



Universidade Federal do Amazonas

Faculdade de Tecnologia  
Engenharia Elétrica - Eletrônica

# **Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e Controle para Condicionadores de Ar Baseado em Internet das Coisas**

**Magno Aguiar de Carvalho**

Manaus – Amazonas

Fevereiro de 2019

Magno Aguiar de Carvalho

# **Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e Controle para Condicionadores de Ar Baseado em Internet das Coisas**

Monografia apresentada à Coordenação do  
Curso de Engenharia Elétrica - Eletrônica da  
Universidade Federal do Amazonas, como parte  
dos requisitos necessários à obtenção do título de  
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Vicente Ferreira de Lucena Junior

# Resumo

Palavras-chave: .

# Abstract

Keywords: .

# Sumário

<b>Lista de Algoritmos</b>	<b>iii</b>
<b>Abreviações</b>	<b>iv</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo Geral . . . . .	1
1.2 Objetivos Específicos . . . . .	1
1.3 Organização do trabalho . . . . .	1
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>2</b>
2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT . . . . .	2
2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico . . . . .	4
2.3 Medição de Energia Elétrica e os PMICs . . . . .	5
<b>3 Arquitetura</b>	<b>6</b>
<b>4 Desenvolvimento e Implementação</b>	<b>7</b>
4.1 <i>Hardware</i> . . . . .	7
4.1.1 Componentes utilizados . . . . .	8
4.1.2 Esquemáticos elétricos e <i>Layout</i> da PCB . . . . .	12
4.1.3 Módulo placa de automação de refrigeração residencial . . . . .	13
4.2 <i>Firmware</i> . . . . .	13
4.2.1 Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi . . . . .	13
4.2.2 <i>Driver</i> de controle dos periféricos . . . . .	14
4.2.3 Monitoramento dos sensores . . . . .	14
4.3 <i>Software</i> . . . . .	14

---

4.3.1	Comunicação no protocolo MQTT . . . . .	14
4.3.2	Interação com o <i>Hardware</i> implementado . . . . .	14
4.3.3	Funcionalidades implementadas . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Testes e Avaliação de Desempenho</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>16</b>
<b>A</b>	<b>Esquemáticos Elétricos</b>	<b>17</b>
<b>B</b>	<b><i>Layout</i> da PCB</b>	<b>21</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>27</b>

# **Lista de Algoritmos**

# Abreviações

**PCB** - Placa de circuito impresso - do inglês *Printed Circuit Board*

**USB** - Barramento universal serial - do inglês *Universal Serial Bus*

**I2C** - Circuito inter-integrado - do inglês *Inter-Integrated Circuit*

**UART** - Receptor-transmissor universal assíncrono - do inglês *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*

**MQTT** - Protocolo de mensagens entre máquinas - do inglês *Message Queuing Telemetry Transport*

**LED** - Diodo emissor de luz - do inglês *Light-Emitting Diode*

**OTA** - Pelo ar - do inglês *Over-The-Air*

**SDIO** - Entrada e saída digital segura - do inglês *Secure Digital Input Output*

**SPI** - Interface periférica serial - do inglês *Serial Peripheral Interface*

**I2S** - Som entre circuito-integrados - do inglês *Inter-IC Sound*

**GPIO** - Entrada e saída de uso geral - do inglês *General Purpose Input Output*

**ADC** - Conversor analógico/digital - do inglês *Analog to Digital Converter*

**PWM** - Modulação por largura de pulso - do inglês *Pulse Width Modulation*

**SMD** - Componente para montagem em superfície - do inglês *Surface Mounting Device*

**CI** - Circuito Integrado

**WWW** - Rede Mundial de Computadores - do inglês *World Wide Web*

**SSID** - Identificador do Conjunto de Serviço - do inglês *Service Set Identifier*

**IP** - Endereço de Protocolo - do inglês *Internet Protocol*

**TCP** - Protocolo de Controle de Transmissão - do inglês *Transmission Control Protocol*

**IoT** - Internet das Coisas - do inglês *Internet of Things*



# **Capítulo 1**

## **Introdução**

### **1.1 Objetivo Geral**

### **1.2 Objetivos Específicos**

### **1.3 Organização do trabalho**

# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, a seção 2.1 explanará a Internet das Coisas (IoT) e um dos protocolos mais utilizados por esta tecnologia, o *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), que é um dos protocolos mais utilizados quando se trata de comunicação neste tipo de rede. Em seguida, na seção 2.2, serão abordados os dispositivos utilizados quando se trata de acionamentos elétricos, dando enfoque aos responsáveis pelo acionamento de cargas do tipo resistiva e indutiva. Por final será abordado, na seção 2.3, a medição de energia elétrica e os Circuitos Integrados de Gerenciamento de Energia (PMICs), enfatizando suas utilizações em sistemas de monitoramento da qualidade da energia elétrica.

### 2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT

O termo Internet das Coisas (IoT) surgiu quando um grupo do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) trabalhava no campo de identificação, localização e reconhecimento de estado de objetos usando sensores sem fio e tecnologia de identificação por radiofrequência [1].

A IoT é um serviço da Internet que permite dispositivos físicos a comunicarem entre si ou com pessoas, através da rede mundial de computadores, possibilitando assim adquirir e monitorar informações.

Com o trabalho colaborativo de vários sistema, a IoT torna ambientes mais inteligentes, permitindo repostas automáticas - ou seja, sem interferência humana - a dados adquiridos do ambiente, como monitoramento de cheias, informações sobre terremotos, dados sobre o tráfego,

entre outros [2, 3].

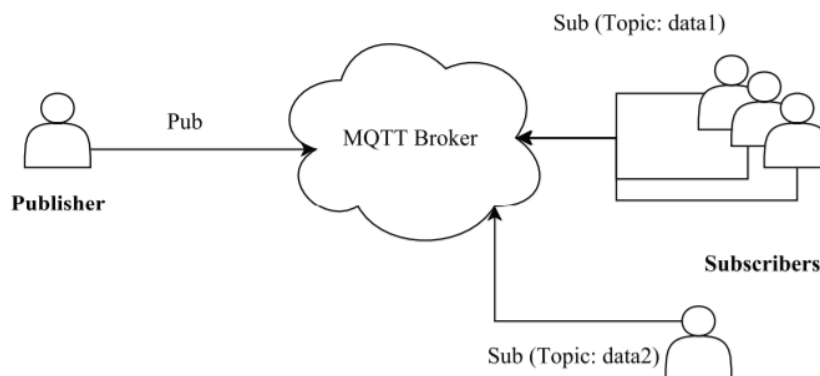


Figura 2.1: Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [3].

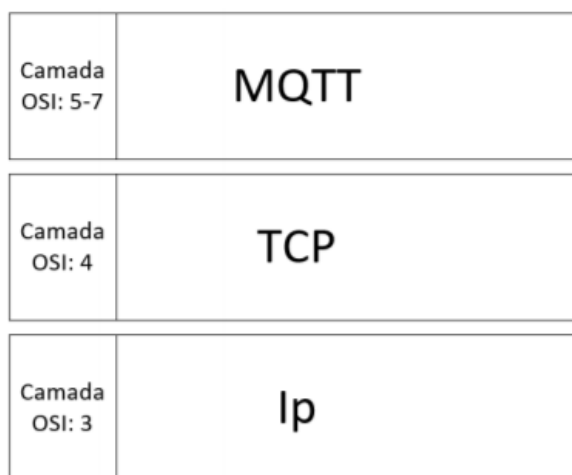


Figura 2.2: As camadas do protocolo MQTT [4].

## 2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico

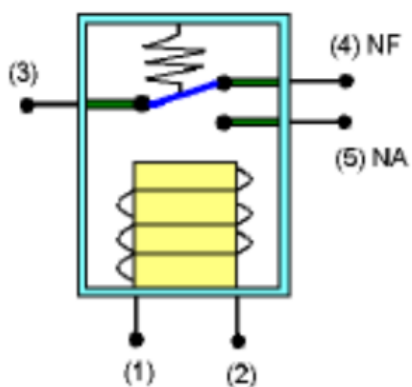


Figura 2.3: Diagrama esquemático de um relé [5].

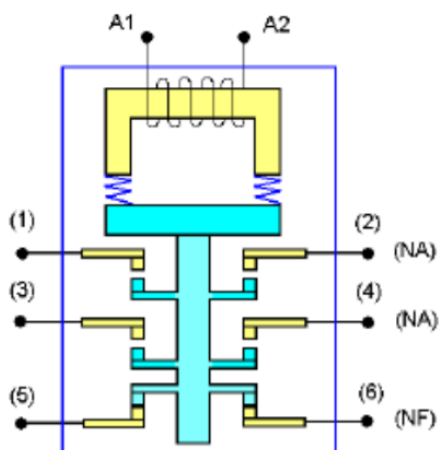


Figura 2.4: Diagrama esquemático de uma contatora [5].

## 2.3 Medição de Energia Elétrica e os PMICs

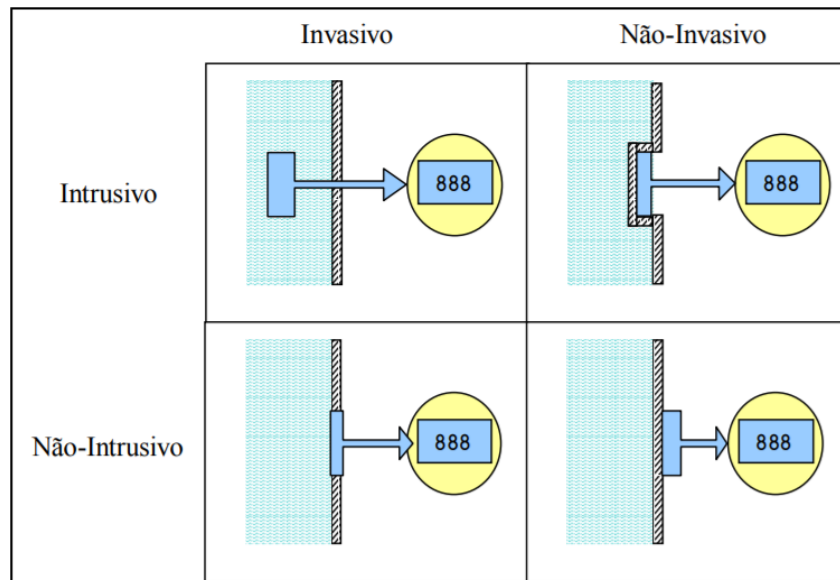


Figura 2.5: Definição dos termos invasivo e intrusivo [6].

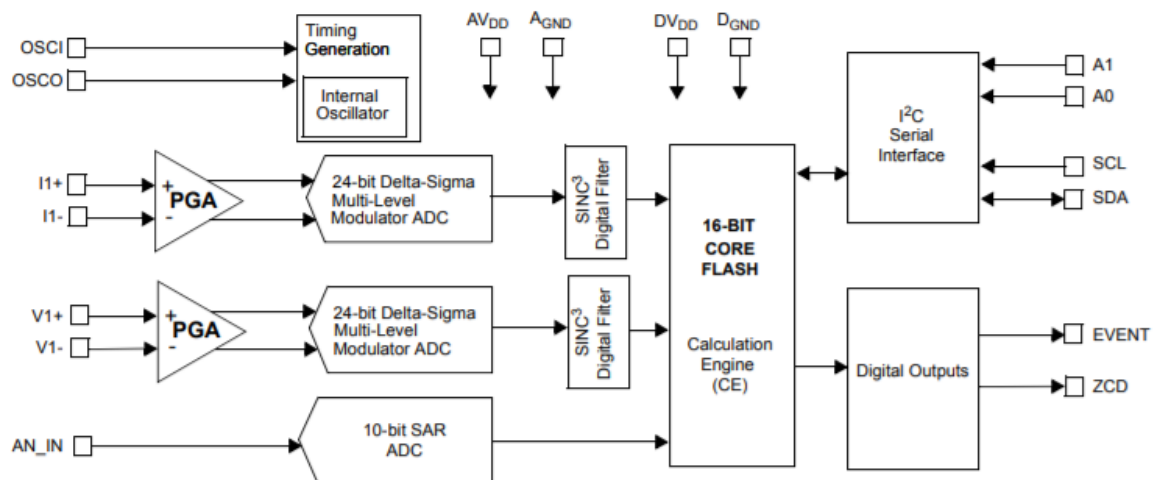


Figura 2.6: Arquitetura interna básica de um PMIC [7].

## Capítulo 3

### Arquitectura

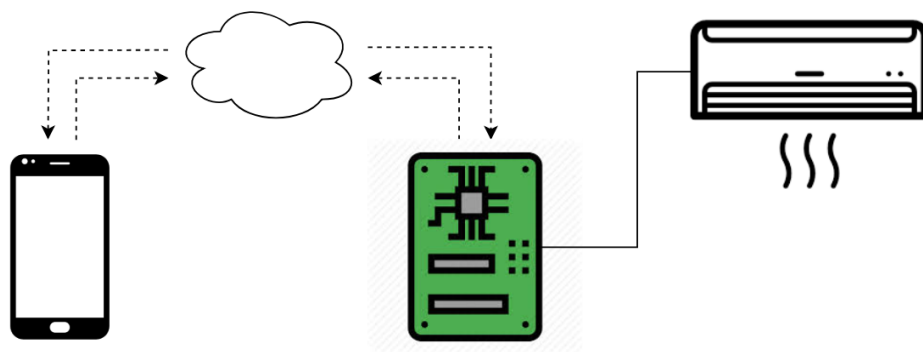


Figura 3.1: Arquitectura a ser implementada.

# Capítulo 4

## Desenvolvimento e Implementação

Este capítulo apresenta detalhadamente o que foi feito para desenvolver e implementar o sistema de gerenciamento e controle de um condicionador de ar, levando em conta 3 pilares principais: *Hardware*, *Firmware* e *Software*.

### 4.1 *Hardware*

O desenvolvimento do *hardware* iniciou-se com o levantamento dos circuitos elétricos necessários para cumprir as funções requeridas conforme a concepção do projeto, sendo eles: **Circuito de Conexão com Wi-Fi**, **Circuito de Ativação do Condicionador de Ar** e **Circuito de Sensoriamento**. O Circuito de Conexão com *Wi-Fi* é responsável por trocar informações com o aplicativo mobile, utilizando o protocolo MQTT. O Circuito de Ativação do Condicionador de Ar é responsável por permitir ou não a alimentação elétrica desse dispositivo. E o Circuito de Sensoriamento é responsável por realizar as medições provenientes da rede elétrica como tensão, corrente, fator de potência e frequência com intuito de definir se os níveis estão adequados ao condicionador de ar e verificar a presença ou ausência humana onde o equipamento está instalado.

A elaboração da PCB contendo os circuitos foi dividida em 4 partes principais: a escolha dos componentes a serem usados em cada circuito, o desenvolvimento dos esquemáticos elétricos, o desenvolvimento do *layout* da placa de circuito impresso (PCB) e a prototipagem da PCB.

### 4.1.1 Componentes utilizados

Para realizar a escolha dos componentes foi levado em conta principalmente o custo, visando tornar o produto atrativo ao usuário final, ou seja, o consumidor.

Para suprir as funcionalidades do **Circuito de Conexão com Wi-Fi**, o componente principal escolhido foi o módulo ESP12-F, representado na figura 4.1, que contém um microcontrolador juntamente com o circuito de radio-frequência (RF) para o *Wi-Fi* e um LED indicativo. O microcontrolador contido no módulo é o ESP8266EX, representado na figura 4.2, e suas principais características são [8]:



Figura 4.1: Módulo ESP12-F [9].



Figura 4.2: Microcontrolador ESP8266EX [10].

- Microprocessador de 32 bits;
- *Wi-Fi* integrado sob o protocolo 802.11 b/g/n, na frequência de 2.4GHz;



- Interface periféricas: UART, SDIO, SPI, I2C, I2S, GPIO, ADC e PWM;
- Tensão de operação: 2,5V a 3,6V;
- Corrente de operação: em média 80mA;
- Tamanho: 5 mm x 5 mm;
- 32 pinos;
- Interface de gravação tanto por UART, quanto por *over-the-air* (OTA);
- Até 4 perfis de baixo consumo de energia.

Foram adicionados 2 (dois) *light-emitting diodes* (LEDs) do tipo *surface mounting device* (SMD), representado na figura 4.3, a este circuito também, um para indicar comunicação com o celular pelo protocolo MQTT e um para indicar se a alimentação elétrica da PCB está nos níveis corretos, assim como 2 (dois) botões do tipo *push-button*, representado na figura 4.4, para realizar a gravação do *firmware* no microcontrolador.

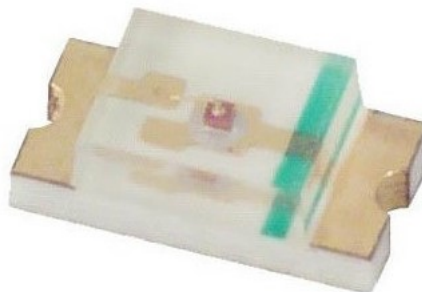


Figura 4.3: LED SMD [11].



Figura 4.4: Botão do tipo *push* [12].

Para o **Circuito de Ativação do Condicionador de Ar**, o principal componente escolhido foi o relé SRD-05VDC-SL-C, representado na figura 4.5, quais características principais são:

- Tensão de ativação do enrolamento: 5 V;
- Corrente nominal do enrolamento: 89,3 mA;
- Resistência do enrolamento: 55  $\Omega$ ;
- Consumo de potência do enrolamento: 0,36 W;
- Máxima tensão admissível no chave: 110 VDC ou 225 VAC;
- Capacidade de corrente da chave para carga do tipo resistiva: 10 A para 125 VAC e 7 A para 240 VAC.



Figura 4.5: Relé SRD-05VDC-SL-C [13].

O relé SRD-05VDC-SL-C foi utilizado para ativar uma contatora que, por sua vez, alimenta o condicionador de ar. Como o objetivo foi de ativar qualquer tipo de condicionador de ar, utilizou-se contadoras, representadas na imagem 4.6, que aceitassem tanto 110 VAC quanto 220 VAC no enrolamento de alimentação.



Figura 4.6: Contatora Telemecanique [14].

Para o **Circuito de Sensoriamento**, o componente escolhido para fazer as medições de tensão, corrente, fator de potência e frequência da rede de energia elétrica, informações essas suficientes para definir se ela está adequada para alimentar o condicionador de ar, foi MCP39F521, representado na figura 4.7. O MCP39F521 é um dispositivo de monitoramento de energia monofásico completo e altamente integrado, projetado para medição em tempo real de energia de entrada para fontes de alimentação de corrente alternada e de corrente contínua,

unidades de distribuição de energia, consumidor e aplicações industriais. Inclui ADCs delta-sigma de canal duplo, um mecanismo de cálculo de 16 bits, EEPROM e uma interface I2C de dois fios flexível. Uma referência integrada de tensão de baixa derivação com 10 ppm/°C além de 94,5 dB de desempenho de sinal-ruído e taxa de distorção (SINAD) em cada canal de medição permite melhor que 0,1 % de projetos precisos em uma faixa dinâmica de 4000:1 [7]. Foi adicionado também um sensor de temperatura analógico, por questões de segurança (superaquecimento), para monitorar a temperatura da PCB, MCP9700 que é representado pela figura 4.8.



Figura 4.7: Circuito Integrado (CI) MCP39F521 [15].

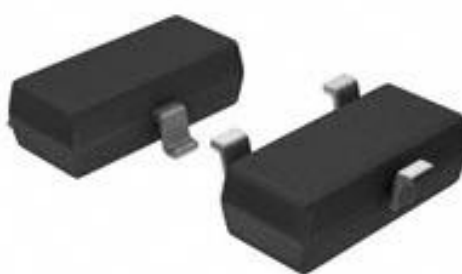


Figura 4.8: Circuito Integrado MCP9700 [16].

#### 4.1.2 Esquemáticos elétricos e *Layout* da PCB

A partir dos circuitos elétricos previamente citados, elaborou-se os esquemáticos elétricos baseando-se principalmente nos documentos de *Reference Design* disponibilizados pelos

fabricantes dos CI's utilizados. O documento principal utilizado foi o guia do usuário para o MCP39F521 [17], que auxiliou principalmente no **Circuito de Sensoriamento**.

### 4.1.3 Módulo placa de automação de refrigeração residencial

## 4.2 *Firmware*

Para elaboração inicial do *firmware*, foi utilizado o módulo NodeMCU Lol1n, mostrado na figura 4.9, que contém um módulo ESP-12E e os circuitos de alimentação e gravação por interface USB já embutidos nele. Adotou-se esta metodologia, de utilizar um módulo com os circuitos prontos para uso, com intuito de diminuir o tempo de desenvolvimento e também para permitir a elaboração do *firmware* antes da conclusão do desenvolvimento do *hardware*, citado na seção 4.1.

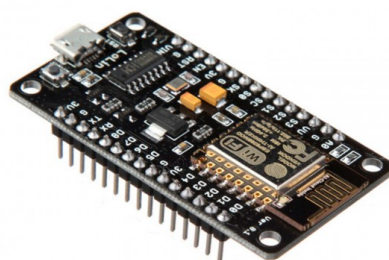


Figura 4.9: Módulo NodeMCU Lol1n.

O desenvolvimento do *firmware* foi dividido em três partes principais: Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi, *Driver* de controle dos periféricos e Monitoramento dos sensores.

### 4.2.1 Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi

Conforme citado na seção 4.1, o ESP8266EX apresenta a interface Wi-Fi como uma funcionalidade integrada ao CI, característica que facilita o desenvolvimento do *firmware* para as funcionalidades básicas do Wi-Fi como:

- Conectar em uma rede Wi-Fi por meio do SSID e Senha;
- Obtenção de IP nesta rede local;
- Acesso à internet pela rede local;
- Trocar mensagens por meio de um *socket* na camada TCP;

#### **4.2.2 *Driver* de controle dos periféricos**

#### **4.2.3 Monitoramento dos sensores**

### **4.3 *Software***

#### **4.3.1 Comunicação no protocolo MQTT**

#### **4.3.2 Interação com o *Hardware* implementado**

#### **4.3.3 Funcionalidades implementadas**

## **Capítulo 5**

### **Testes e Avaliação de Desempenho**

## **Capítulo 6**

### **Conclusão**



# Esquemáticos Elétricos

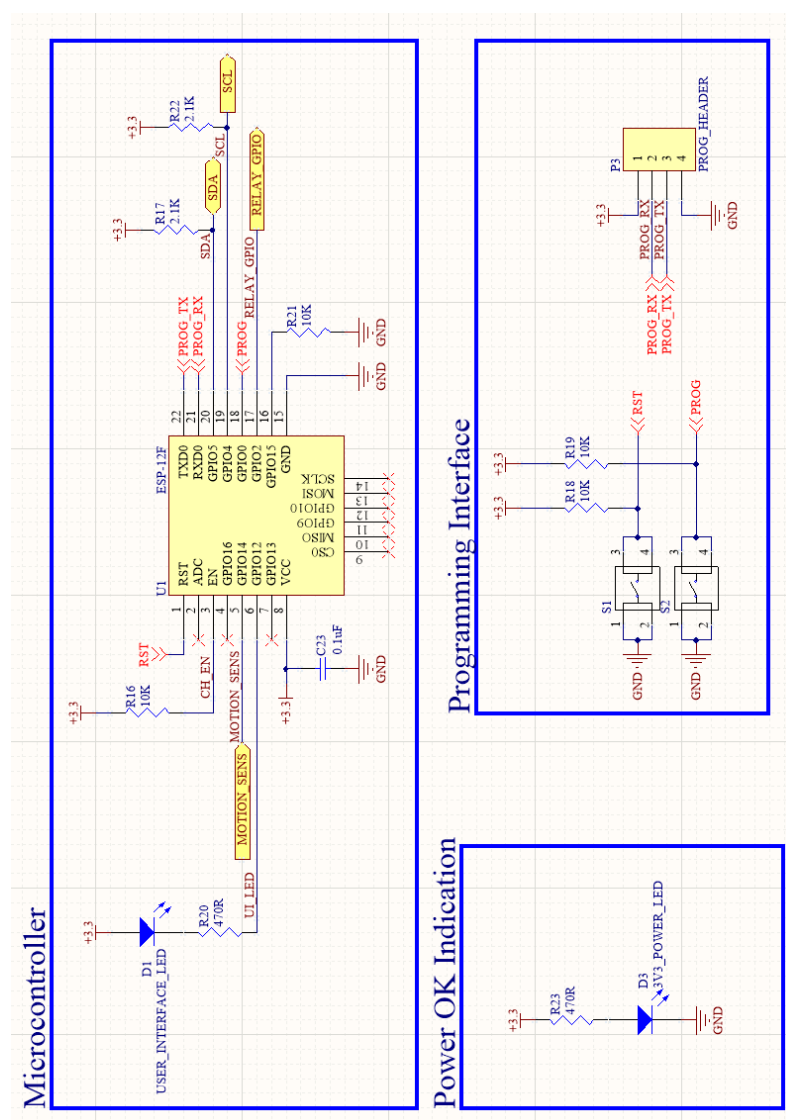


Figura A.1: Esquemático elétrico referente ao microcontrolador.

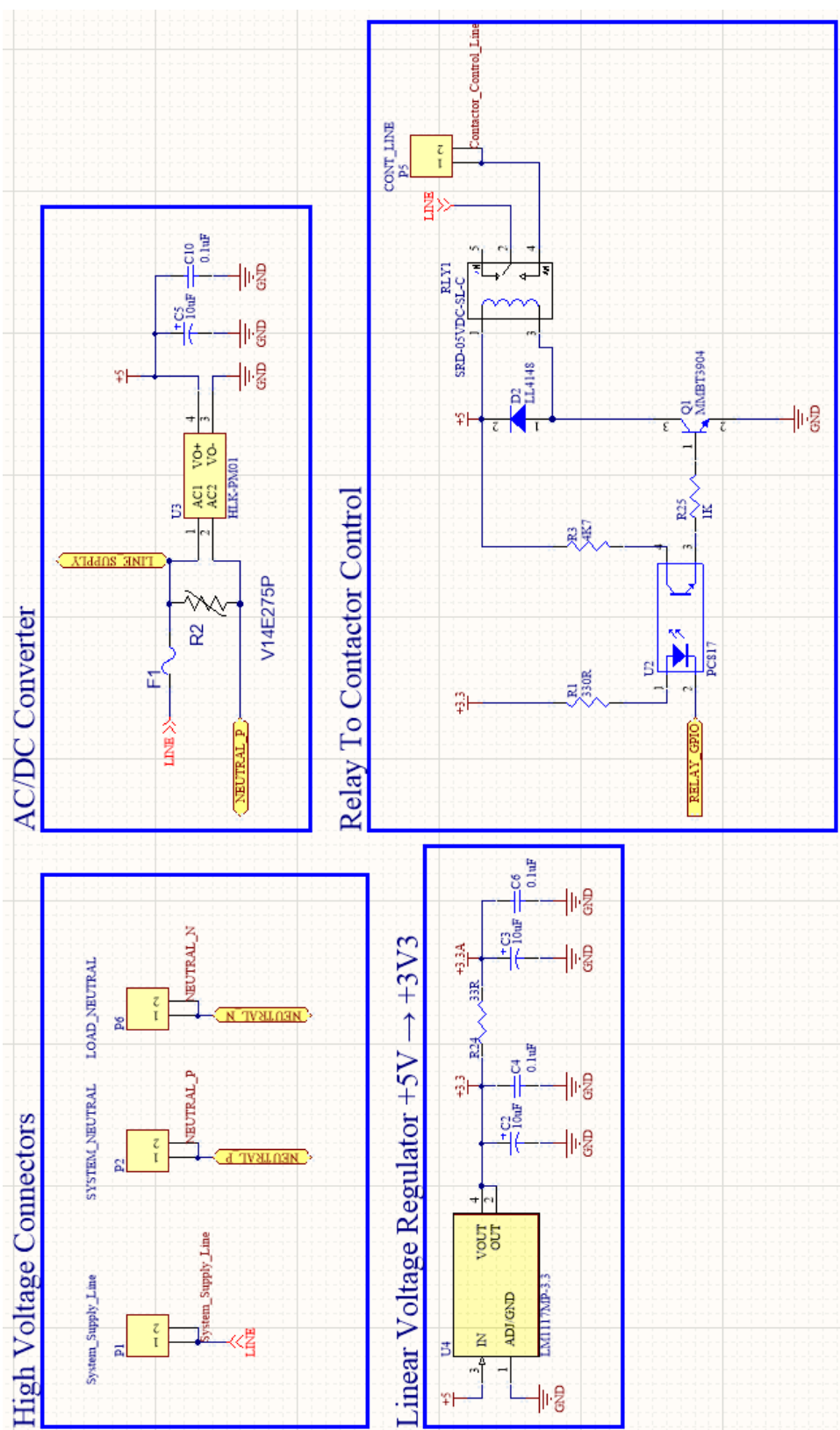


Figura A.2: Esquemático elétrico da alimentação do circuito.

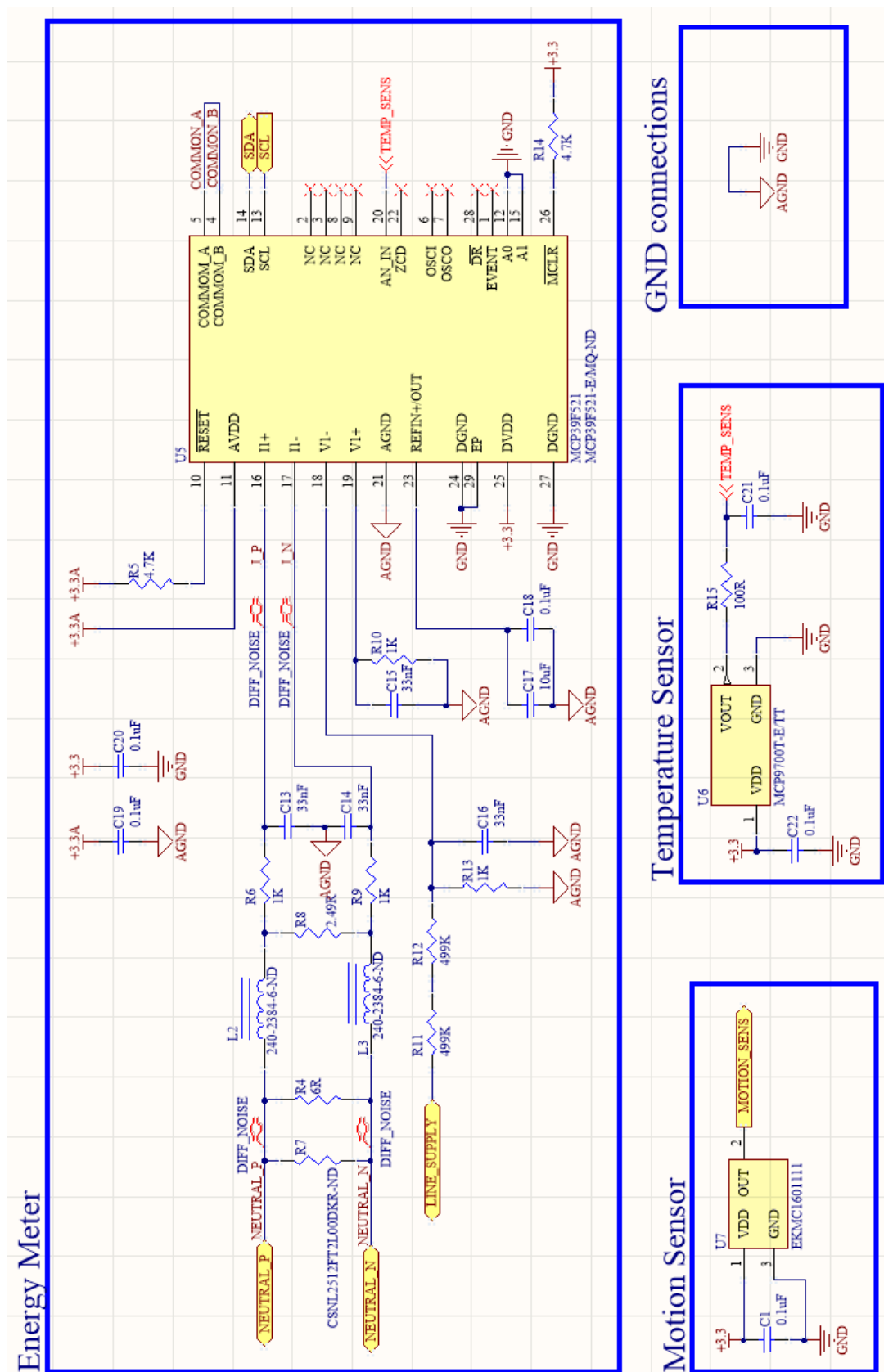


Figura A.3: Esquemático elétrico do sistema de medição da energia elétrica.



## Apêndice B

### *Layout* da PCB

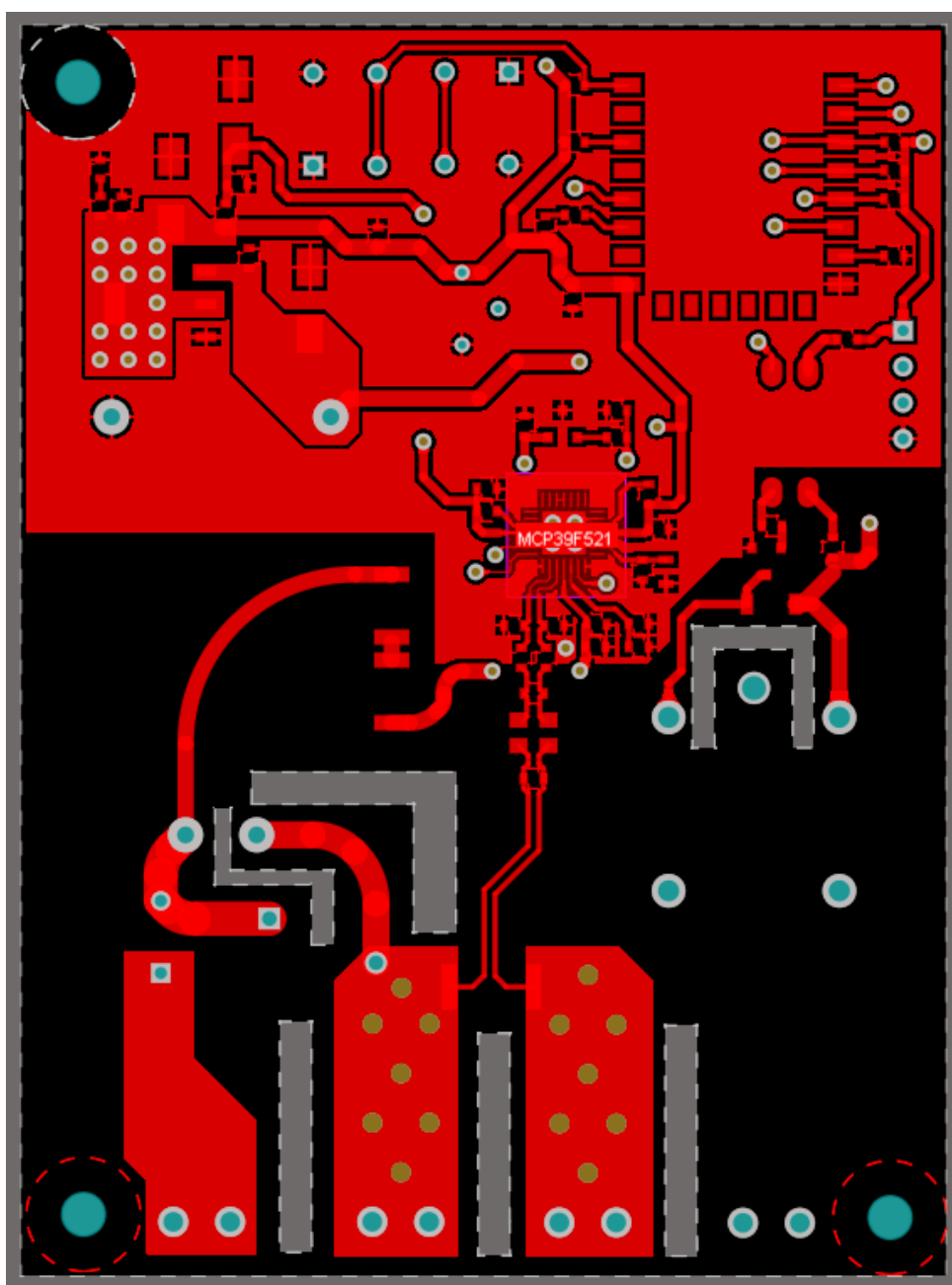


Figura B.1: *Top Layer* do *layout* da PCB.

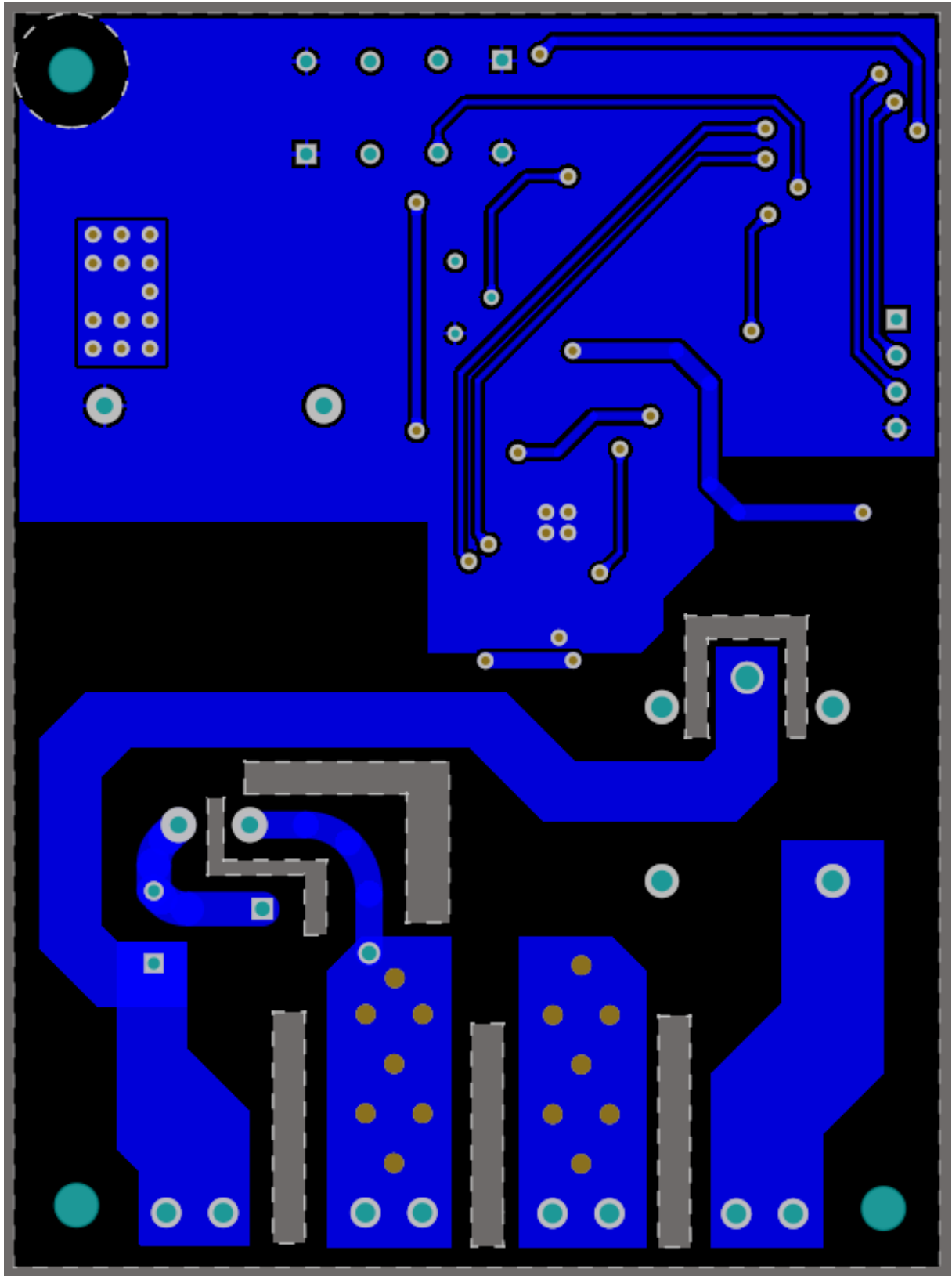


Figura B.2: *Bottom Layer* do layout da PCB.

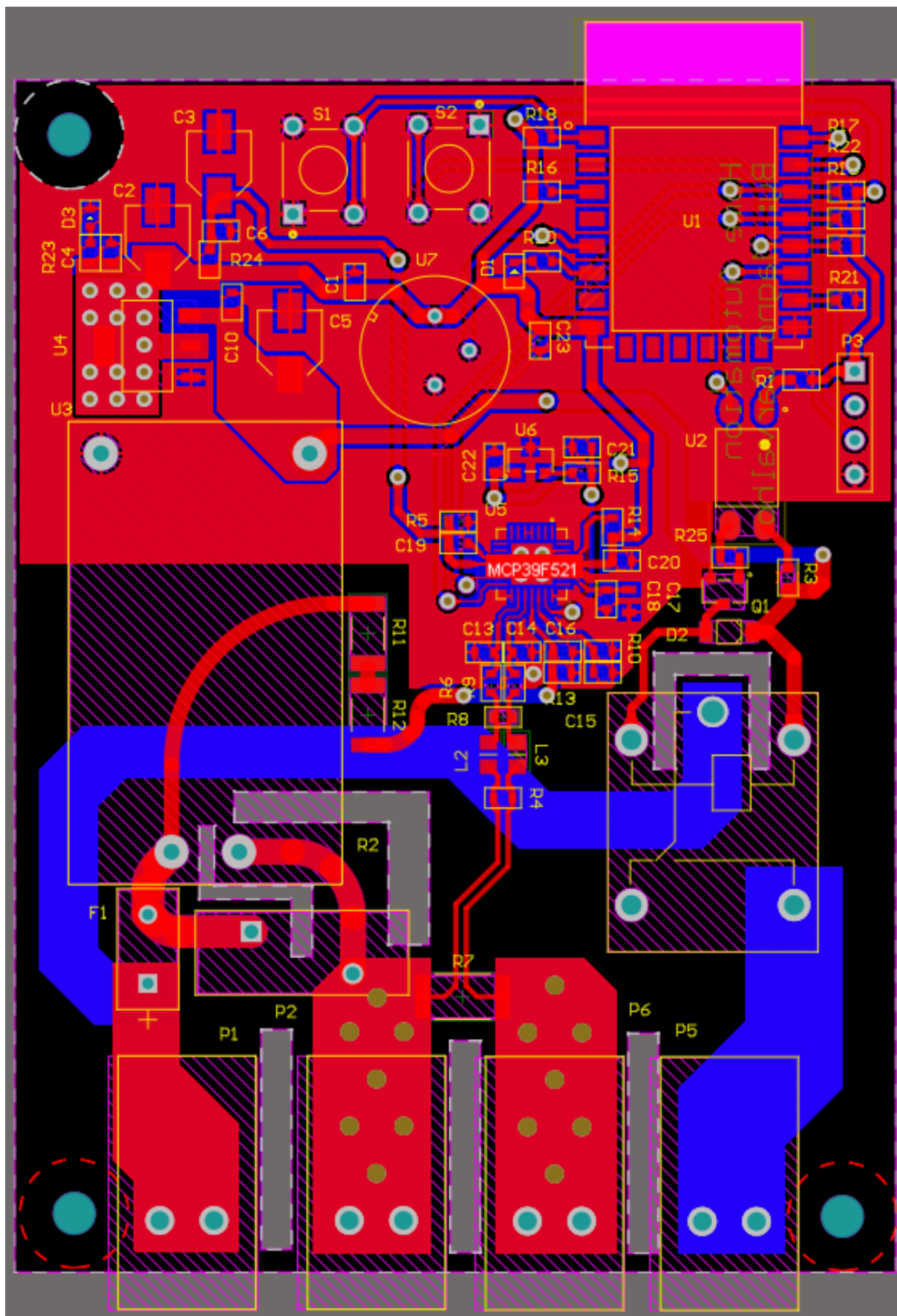
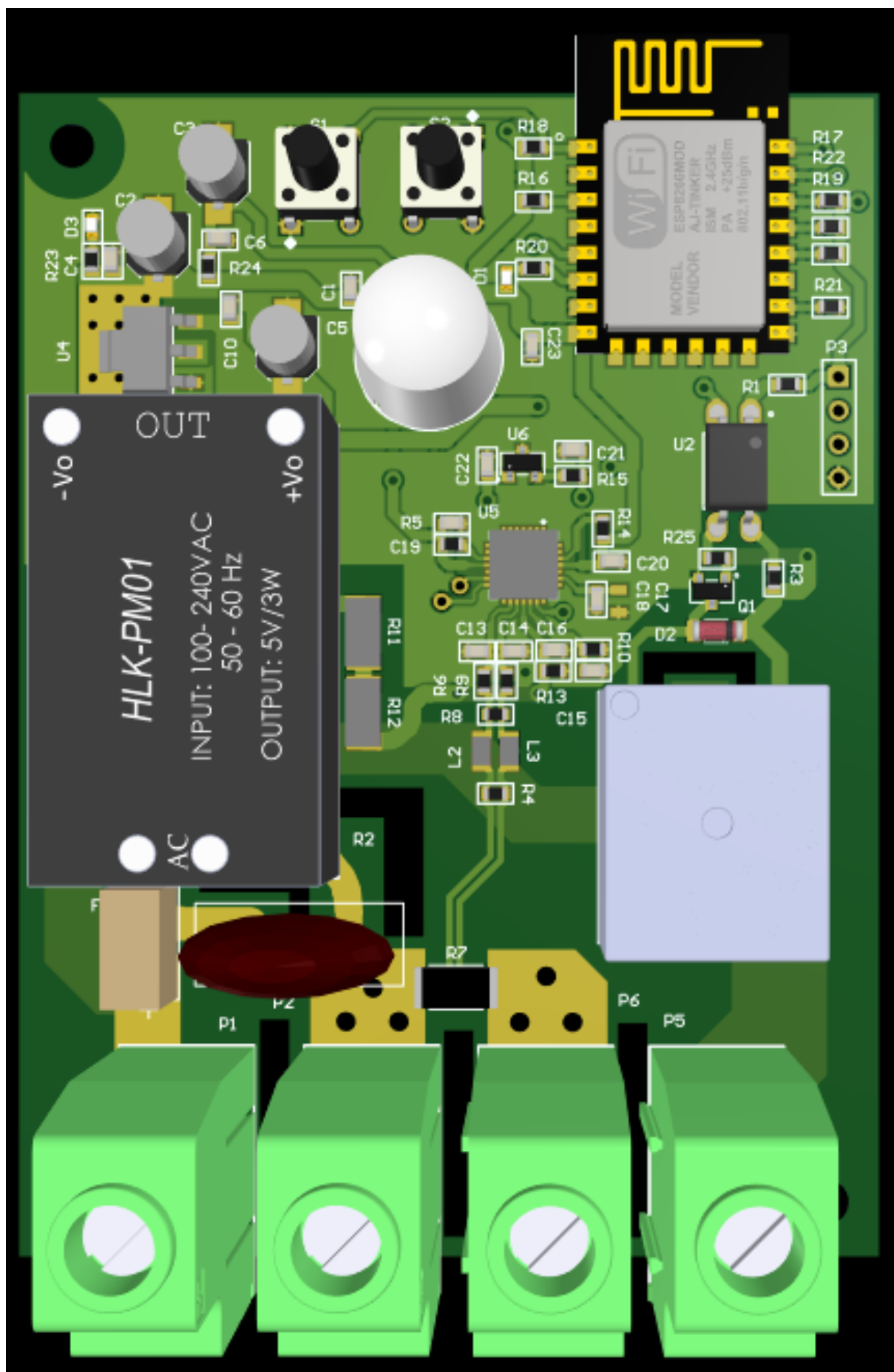


Figura B.3: Layout da PCB contendo os Layers Top e Bottom, os componentes e suas serigrafias.

Figura B.4: Visão superior da representação 3D do *layout* da PCB.



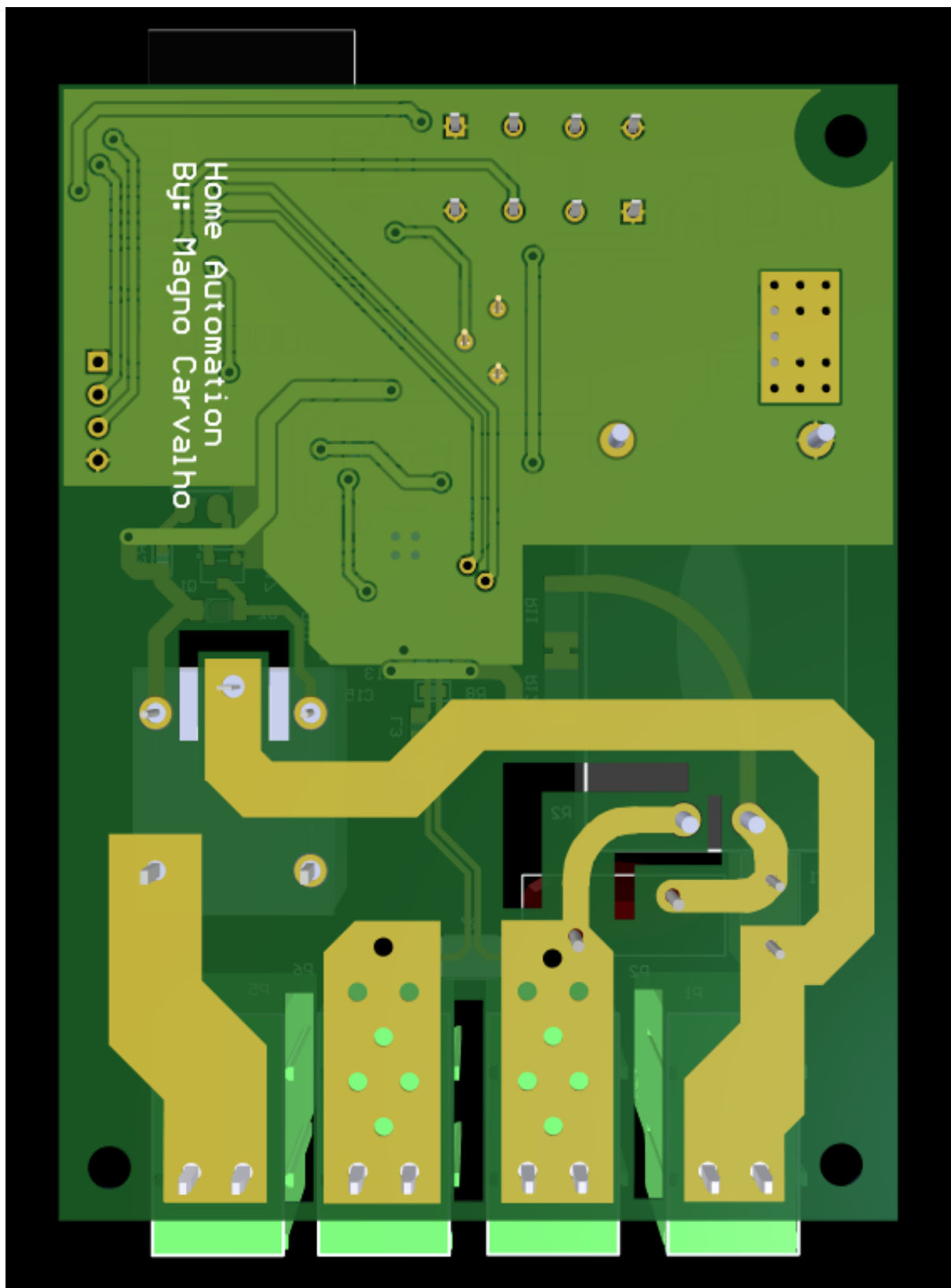


Figura B.5: Visão inferior da representação 3D do *layout* da PCB.

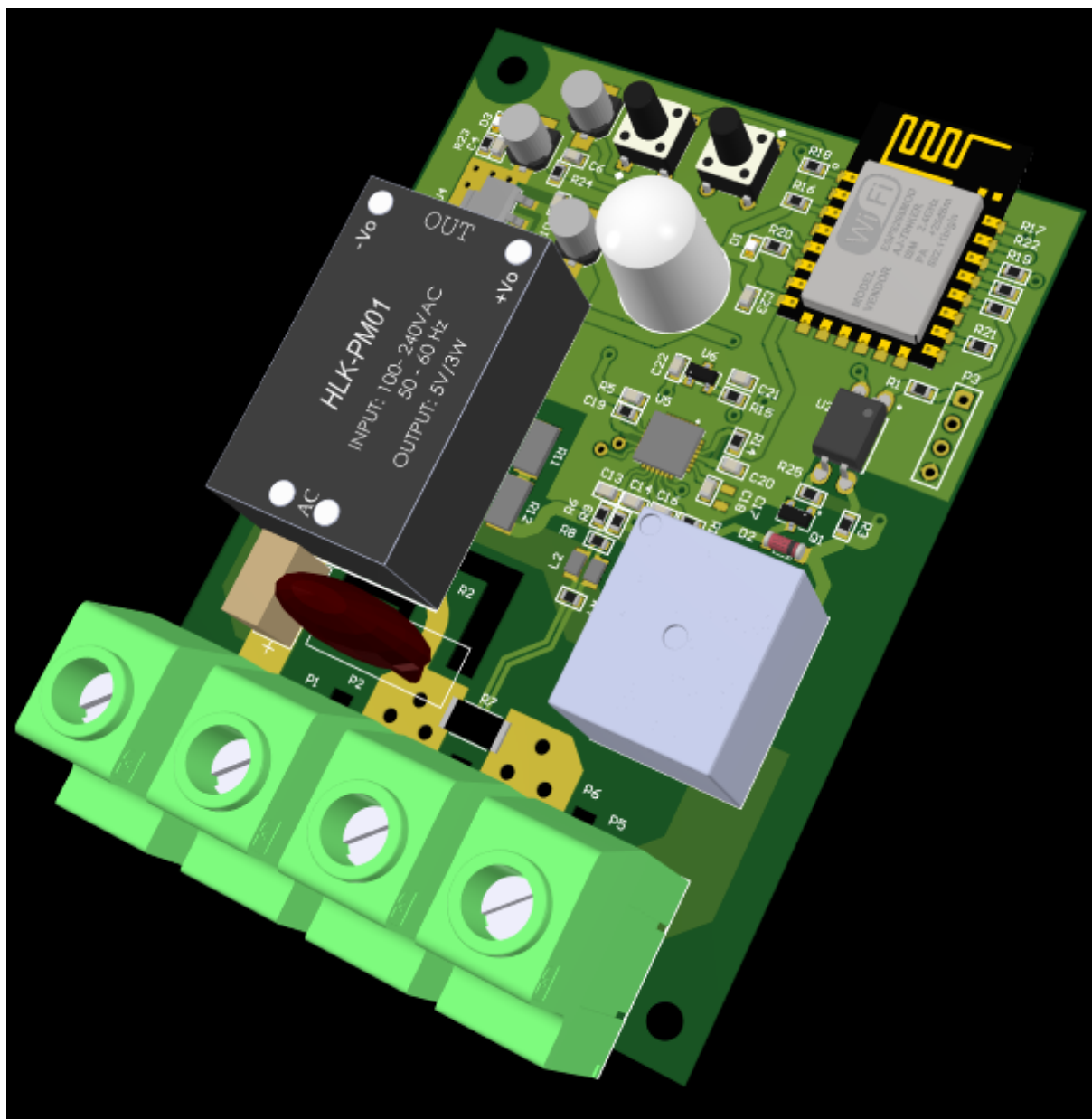


Figura B.6: Visão isométrica da representação 3D do *layout* da PCB.

# Referências Bibliográficas

- [1] WAKA, G. M. Controle remoto de tomadas elétricas baseado nos conceitos de internet das coisas. p. 13, 2015.
- [2] IKRAM MOHAMMAD DAHMAN ALSHEHRI, F. K. H. M. A. Architecture of an iot-based system for football supervision. p. 1, 12 2015.
- [3] TANTITHARANUKUL KITISAK OSATHANUNKUL, K. H. P. P. P. K. N. Mqtt-topics management system for sharing of open data. p. 1, 03 2017.
- [4] JUNIOR, O. R. Sistema de monitoramento residencial baseado em internet das coisas. p. 29, 2017.
- [5] SOUZA, N. Apostila de acionamentos elétricos. p. 11–18, 11 2009.
- [6] RUBIO, M. G. Curso de introdução à instrumentação em engenharia módulo básico. p. 51, 2000.
- [7] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521: I2c power monitor with calculation and energy accumulation. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005442A.pdf>>.
- [8] SYSTEMS, E. Esp8266ex datasheet. 2018. Disponível em: <<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/>>.
- [9] AI-THINKER. *ESP-12F WiFi*. 2017. Disponível em: <<https://www.ai-thinker.com/home>>.
- [10] ELECTRONICS, D.-K. *ESP8266EX*. 2017. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/espressif-systems/ESP8266EX/1904-1001-1-ND/8028408>>.

- [11] ELETRÔNICA, E. *LED SMD 0603*. Disponível em: <<https://www.eletrindex.com.br/led-smd-0603.html>>.
- [12] ARZ. *Botão Push Button*. Disponível em: <<https://www.arzshop.com.br/kit-15-botao-push-button-chave-tactil-6x6x5mm-arduino-mps430>>.
- [13] FILIPEFLOP. Relé 5v songle srd-05vdc-sl-c. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/rele-5v-songle-srd-05vdc-sl-c/>>.
- [14] SCHNEIDER-ELECTRIC. Lc1d32bd: Product data sheet. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/LC1D32BD>>.
- [15] TECHNOLOGY, M. *MCP39F521*. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP39F521>>.
- [16] ELECTRONICS, D. *MCP9700*. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/MCP9700T-E-TT/MCP9700T-E-TTTR-ND/1212510>>.
- [17] TECHNOLOGY, M. *Mcp39f521 power monitor demonstration board user's guide*. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002413A.pdf>>.