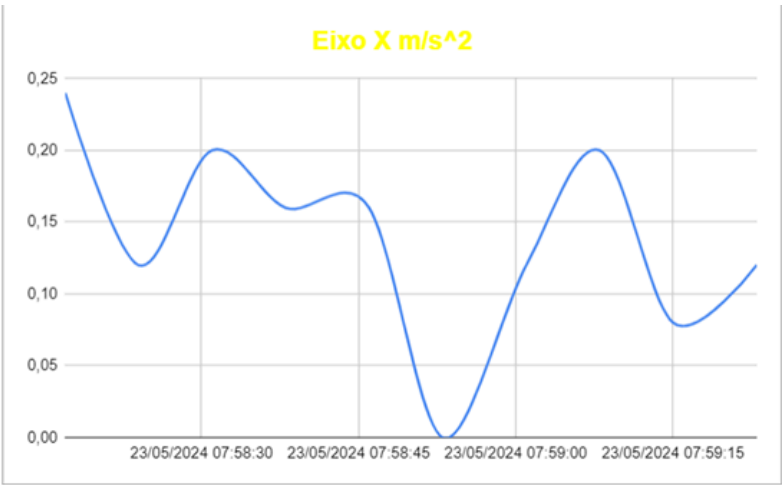


FIGURA 7. Dados de magnitude e das componentes X, Y e Z sendo recebidos em tempo real no Google Sheets com seus respectivos gráficos.

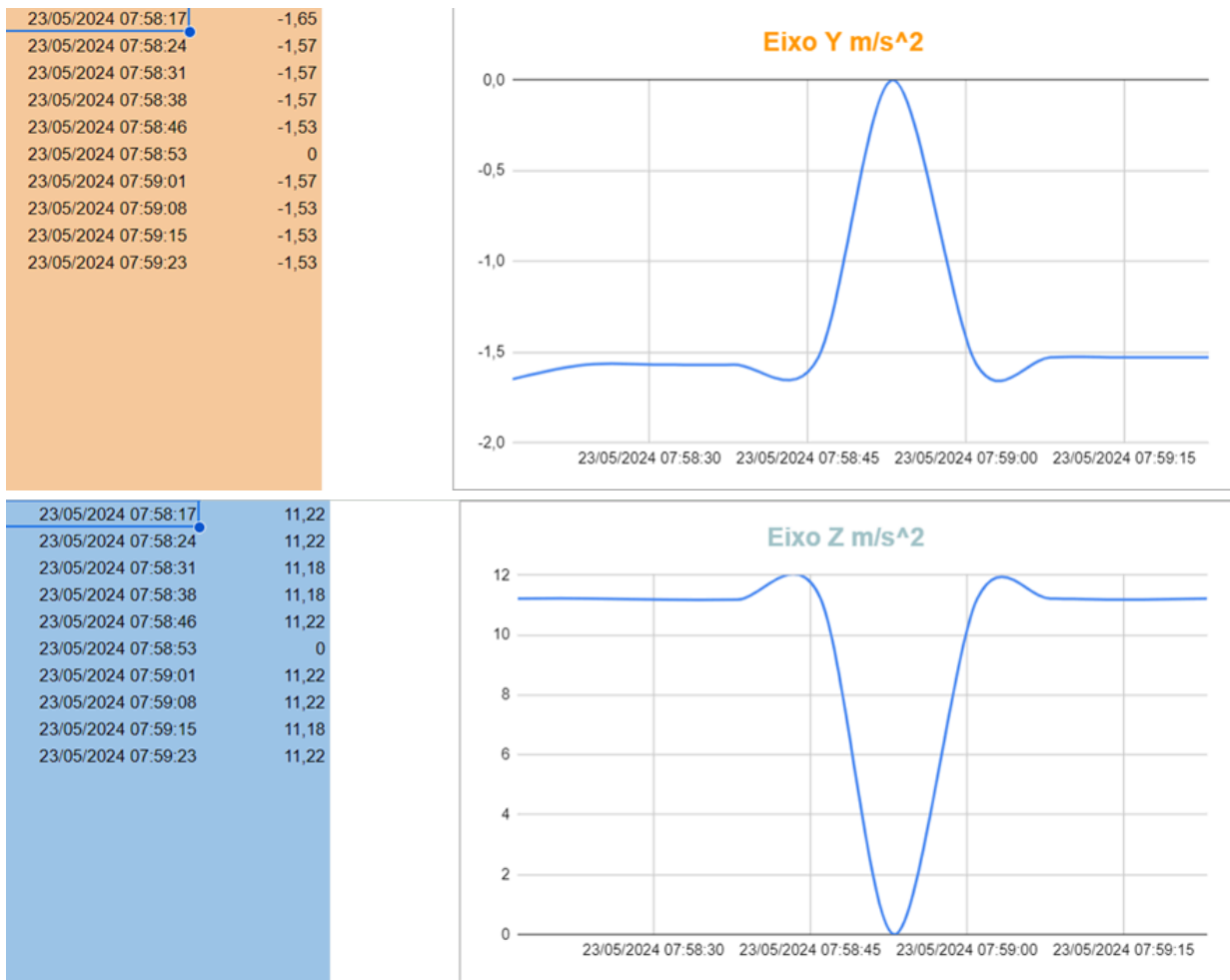


FIGURA 8. Dados geral de magnitude e das componentes X, Y e Z.

Timestamp	Magnitude	X	Y	Z
19/05/2024 17:56:18	11,53	0,16	-1,61	11,41
19/05/2024 17:56:23	11,4	0,16	-1,49	11,3
19/05/2024 17:56:30	11,41	0,16	-1,61	11,3
19/05/2024 17:56:37	11,45	0,2	-1,57	11,34
19/05/2024 17:56:44	11,1	0,24	-1,57	10,98
19/05/2024 17:56:50	11,1	0,16	-1,57	10,98
19/05/2024 17:56:57	11,32	0,2	-1,49	11,22
19/05/2024 17:57:04	10,48	-7,69	2,71	6,59
19/05/2024 17:57:11	9,82	-9,02	-0,04	3,88
19/05/2024 17:57:19	10,62	-7,45	0	7,57
19/05/2024 17:57:26	10,23	-4,16	-7,65	5,37
19/05/2024 17:57:33	7,76	-5,77	4,04	3,26
19/05/2024 17:57:40	10,85	-6,71	1,73	8,36
19/05/2024 17:57:47	10,2	-4,86	-2,71	8,55
19/05/2024 17:57:54	10,02	-4,94	7,1	5,06
19/05/2024 17:58:01	11,79	1,45	-4,04	10,98
19/05/2024 17:58:08	11,75	1,06	-1,14	11,65
19/05/2024 17:58:15	11,45	0,12	-1,26	11,38
19/05/2024 17:58:22	11,32	0,27	-1,77	11,18
19/05/2024 17:58:30	12,48	-7,53	-2,12	9,73
19/05/2024 17:58:37	10,79	-5,88	3,26	8,43
19/05/2024 17:58:43	9,84	-9,61	0	2,12



Após essa sequência de testes foi concluído que o acelerômetro está funcionando conforme o esperado e a base de dados sendo salvas como desejado, com isso será possível fazer as análises de possíveis falhas em motores elétricos. O próximo passo é verificar se as grandezas de vibração estão corretas e incluir o sensor de temperatura, como também escolher as falhas que serão analisadas e estudo de padrões como elas podem ocorrer. Apesar da plataforma de IoT não ter tido um resultado satisfatório em relação ao atraso e não salvar os dados, poderá ser usado talvez no futuro para o monitoramento através de um APP em celular.

Em relação ao CLP, está sendo desenvolvido para que seja integrado ao projeto. No momento está sendo inserido as entradas e saídas digitais, entrada analógica, comunicação RS485 e PWM/PTO sendo realizado no software EasyEDA, sendo que seu design pode sofrer alterações conforme a necessidade do projeto, como também a alteração dos circuitos nele inseridos Figura 9 e Figura 10.

FIGURA 9. PCB em 3D do CLP sendo desenvolvido no software EasyEDA.

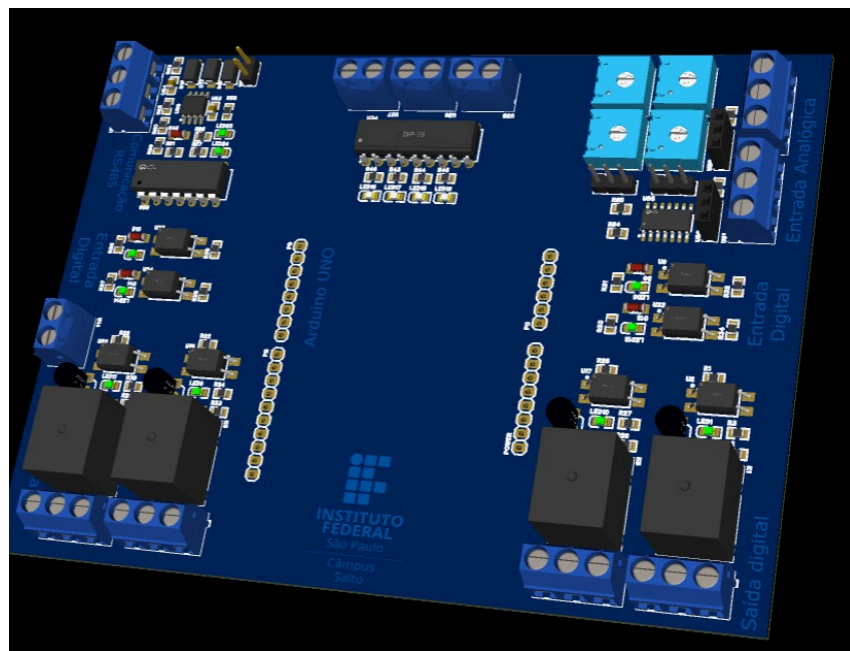
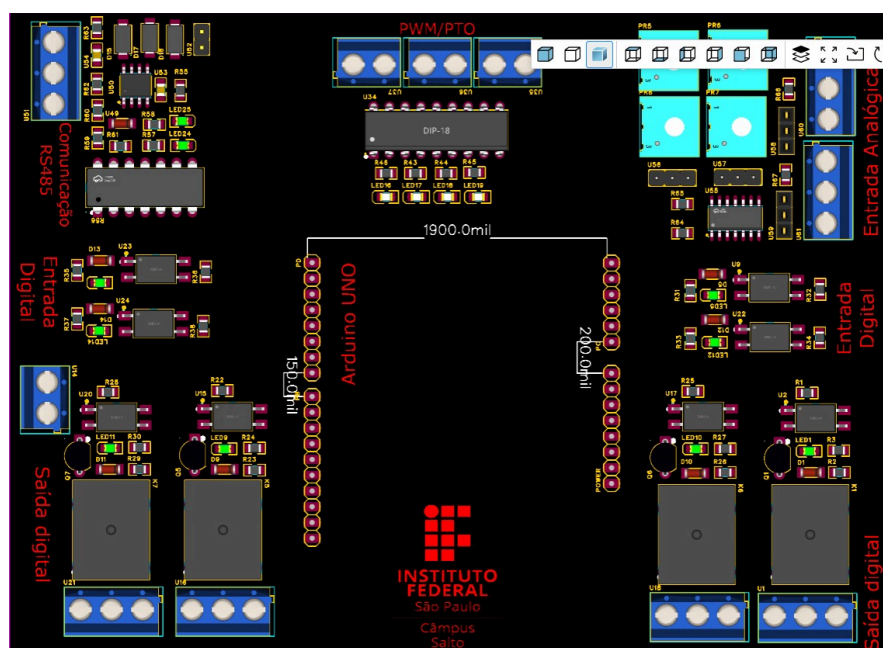


FIGURA 10. Vista superior dos componentes da PCB do CLP desenvolvido no EasyEDA



## REFERÊNCIAS

VIEIRA, B. et al. **MCE1458 BANCADA DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM MOTORES ELÉTRICOS PARA CONTROLE E SIMULAÇÃO DE DEFEITOS EM ROLA.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.unitau.br/enic/trabalhos/MCE1458.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CARDOZO, G. **UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL ÁREA DO CONHECIMENTO DE EXATAS E ENGENHARIAS.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/9358/TCC%20Gustavo%20Cardozo%20Adriano.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 jun. 2024.

**Vista do ANÁLISE DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS UTILIZANDO SENSORES DE BAIXO CUSTO, COMO MÉTODO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA.** Disponível em: <<https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/289/259>>. Acesso em: 20 jun. 2024.