



Universidade Federal do Amazonas

Faculdade de Tecnologia  
Engenharia Elétrica - Eletrônica

# **Sistema de Gerenciamento e Controle do Consumo de Energia Elétrica para Condicionadores de Ar Baseado em Internet das Coisas**

**Magno Aguiar de Carvalho**

Manaus – Amazonas

Fevereiro de 2019

Magno Aguiar de Carvalho

# Sistema de Gerenciamento e Controle do Consumo de Energia Elétrica 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. 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 . . . . .                                     | 2          |
| 2.2 Wi-Fi . . . . .                                                   | 2          |
| 2.3 Protocolo MQTT . . . . .                                          | 2          |
| 2.4 Topologias de Medição . . . . .                                   | 2          |
| 2.4.1 Métodos de medição de energia elétrica . . . . .                | 2          |
| 2.5 Dispositivos de Chaveamento elétrico . . . . .                    | 2          |
| <b>3 Arquitetura</b>                                                  | <b>3</b>   |
| <b>4 Desenvolvimento</b>                                              | <b>4</b>   |
| 4.1 <i>Hardware</i> . . . . .                                         | 4          |
| 4.1.1 Componentes utilizados . . . . .                                | 5          |
| 4.1.2 Esquemáticos elétricos . . . . .                                | 10         |
| 4.1.3 <i>Layout</i> da PCB . . . . .                                  | 10         |
| 4.1.4 Fabricação . . . . .                                            | 10         |
| 4.1.5 Módulo placa de automação de refrigeração residencial . . . . . | 10         |

---

|          |                                                                |           |
|----------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2      | <i>Firmware</i>                                                | 10        |
| 4.2.1    | Comunicação Wi-Fi e MQTT                                       | 11        |
| 4.2.2    | Monitoramento de presença humana                               | 11        |
| 4.2.3    | Monitoramento da qualidade da energia elétrica                 | 11        |
| 4.3      | <i>Software</i>                                                | 11        |
| 4.3.1    | Interação com a Placa de Automação de Refrigeração Residencial | 11        |
| <b>5</b> | <b>Testes e Avaliação de Desempenho</b>                        | <b>12</b> |
| <b>6</b> | <b>Conclusão</b>                                               | <b>13</b> |
| <b>A</b> | <b>Esquemáticos Elétricos</b>                                  | <b>14</b> |
| <b>B</b> | <b><i>Layout</i> da PCB</b>                                    | <b>18</b> |
|          | <b>Referências Bibliográficas</b>                              | <b>24</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*



# **Capítulo 1**

## **Introdução**

### **1.1 Objetivo Geral**

### **1.2 Objetivos Específicos**

### **1.3 Organização do trabalho**

# **Capítulo 2**

## **Fundamentação Teórica**

### **2.1 Internet das Coisas**

### **2.2 Wi-Fi**

### **2.3 Protocolo MQTT**

### **2.4 Topologias de Medição**

#### **2.4.1 Métodos de medição de energia elétrica**

### **2.5 Dispositivos de Chaveamento elétrico**

## **Capítulo 3**

### **Arquitetura**

# Capítulo 4

## Desenvolvimento

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 Monitoramento**. 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 Monitoramento 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 [1]:



Figura 4.1: Módulo ESP12-F [2].



Figura 4.2: Microcontrolador ESP8266EX [3].

- 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.

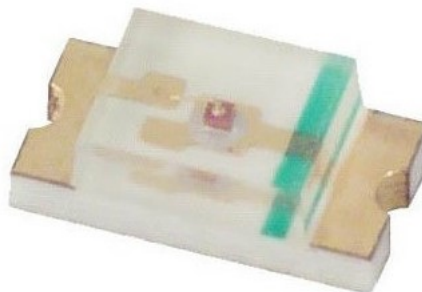


Figura 4.3: LED SMD [4].



Figura 4.4: Botão do tipo *push* [5].

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 [6].

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 [7].

Para o **Circuito de Monitoramento**, 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 [8]. 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 MCP39F521 [9].



Figura 4.8: Circuito Integrado MCP9700 [10].

### 4.1.2 Esquemáticos elétricos

### 4.1.3 *Layout* da PCB

Para realizar o *layout* da PCB, foi necessário levar em conta os pontos críticos do circuito, que foram:

1. Apresentar tensão alternada de 110 ou 220 volts nominal, para alimentação do circuito mostrado nas Imagens A.2, A.3 e A.1, e os terminais de controle da contatora.
2. Apresentar um LED

### 4.1.4 Fabricação

### 4.1.5 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 porém com os circuitos de alimentação e gravação por interface USB já embutidos nele. Esta metodologia de utilizar um módulo pronto foi utilizada com intuito de diminuir o tempo gasto com a elaboração de um circuito para gravação do microcontrolador e também para permitir o desenvolvimento do *firmware* antes do término da fabricação, montagem dos componentes e testes elétricos da PCB.

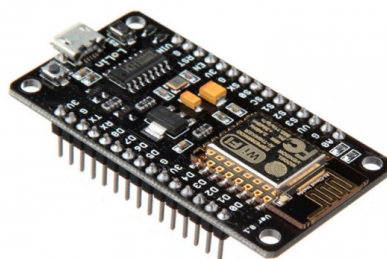


Figura 4.9: Módulo NodeMCU Lol1n.

#### **4.2.1 Comunicação Wi-Fi e MQTT**

#### **4.2.2 Monitoramento de presença humana**

#### **4.2.3 Monitoramento da qualidade da energia elétrica**

### **4.3 *Software***

#### **4.3.1 Interação com a Placa de Automação de Refrigeração Residencial**

##### **4.3.1.1 Comunicação**

##### **4.3.1.2 Requisição de Ligar e Desligar o Aparelho Ar Condicionado**

##### **4.3.1.3 Requisição para Obtenção de Dados da Qualidade da Energia Elétrica**

## **Capítulo 5**

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

## **Capítulo 6**

### **Conclusão**



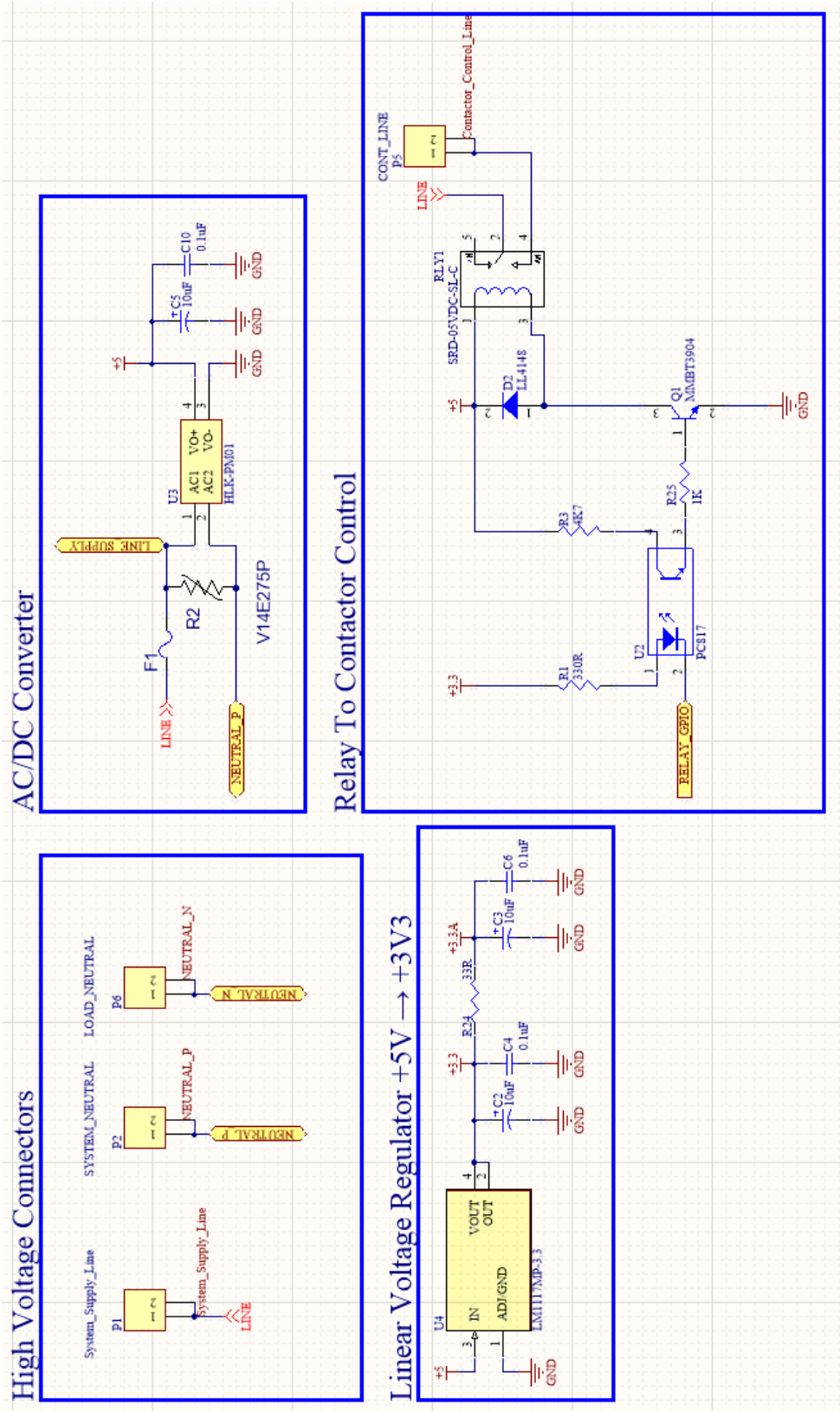


Figura A.2: Esquemático elétrico da alimentação do circuito.

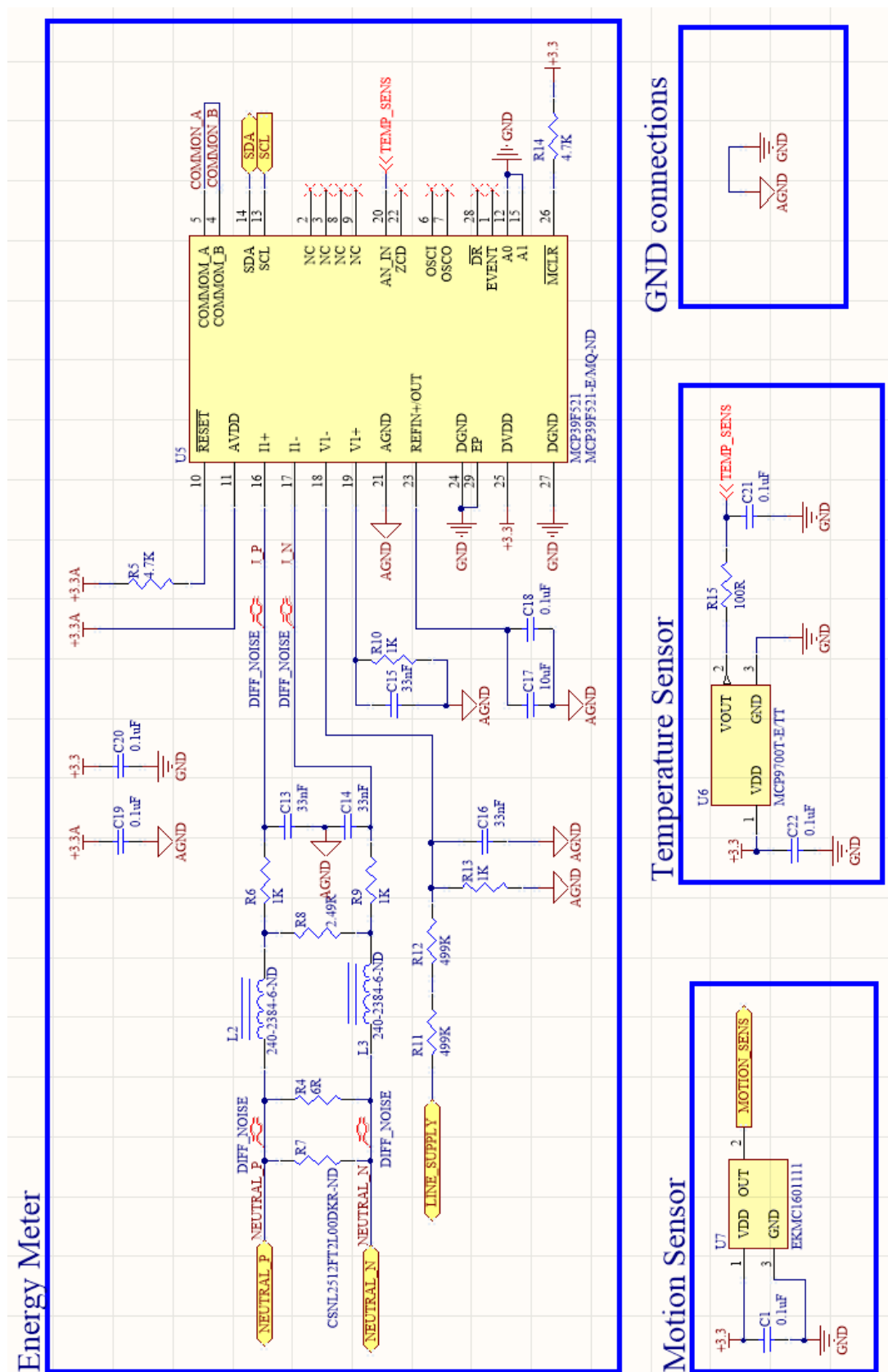


Figura A.3: Esquemático elétrico do sistema de medição da energia elétrica.





## Apêndice B

### *Layout* da PCB

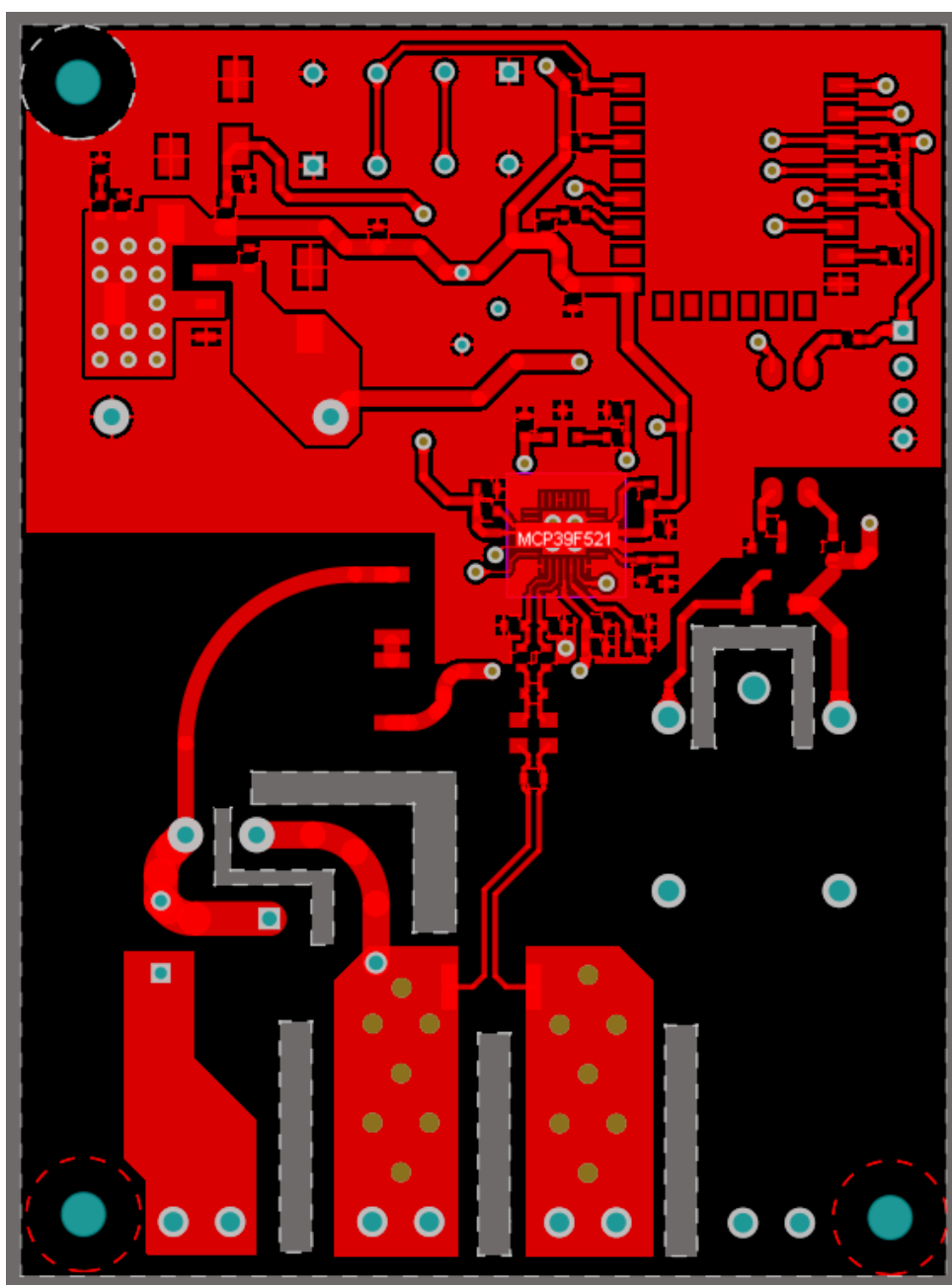


Figura B.1: *Top Layer* do *layout* da PCB.

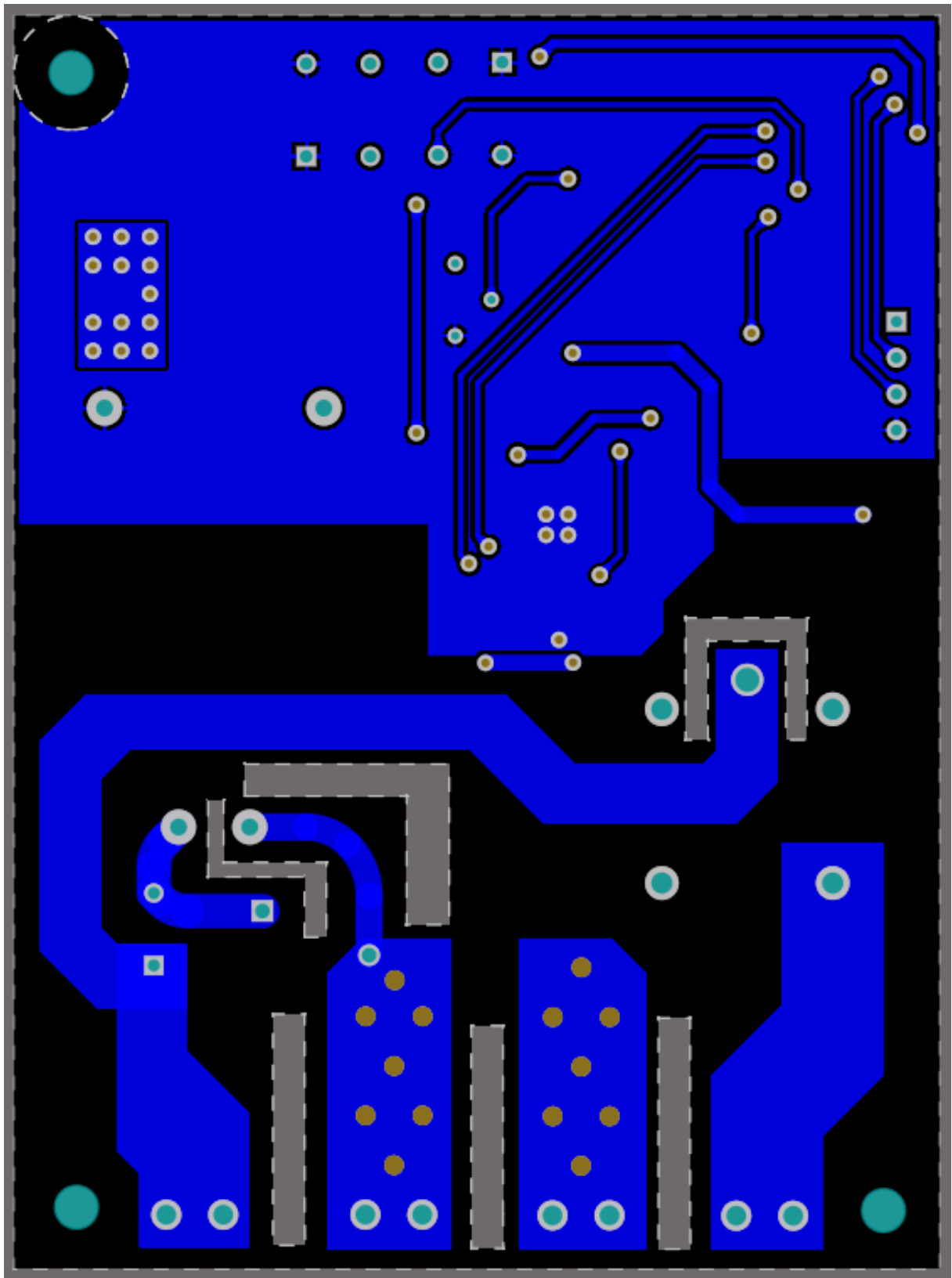


Figura B.2: *Bottom Layer* do layout da PCB.

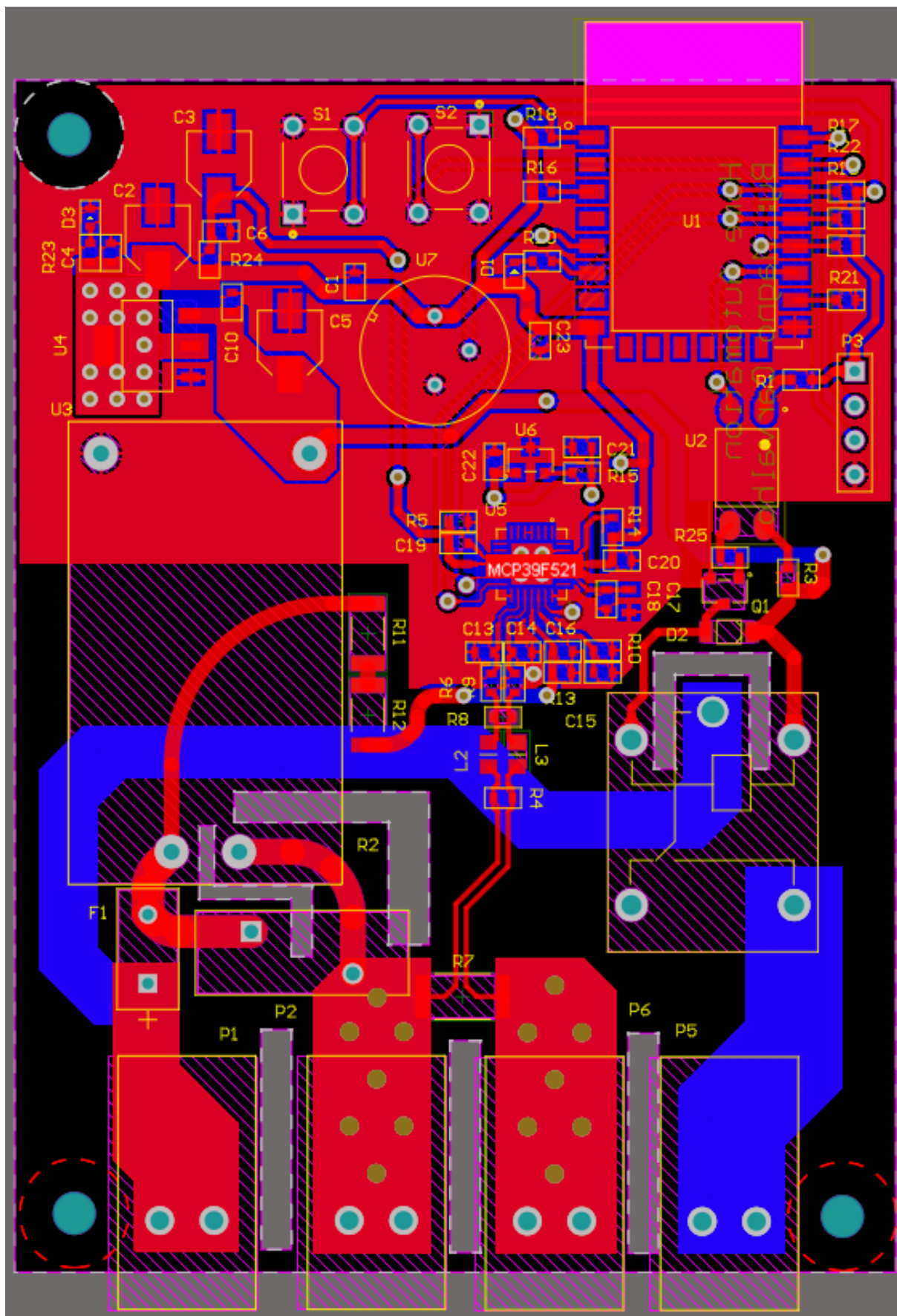
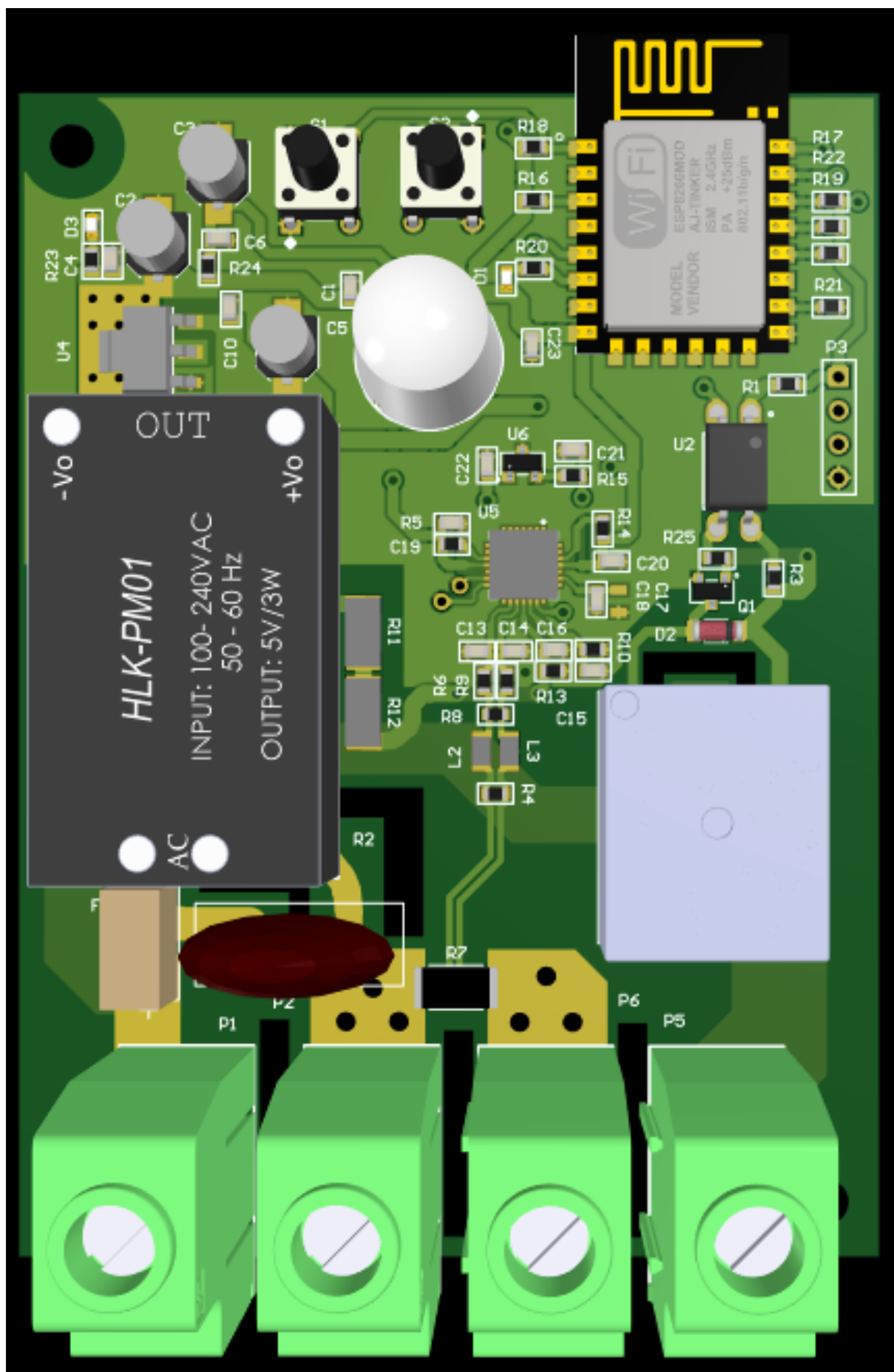


Figura B.3: Layout da PCB contendo os Layers Top e Bottom, os componentes e suas serigrafias.

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

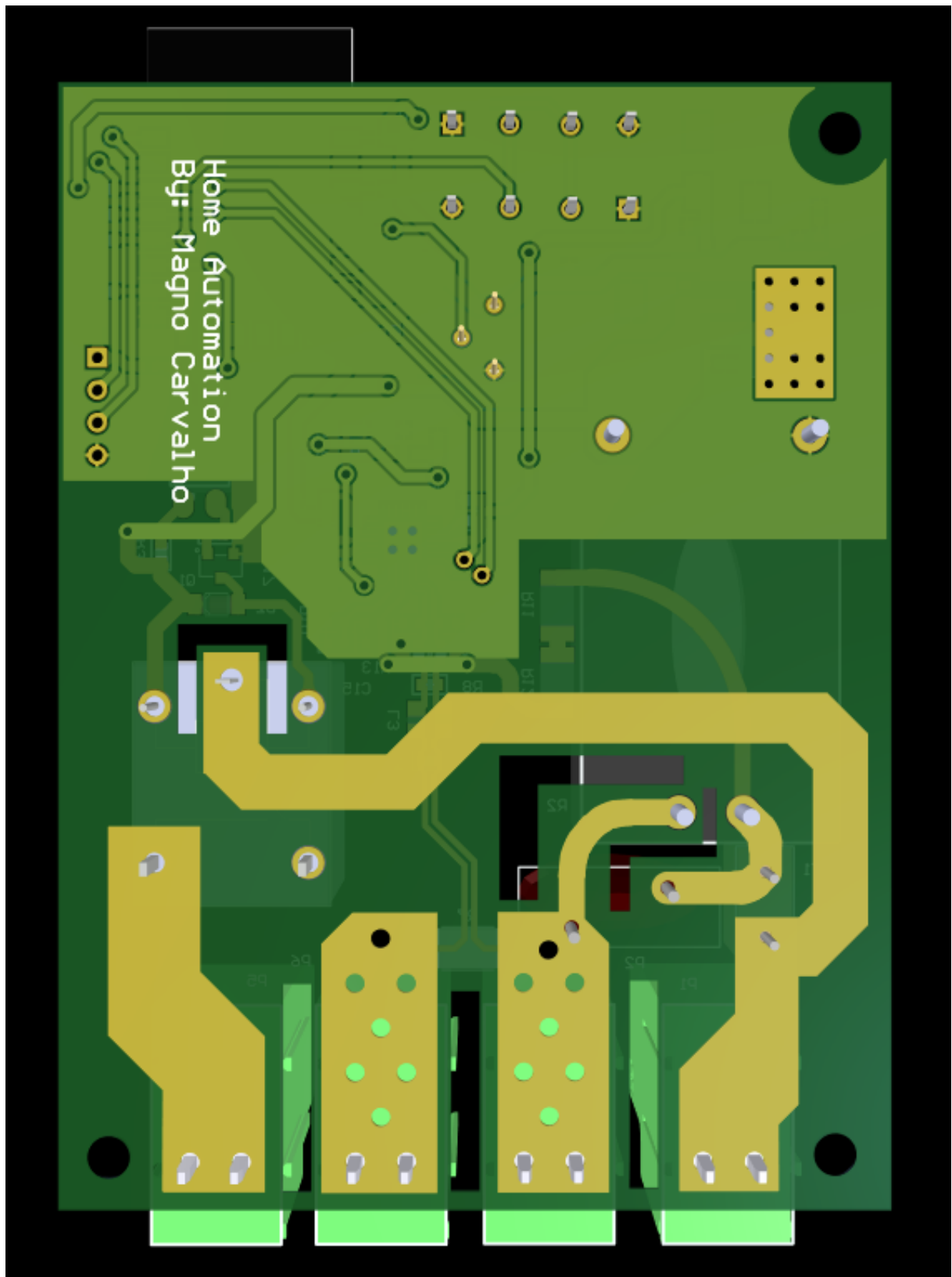


Figura B.5: Visão inferior da representação 3D do *layout* da PCB.

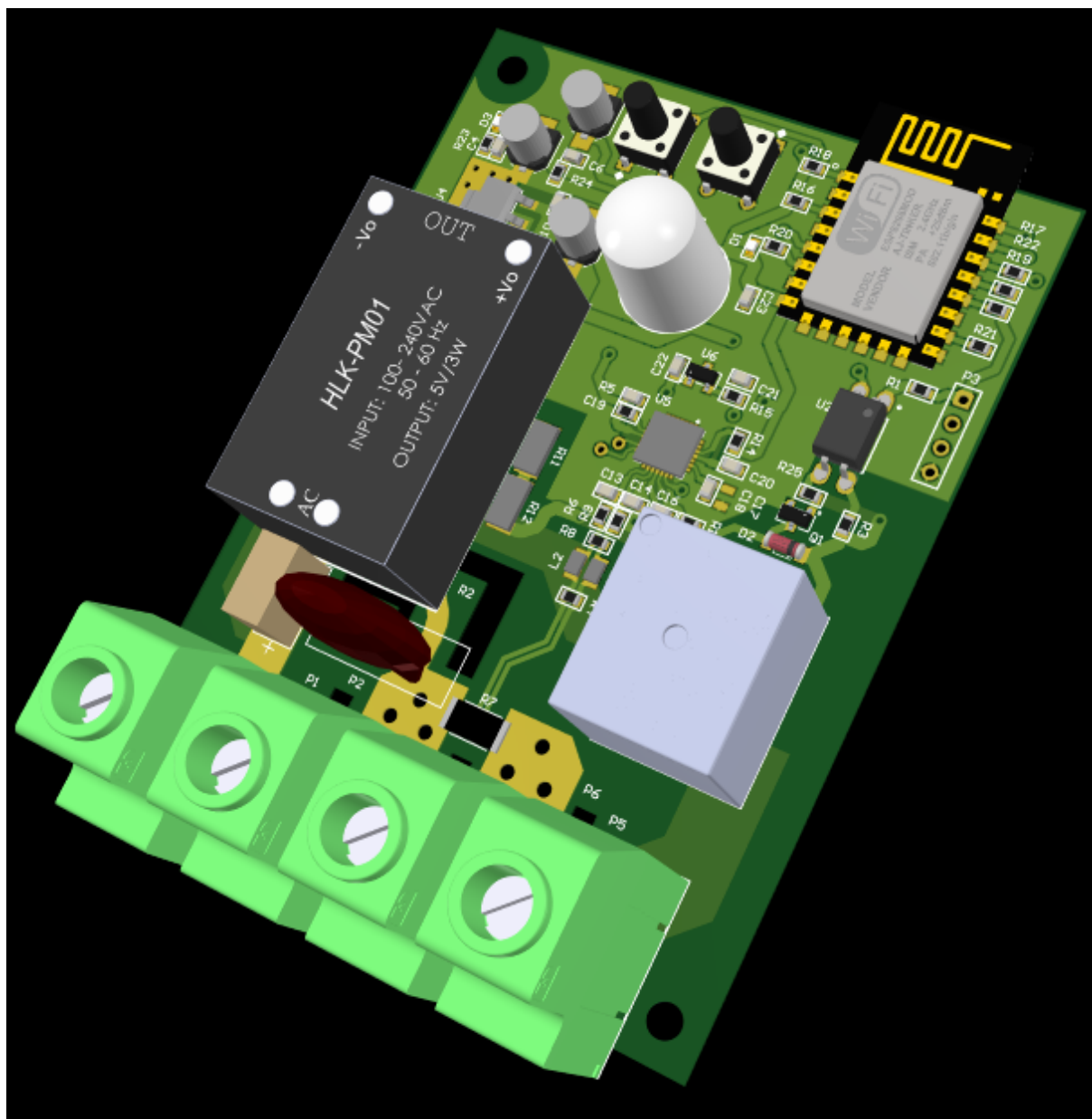


Figura B.6: Visão isométrica da representação 3D do *layout* da PCB.

# Referências Bibliográficas

- [1] SYSTEMS, E. Esp8266ex datasheet. 2018. Disponível em: <<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/>>.
- [2] AI-THINKER. *ESP-12F WiFi*. 2017. Disponível em: <<https://www.ai-thinker.com/home>>.
- [3] ELECTRONICS, D.-K. *ESP8266EX*. 2017. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/espressif-systems/ESP8266EX/1904-1001-1-ND/8028408>>.
- [4] ELETRÔNICA, E. *LED SMD 0603*. Disponível em: <<https://www.eletrondex.com.br/led-smd-0603.html>>.
- [5] ARZ. *Botão Push Button*. Disponível em: <<https://www.arzshop.com.br/kit-15-botao-push-button-chave-tactil-6x6x5mm-arduino-mps430>>.
- [6] FILIPEFLOP. Relé 5v songle srd-05vdc-sl-c. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/rele-5v-songle-srd-05vdc-sl-c/>>.
- [7] SCHNEIDER-ELECTRIC. Lc1d32bd: Product data sheet. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/LC1D32BD>>.
- [8] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521: I2c power monitor with calculation and energy accumulation. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005442A.pdf>>.
- [9] TECHNOLOGY, M. *MCP39F521*. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MC>>.
- [10] ELECTRONICS, D. *MCP9700*. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/MCP9700T-E-TT/MCP9700T-E-TTTR-ND/1212510>>.