

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS II**



**Documentação Final**

**Ademilson Tiago de Miranda Ramos – 2017019816**

**Thales Augusto Rodrigues de Campos – 2019005533**

**João Pedro Calil Lemos - 2017020890**

**ITAJUBÁ-MG**

**2021**

## **Introdução**

Este documento possui como objetivo a apresentação de forma detalhada e exemplificada dos procedimentos e escolhas tomados no desenvolvimento da placa de circuito impresso para a disciplina Aprendizagem Baseada em Projetos II (PBLE02), do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Federal de Itajubá (Unifei).

Encontram-se presentes neste registro os requisitos de projeto, esquemas elétricos, layouts, memoriais de cálculo, anotações referentes a falhas e sucessos, diagramas UML e da máquina de estado.

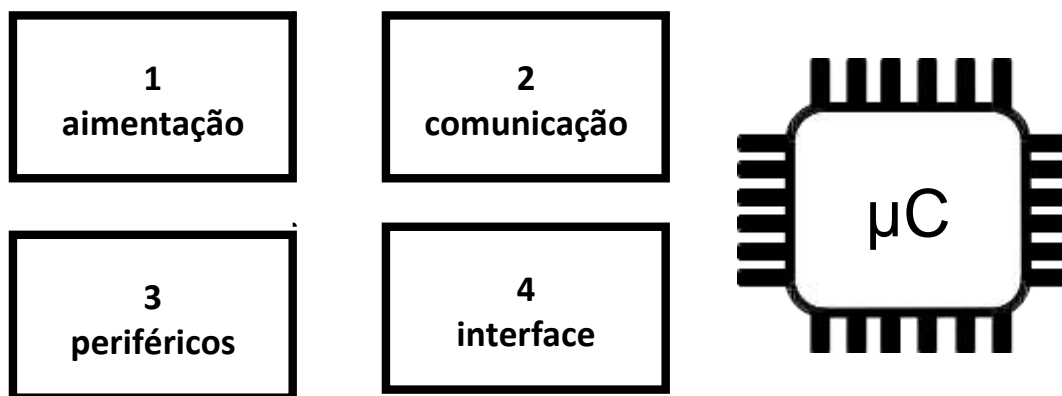
Os datasheets citados neste documento encontram-se anexados em uma pasta denominada “DATASHEETS”.

## Sumário

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Hardware .....</b>  | <b>4</b>  |
| 1.1.     | Blocos Funcionais Exigidos .....                             | 4         |
| 1.2.     | Subcircuito do Microcontrolador .....                        | 4         |
| 1.3.     | Subcircuito de Alimentação .....                             | 6         |
| 1.4.     | Subcircuito de Comunicação .....                             | 7         |
| 1.5.     | Subcircuito de Periféricos .....                             | 9         |
| 1.6.     | Subcircuito de Interface .....                               | 10        |
| 1.7.     | Memorial de cálculo e anotações referentes ao projeto: ..... | 12        |
| 1.8.     | Desenvolvimento do circuito impresso: .....                  | 16        |
| 1.9.     | Desenho virtual da placa e visão 3D: .....                   | 17        |
| <b>2</b> | <b>Software.....</b>   | <b>19</b> |
| 2.1      | Máquinas de Estado.....                                      | 19        |
| 2.2      | Diagrama UML .....   | 20        |
| <b>3</b> | <b>Receita de compra de materiais .....</b>                  | <b>21</b> |
| <b>4</b> | <b>Cotação dos Componentes .....</b>                         | <b>22</b> |
| <b>5</b> | <b>Correções.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>6</b> | <b>Conclusão.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>7</b> | <b>Anexos .....</b>  | <b>25</b> |

## 1 Hardware

### 1.1. Blocos Funcionais Exigidos



*Figura 1 – Blocos Funcionais Exigidos*

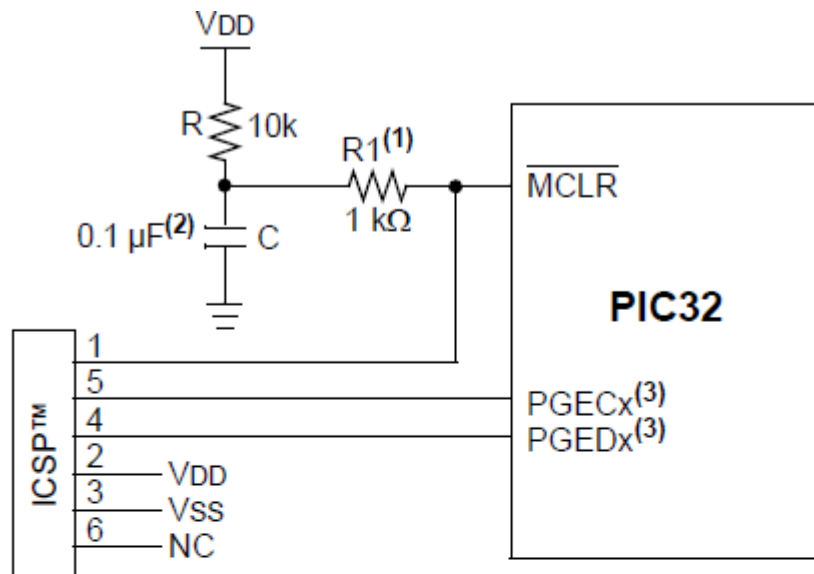
### 1.2. Subcircuito do Microcontrolador

#### Especificações:

- Empregar o microcontrolador PIC32MM0064GPM048-I/PT;
- Operar com clock interno;
- Possuir quatro diodos emissores de luz para sinalizações diversas;
- Possuir um botão de reinício do microcontrolador por meio de uma chave tátil de quatro terminais e do tipo normalmente aberta;
- Possuir uma barra de pinos de programação para o padrão ICSP de 6 pinos (para gravar o microcontrolador).

Os diodos emissores de luz foram conectados nas entradas digitais 2, 3, 5 e 13 do microcontrolador.

Utilizando a datasheet “MICRO”, página 24, obteve-se o seguinte circuito para o botão de reinício e uma barra de pinos no padrão ICSP. Optou-se por PGEC1 e PGED1.



- Note 1:**  $470\Omega \leq R1 \leq 1\text{ k}\Omega$  will limit any current flowing into  $\overline{\text{MCLR}}$  from the external capacitor, C, in the event of  $\overline{\text{MCLR}}$  pin breakdown, due to Electrostatic Discharge (ESD) or Electrical Overstress (EOS). Ensure that the  $\overline{\text{MCLR}}$  pin  $V_{IH}$  and  $V_{IL}$  specifications are met without interfering with the debugger/programmer tools.
- 2:** The capacitor can be sized to prevent unintentional Resets from brief glitches or to extend the device Reset period during POR.
- 3:** No pull-ups or bypass capacitors are allowed on active debug/program PGECx/PGEDx pins.

*Figura 2 – Circuito referente ao MCLR*

Para o cálculo da resistência do led, foi obtido no datasheet “LTST-C15GKT”, página 4, que a tensão típica e a corrente típica são, respectivamente, 2.1 V e 20mA.

Dessa maneira,

$$R = \frac{5 - 2.1}{0.02} = 145\ \Omega$$

Adotando valor comercial, foi utilizado uma associação em série de  $100\Omega$  e  $56\ \Omega$  para as resistências referentes aos leds.

## Esquemático Elaborado:

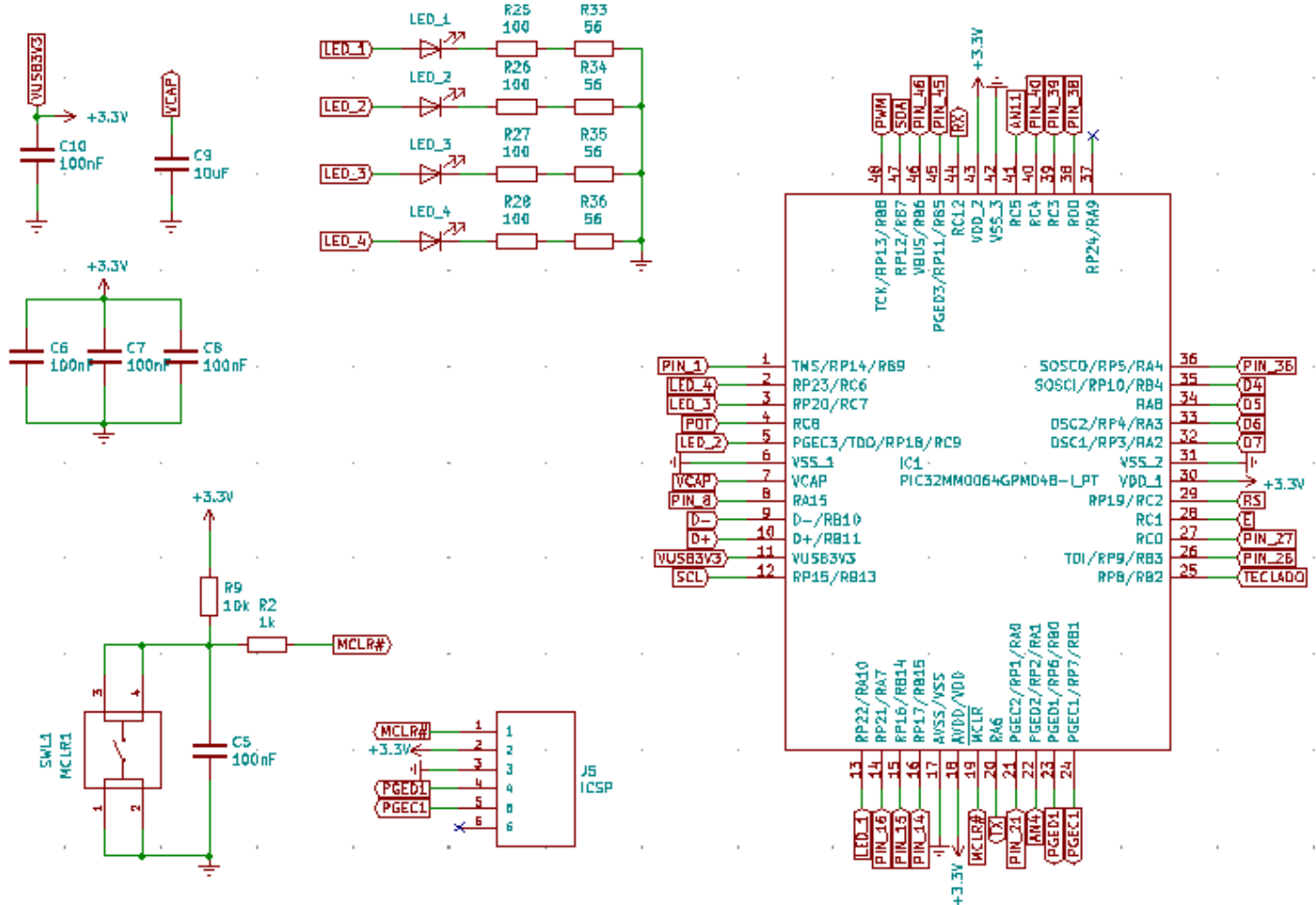


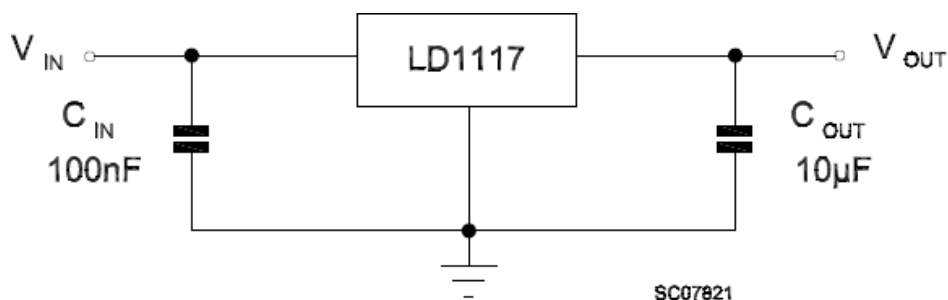
Figura 3 – Esquema Elaborado

### 1.3. Subcircuito de Alimentação

#### Especificações:

- Empregar um conector do tipo jack J4 com diâmetro interno de 2.1mm e pino central positivo;
- Suportar tensão de entrada na faixa de 7 a 12V em corrente contínua;
- Empregar proteção contra tensão reversa por meio de um diodo retificador schottky;
- Empregar um regulador linear com saída de 5V;
- Empregar um regulador linear com saída de 3.3V;
- Possuir um diodo emissor de luz para sinalizar a presença de alimentação.

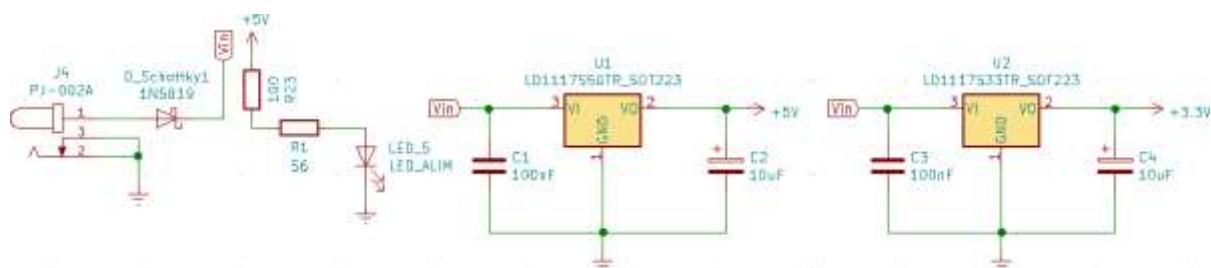
Para a implementação do regulador de tensão, baseou – se no circuito encontrado na página 8 do datasheet “LD1117” correspondente à imagem abaixo.



*Figura 4 - Circuito base para os reguladores de tensão*

Para o cálculo da resistência do led foi utilizado o mesmo raciocínio dos leds do microcontrolador.

#### **Esquemático Elaborado:**



*Figura 5 - Subcircuito de Alimentação*

#### **1.4. Subcircuito de Comunicação**

##### **Especificação:**

- Empregar um conversor USB-serial da devidamente integrado ao periférico de comunicação UART do microcontrolador. Utilizar a configuração autoalimentada para energizar o conversor;

- Preparar a placa para montar o MCP2200-I/SO
- Fornecer os pinos de TX e RX na borda da placa.

##### **Alimentação:**

Como informado no datasheet “MICRO”, página 182, o pino 11 do microcontrolador (VUSB3V3) é usado para alimentar o transceptor USB, e os pinos 9 e 10 correspondem a, respectivamente, D- e D+.

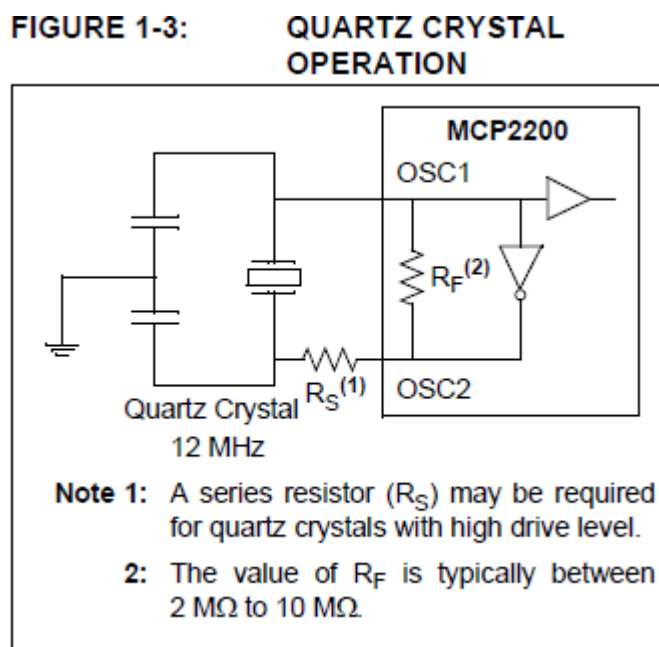
No mesmo datasheet, na página 318, é informado que a tensão de VUSB3V3 varia de 3.0 V a 3.6 V. Para o projeto foi escolhida uma tensão de 3.3 V.

Já no datasheet “MCP2200”, página 6, é dito que o transceptor USB obtém energia do pino VUSB, e ainda, na página 1, que a tensão de operação está na faixa de 3.0 a 5.5V. Dessa maneira, VUSB (pino 17) foi ligado a uma tensão de 3.3V e VDD (pino 1) a uma tensão de 5V.

Seguindo recomendações feitas neste mesmo datasheet, foram utilizados capacitores de desacoplamento.

### Aplicações:

Ainda baseado no mesmo datasheet, página 7, foi obtido o seguinte circuito referente ao cristal, o qual foi conectado aos pinos 2 e 3.



*Figura 6 - Circuito do cristal*

Os pinos 5 e 6 foram utilizados como leds de sinalização, cujas resistências foram calculadas seguindo o mesmo padrão do subcircuito de alimentação e do microcontrolador.

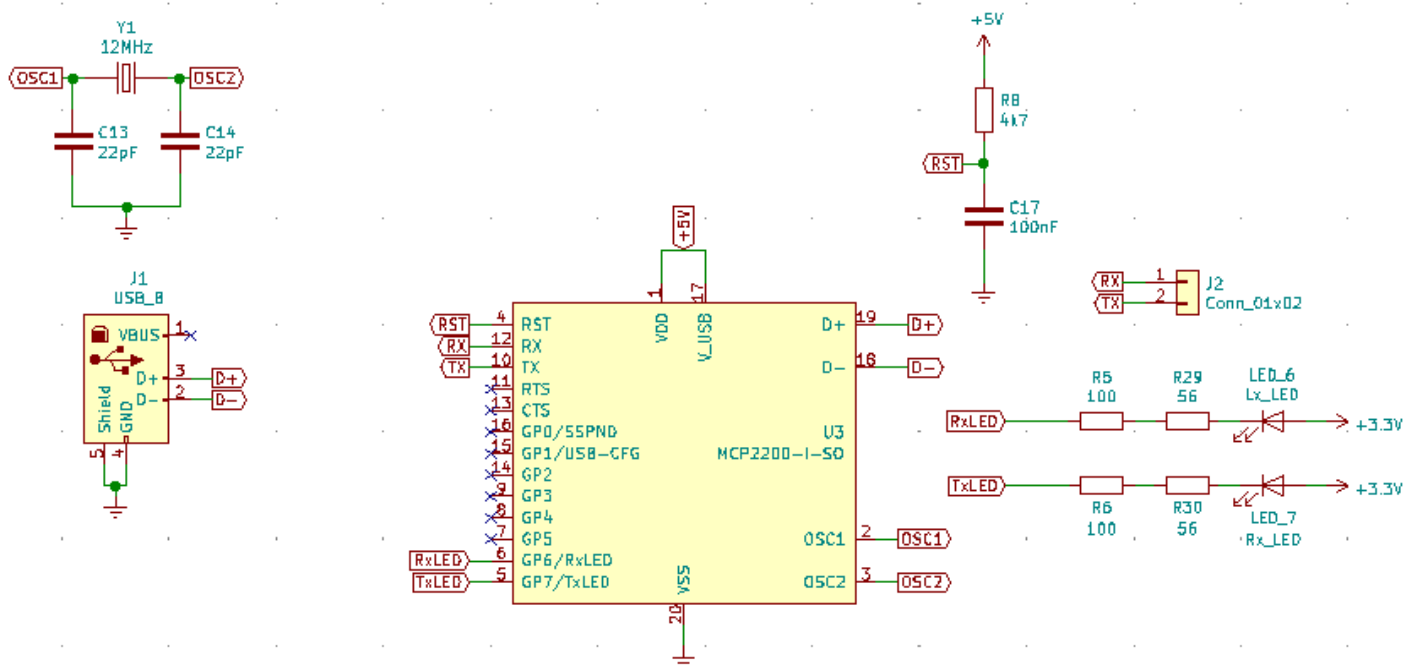
Os pinos 12 e 10 (RX e TX, respectivamente) foram usados para comunicação UART, conectados aos pinos 20 e 44 do microcontrolador.

O pino 4 foi conectado de maneira a se manter um nível alto constante.

Os demais pinos não foram utilizados.



**Esquemático Elaborado:**



**Figura 7 - Esquema Realizado**

## 1.5. Subcircuito de Periféricos

### Especificações:

- Possuir uma barra de conexão para um LCD de 16 x 2 pontos compatível com o dispositivo JHD162A. Tal barra deve contemplar somente os pinos relacionados à alimentação e à comunicação com o dispositivo por meio do modo de 4 bits. O pino relativo à funcionalidade de luz de fundo do visor não deve ser energizado. Obs.: o JHD162A pode ser alimentado com 5V e controlado com sinais de 3.3V (sinais RS, E, DB0-DB7);
- Possuir um teclado de cinco (5) teclas, desenvolvido por meio de chaves tácteis de quatro (4) terminais cada, sendo lido através de uma estrutura de divisor resistivo numa entrada analógica;
- Possuir uma memória serial com comunicação no padrão I2C.

A partir do datasheet “JHD162A\_ETC”, página 17, foram obtidas as informações sobre a compatibilidade para uma conexão LCD.

Para o teclado, os cálculos estão anexados na seção “Memorial de cálculo”.

A memória serial teve seus pinos 1, 2, 3 (correspondentes a A0, A1 e A2) conectados ao terra.

Os pinos 5 e 6, correspondentes a SDA e SCL, foram conectados a um resistor de pull-up (comunicação padrão I2C) e ao microcontrolador nos pinos 12 e 47, respectivamente.

O pino 7, WP, foi conectado ao terra, configuração esta que mantém a memória em operação de gravação.

Segundo o datasheet “EEPROM”, página 1, a faixa de tensão de operação da memória em questão é de 2.5 V a 5.5 V. Assim, o pino 8 foi conectado a 3.3 V, juntamente com um capacitor de desacoplamento.

O pino 4, VSS, foi ligado ao terra.

### Esquemático Elaborado:

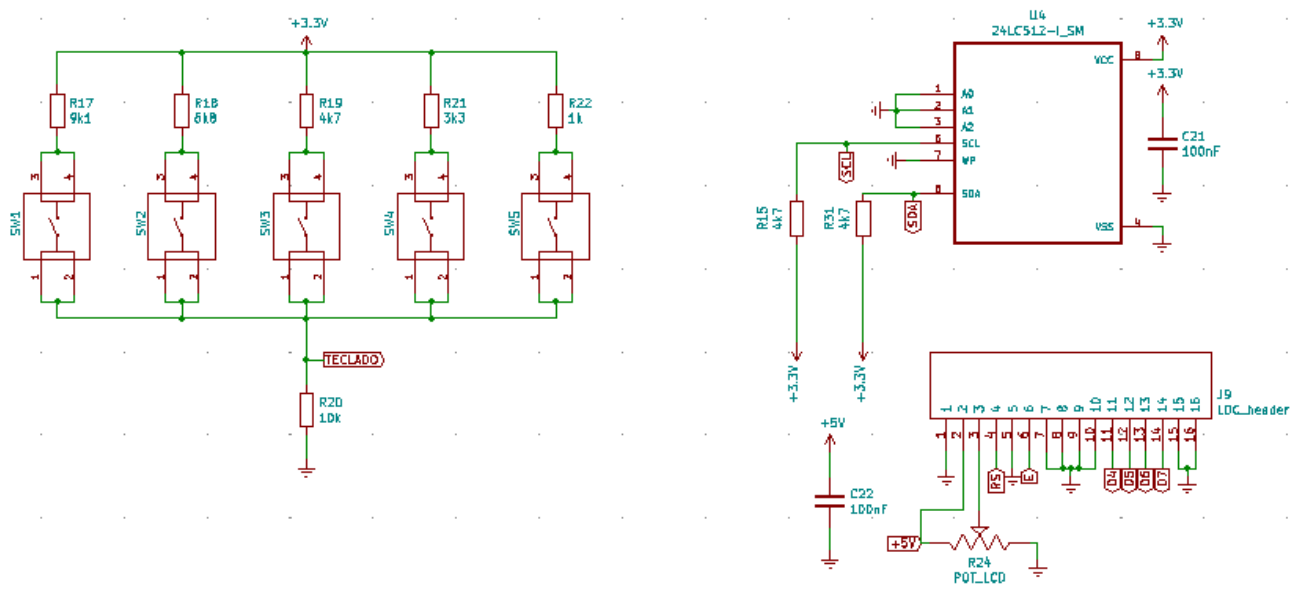


Figura 8 - Esquema Realizado

## 1.6. Subcircuito de Interface

### Especificações:

- Possuir duas entradas analógicas de 0 a 3,3V com circuitos de buffer na entrada;
- Possuir um potenciômetro ligado à uma entrada analógica do microcontrolador;
- Possuir uma saída analógica de 0 a 5V conectada a uma saída PWM do micro utilizando um filtro passa baixa de 2ª ordem (40db/dec.) com 1 década a menos de FC que a freq. do PWM.;
  - Possuir uma barra de conexão para 4 pares de sinais de alimentação, dois como sinal de 3.3V e dois de 5V, ambos com um terra associado, formato 2x4.
  - Possuir um grupo de barras de expansão que empreguem todos os pinos do microcontrolador que não sejam alocados pelos demais requisitos de desenvolvimento. Cada barra deverá possuir um conjunto de pinos relativos a um dado periférico do

**microcontrolador (exemplo: uma barra para o periférico PWM, uma parra para o periférico SPI, etc.).**

Para obter uma faixa de tensão de 0 a 3.3 V foi projetado um divisor resistivo entre 3k3  $\Omega$  e 6k6  $\Omega$ , de maneira que ao implementar uma tensão de 5V, a tensão de saída será de 3.3V. As entradas foram conectadas aos pinos 37 e 41 do microcontrolador.

Para os circuitos de buffer foi utilizado apenas um LM358DG, pois este possui dois amplificadores operacionais.

Ligou-se o potenciômetro ao pino 4 do microcontrolador, correspondente à entrada analógica.

Reservou-se o pino 48 (MCCP1 OUTPUT A) para o PWM.

Para o cálculo da frequência de corte do PWM, escolheu-se uma resolução de 10 bits ( $2^{10} = 1024$ ).

Multiplicando pela resolução máxima do microcontrolador, obtida em seu datasheet, na página 1, temos:

$$21 \text{ ns} \times 1024 = 2.1504 \times 10^{-5}$$

Ao multiplicar pelo inverso, temos finalmente a frequência do microcontrolador:

$$(2.1504 \times 10^{-5})^{-1} = 46.6502 \text{ kHz}$$

Como foi pedido uma década a menos, optou-se por utilizar uma frequência de corte de 5kHz.

O tipo de filtro passa baixa escolhido foi o Butterworth, e seus cálculos podem ser encontrados na seção “Memorial de cálculo”.

Para a barra de conexão foi utilizado um pin header de 02x04 e para a barra de expansão foi utilizado um de 01x07 e outro de 01x08.

## Esquemático Elaborado:

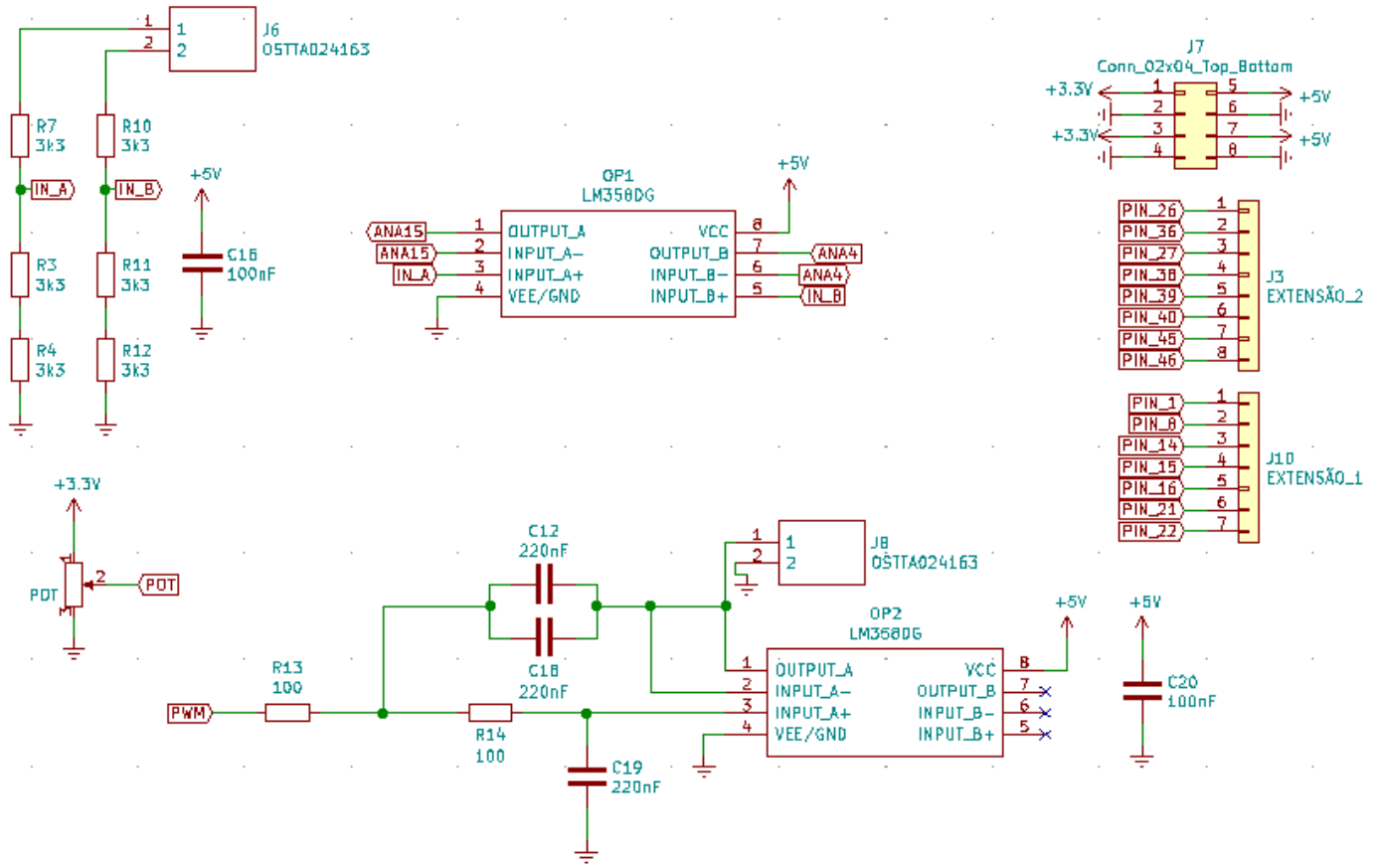


Figura 9 - Esquema Realizado

## 1.7. Memorial de cálculo e anotações referentes ao projeto:

### i) Buffer

Sabendo que a queda de tensão no resistor R2 é de  $U_2 = 3.3V$  e a queda no resistor R1 é de  $U_1 = 1.7V$ , assumimos o valor de  $6k6\Omega$  (uma associação em série de  $3k3\Omega$ ) para o resistor R2.

Com o valor da resistência R2 e a tensão aplicada nele, conseguimos obter a corrente total do circuito em série.

$$I_t = \frac{U_2}{R_2} = \frac{3.3}{6600} = 0.5mA$$

Com o valor de  $I_t$  e  $U_1$ , conseguimos achar o valor da resistência R1.

$$R_1 = \frac{U_1}{I_t} = \frac{1.7}{0.5mA} \cong 3.3k\Omega$$

## ii) Teclado analógico

A entrada analógica lê valores de 0 a 1024. Convertendo tensão nessa faixa de valores temos:

$$0V - 0$$

$$3.3V - 1024$$

Pressionando SW1, temos:

$$V = \frac{10k}{9k1 + 10k} * 3.3V = 1,72 V$$

$$3.3V = 1024$$

$$1,72V = X$$

$$X = 533 \text{ (valor analógico)}$$

Pressionando SW2, temos:

$$V = \frac{10k}{6k8 + 10k} * 3.3V = 1,96 V$$

$$3.3V = 1024$$

$$1,96 V = X$$

$$X = 608 \text{ (valor analógico)}$$

Pressionando SW3, temos:

$$V = \frac{10k}{4k7 + 10k} * 3.3V = 2,25V$$

$$3.3V = 1024$$

$$2,25 = X$$

$$X = 696 \text{ (valor analógico)}$$

Pressionando SW4, temos:

$$V = \frac{10k}{3k3 + 10k} * 3.3V = 2,48V$$

$$3.3V = 1024$$

$$2,48V = X$$

$$X=769 \text{ (valor analógico)}$$

Pressionando SW5, temos:

$$V = \frac{10k}{1k + 10k} * 3.3V = 3V$$

$$3.3V = 1024$$

$$3V = X$$

$$X=931 \text{ (valor analógico)}$$

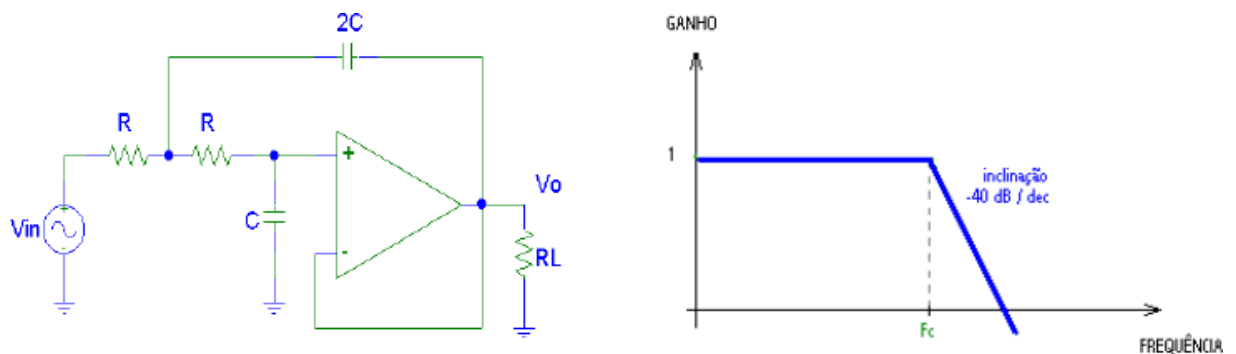
### iii. Filtro passa-baixa

Para o dimensionamento do filtro, adotou-se como frequência ideal do PWM 5kHz, e o filtro Butterworth.

Sabendo que a fórmula da frequência de corte é:

$$F_c = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi RC}$$

Adotando  $R = 100 \Omega$ , temos que  $C = 220nF$ .



*Figura 10 - Exemplo de filtro encontrado na apostila do prof Carlos Ayres*

Para a simulação computacional do filtro foi utilizado o software LTSpice XVII, onde foi construído o seguinte circuito:

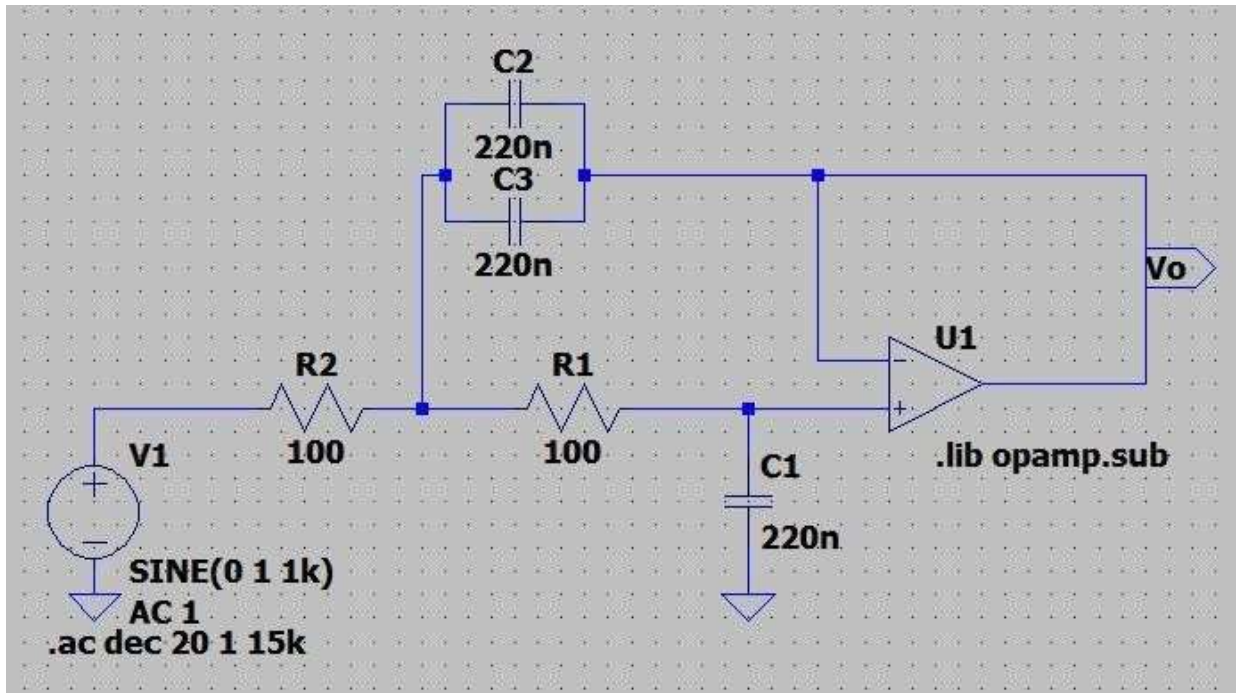


Figura 11 - Circuito do filtro Butterworth

Como resultado da simulação foi obtido o seguinte gráfico:

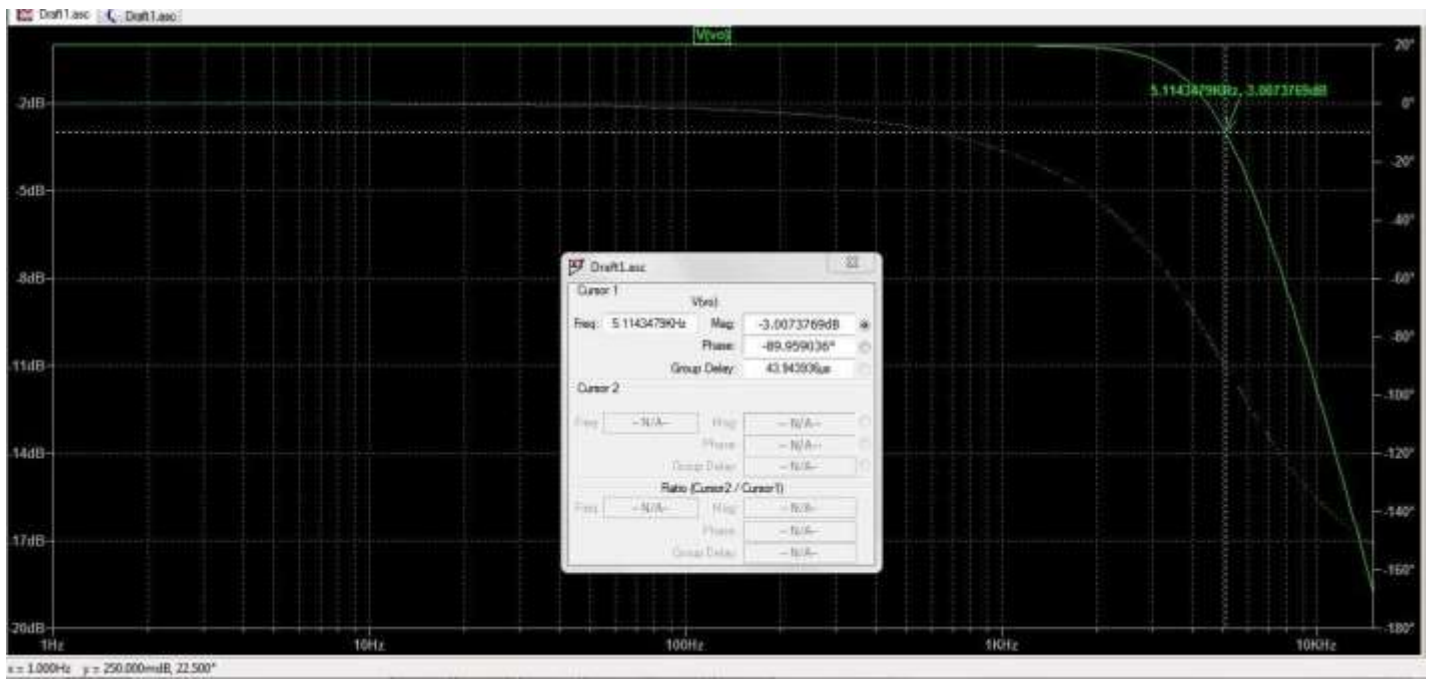


Figura 12 - Resultado da simulação

### **1.8. Desenvolvimento do circuito impresso:**

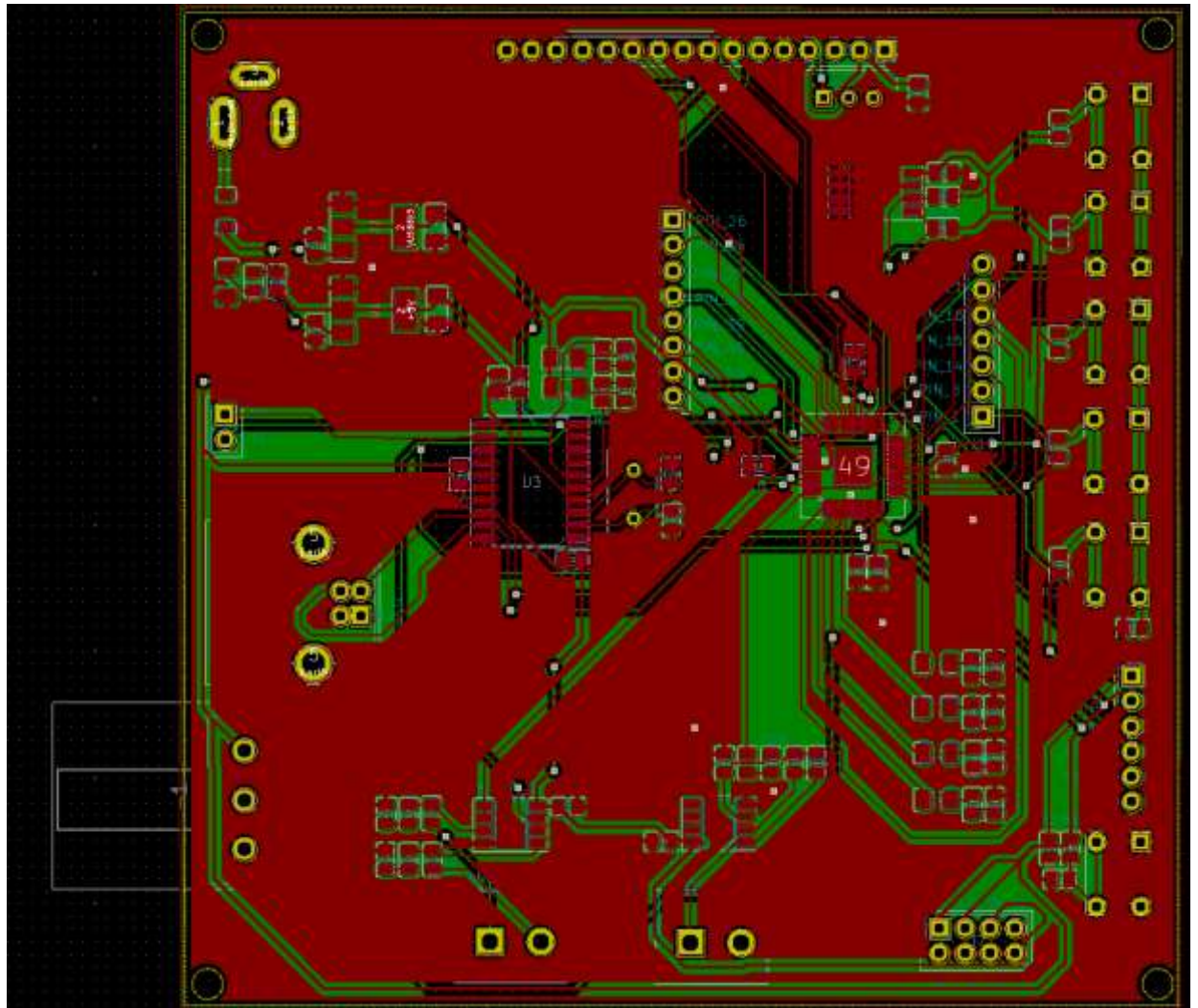
- **Possuir dimensão de até 10x10 cm<sup>2</sup>;**
- **Ser de dupla face;**
- **Utilizar plano de terra em ambas as faces;**
- **Possuir capacitores de supressão de tensão entre a alimentação e o sinal de terra de cada circuito integrado utilizado pelo projeto, alocados próximos aos pinos de alimentação;**
- **Sua face superior deve possuir uma camada de texto (silk) na qual haja a identificação de cada componente eletroeletrônico;**
- **Possuir a identificação do grupo e dos integrantes da equipe na camada de texto (silk);**
- **Possuir quatro furos de fixação dispostos em seus cantos;**
- **Possuir identificação de todas as conexões de entrada e de saída presentes na placa.**

Dimensão utilizada: 10x10cm.



### 1.9. Desenho virtual da placa e visão 3D:

Desenho virtual:



*Figura 13 - Layout*

Visão 3D:

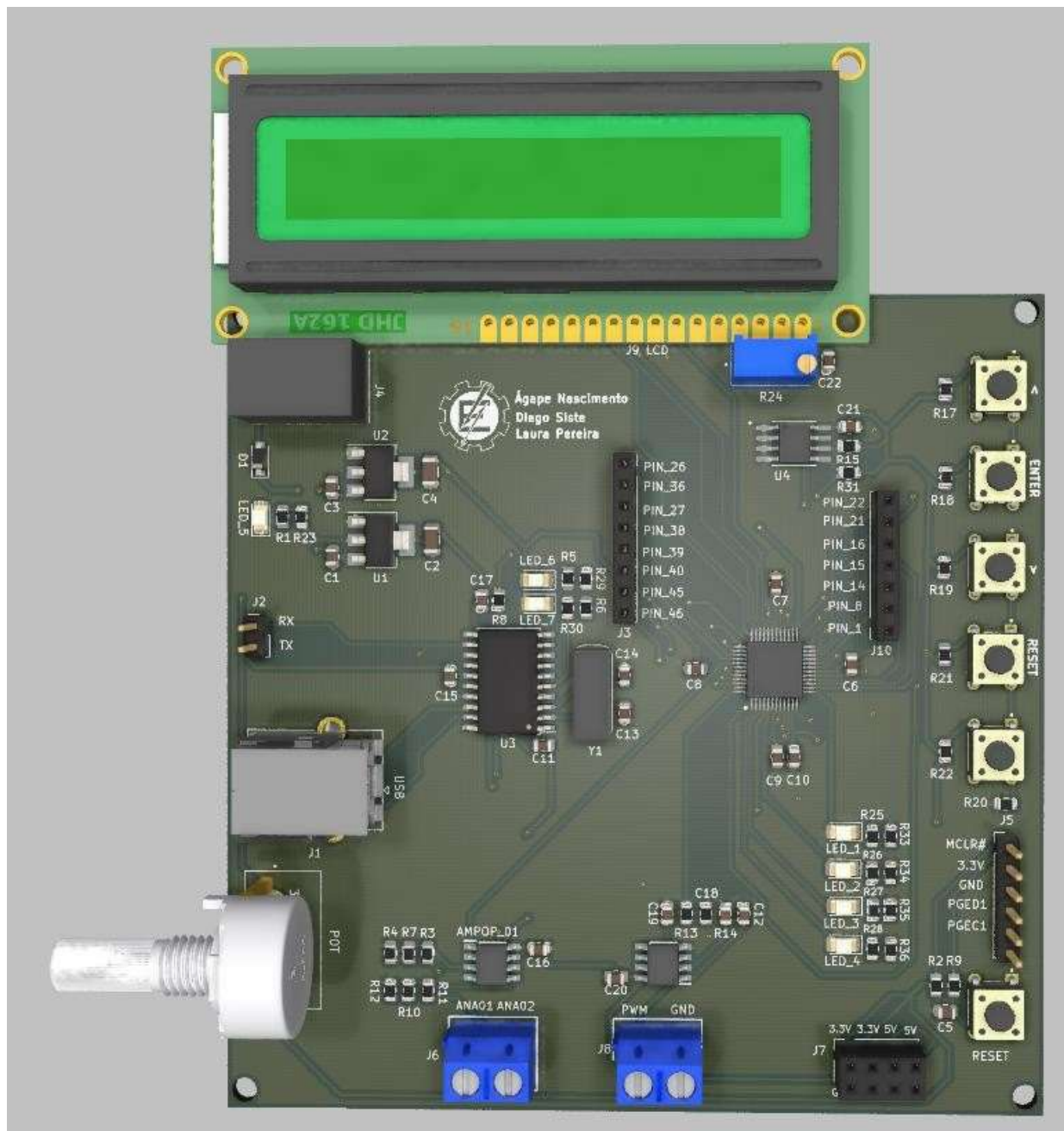
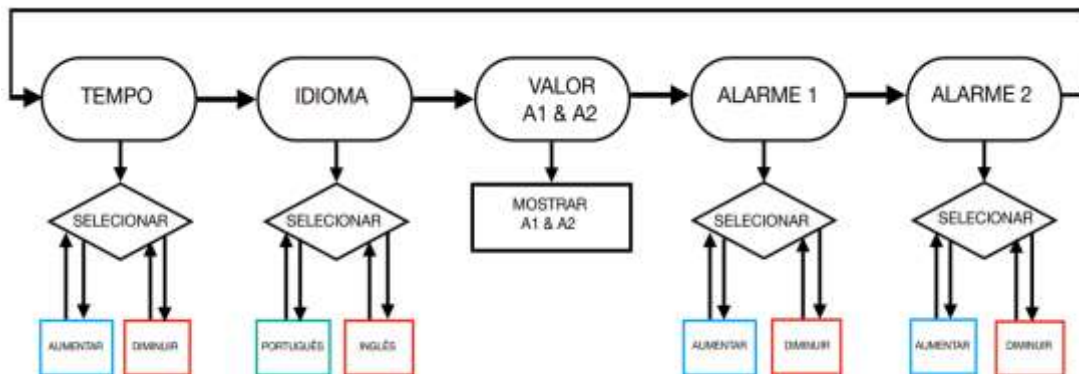


Figura 15 - Visão 3D

## 2 Software

### 2.1 Máquinas de Estado



*Figura 15 - Diagrama Máquina de estados*

A máquina de estados em questão foi projetada com o objetivo de operar como um alarme. Primeiro é feita a escolha do tempo de atraso do LCD, seguido pelo idioma de exibição, dentre 2 opções. Em seguida será possível visualizar os valores lidos pelas entradas analógicas do nosso circuito, A1 e A2, e então nas 2 próximas telas podemos selecionar os valores de alarme auto e baixo, que serão responsáveis pelo acionamento dos LEDs de emergência caso as entradas analógicas recebam um sinal fora do intervalo selecionado.

## 2.2 Diagrama UML

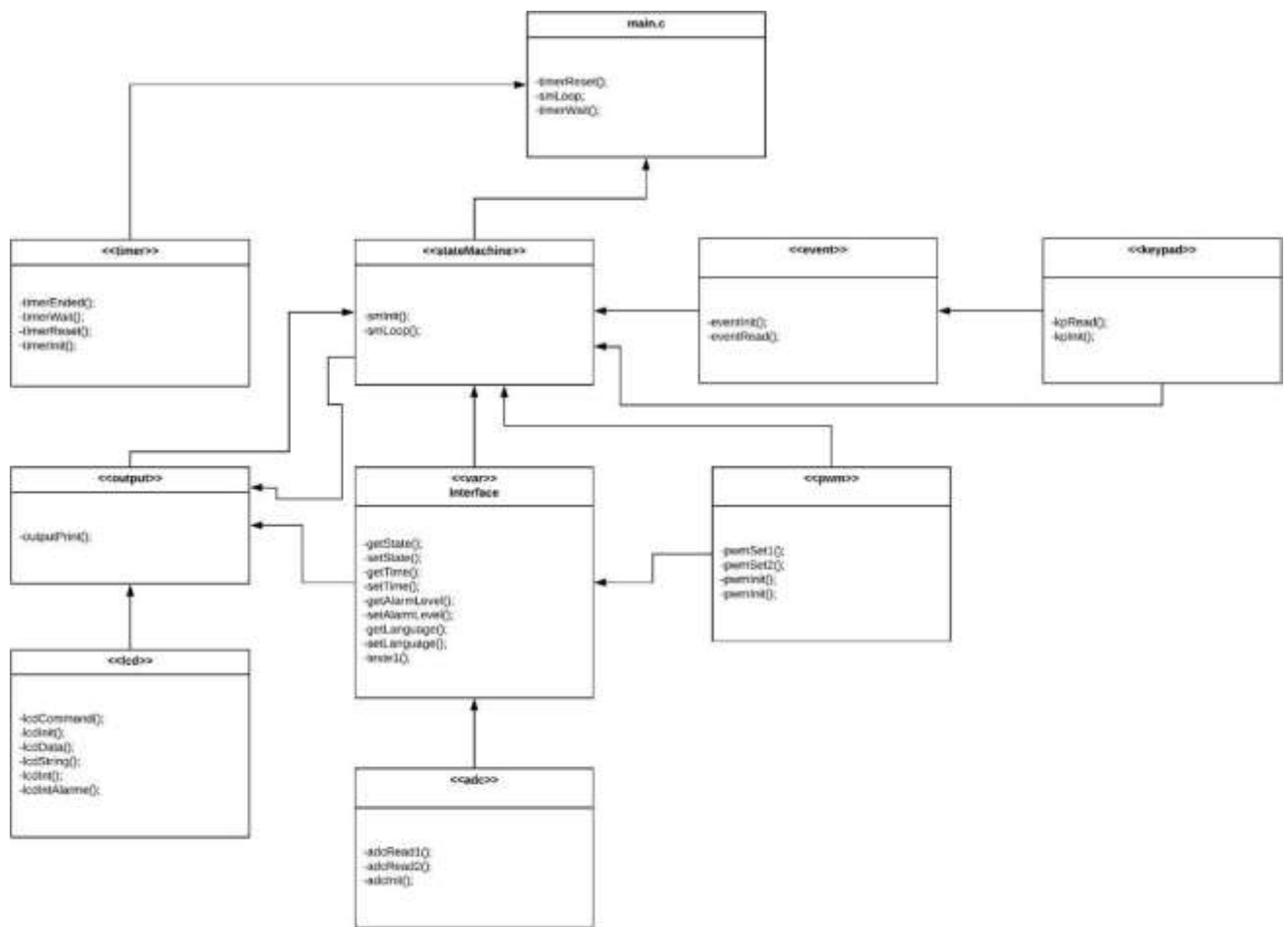


Figura 16 - Diagrama UML

### 3 Receita de compra de materiais

| Referência                            | Quantidade | Especificação                    |
|---------------------------------------|------------|----------------------------------|
| Microcontrolador                      | 1          | PIC32MM0064GPM048-I/PT           |
| Capacitor de Cerâmica                 | 14         | 100nF                            |
| Capacitor de Cerâmica                 | 3          | 220nF                            |
| Capacitor de Cerâmica                 | 3          | 10uF                             |
| Capacitor Inerente ao Regulador       | 3          | F931C106KAA,10uF                 |
| LEDs                                  | 7          | LTST-C150GKT                     |
| Amplificador Operacional              | 2          | LM358DG                          |
| Diodo Schottky                        | 1          | 1N5819HW-7                       |
| Conector USB                          | 1          | 897-43-004-90-000000             |
| Conector LSD, uso diverso             | 4          | 2,54mm                           |
| Conector Alimentação                  | 1          | PJ-002A                          |
| Conector ICSP                         | 1          | 6 Terminais                      |
| Chaves Tácteis                        | 6          | 1825910-6                        |
| Resistor uso comum                    | 1          | 9k1 $\Omega$                     |
| Resistor uso comum                    | 2          | 1k $\Omega$                      |
| Resistor uso comum                    | 7          | 3k3 $\Omega$                     |
| Resistor uso comum                    | 2          | 10k $\Omega$                     |
| Resistor uso comum                    | 1          | 6k8 $\Omega$                     |
| Resistor uso comum                    | 7          | 56 $\Omega$                      |
| Resistor uso comum                    | 4          | 4k7 $\Omega$                     |
| Resistor uso comum                    | 9          | 100 $\Omega$                     |
| Potenciômetro                         | 1          | 3296W-1-103RLF                   |
| Potenciômetro                         | 1          | P160KN-0QD15B10K (10K $\Omega$ ) |
| Regulador de Tensão                   | 1          | LD1117DT50TR (Saída 5V)          |
| Regulador de Tensão                   | 1          | LD1117S33CTR (Saída 3.3V)        |
| Conversor USB-Serial                  | 1          | MCP2200-I/SO                     |
| Memória E2PROM                        | 1          | 24LC512-I/SM                     |
| Cristal                               | 1          | 12MHz                            |
| Entrada e saída analógicas (DAC e AD) | 2          | OSTTA024163                      |

*Figura 17 - Lista de Componentes*

#### 4 Cotação dos Componentes

| Referência                            | Quantidade | Especificação                    | Preço Unidade      | Preço Somado  |
|---------------------------------------|------------|----------------------------------|--------------------|---------------|
| Microcontrolador                      | 1          | PIC32MM0064GPM048-I/P            | 10,26              | 10,26         |
| Capacitor de Cerâmica                 | 14         | 100nF                            | 0,09               | 1,26          |
| Capacitor de Cerâmica                 | 3          | 220nF                            | 0,1                | 0,3           |
| Capacitor de Cerâmica                 | 3          | 10uF                             | 0,41               | 1,23          |
| Capacitor Inerente ao Regulador       | 3          | F931C106KAA,10uF                 | 2,43               | 7,29          |
| LEDs                                  | 7          | LTST-C150GKT                     | 1,69               | 11,83         |
| Amplificador Operacional              | 2          | LM358DG                          | 0,48               | 0,96          |
| Diodo Schottky                        | 1          | 1N5819HW-7                       | 2,33               | 2,33          |
| Conversor USB-Serial                  | 1          | MCP2200-I/SD                     | 12,25              | 12,25         |
| Conector USB                          | 1          | 897-43-004-90-000000             | 7,83               | 7,83          |
| Conector LSD, uso diverso             | 4          | 2,54mm                           | 2,12               | 8,48          |
| Conector Alimentação                  | 1          | PJ-002A                          | 3,12               | 3,12          |
| Conector ICSP                         | 1          | 6 Terminais                      | 3,91               | 3,91          |
| Chaves Tácteis                        | 6          | 1825910-6                        | 0,53               | 3,18          |
| Resistor uso comum                    | 1          | 9k1 $\Omega$                     | 0,08               | 0,08          |
| Resistor uso comum                    | 2          | 1k $\Omega$                      | 0,08               | 0,16          |
| Resistor uso comum                    | 7          | 3k3 $\Omega$                     | 0,08               | 0,56          |
| Resistor uso comum                    | 2          | 10k $\Omega$                     | 0,08               | 0,16          |
| Resistor uso comum                    | 1          | 6k8 $\Omega$                     | 0,08               | 0,08          |
| Resistor uso comum                    | 7          | 56 $\Omega$                      | 0,08               | 0,56          |
| Resistor uso comum                    | 4          | 4k7 $\Omega$                     | 0,08               | 0,32          |
| Resistor uso comum                    | 9          | 100 $\Omega$                     | 0,08               | 0,72          |
| Potenciômetro                         | 1          | 3296W-1-103RLF                   | 20,76              | 20,76         |
| Potenciômetro                         | 1          | P160KN-0QD15B10K (10K $\Omega$ ) | 4,01               | 4,01          |
| Regulador de Tensão                   | 1          | LD1117DT50TR (Saída 5V)          | 2,54               | 2,54          |
| Regulador de Tensão                   | 1          | LD1117S33CTR (Saída 3.3V)        | 2,17               | 2,17          |
| Entrada e saída analógicas (DAC e AD) | 2          | OSTTA024163                      | 2,93               | 5,86          |
| Memória E2PROM                        | 1          | 24LC512-I/SM                     | 7,29               | 7,29          |
| Cristal                               | 1          | 12MHz                            | 0,75               | 0,75          |
|                                       |            |                                  | <b>Preço Total</b> | <b>120,25</b> |

*Figura 18 - Lista de compras*

A cotação do projeto incluiu a cotação em dólar de diversos componentes. Assim sendo, consideramos o valor estipulado de 5,28 Reais no dia da realização.

Tendo em vista o que foi exposto, o custo total do projeto é de R\$ 120,25.



## 5 Correções

Foi necessário cortar a trilha de ligação do ANA4 com o pino 37 do Micro, pois o pino 37 não suporta sinal analógico. Foi soldado um Jumper na placa, fazendo a ligação do ANA4 com o pino 22 do Micro que estava sendo utilizado na barra de extensão.

Foi necessário ligar um Jumper de um pino +5V para o pino de alimentação do LCD, uma vez que a alimentação não estava chegando no pino do LCD pelas trilhas da placa.

Foi necessário utilizar um Jumper para curto – circuitar as entradas +3V e +5V no CI MCP2200 por erro de projeto, assim funcionando corretamente o CI.



Placa finalizada com as devidas correções

## **6 Conclusão**

Com o desenvolvimento do trabalho, algumas dificuldades foram encontradas.

Nelas destaca-se o pouco conhecimento do software KiCad somado à falta de prática na obtenção de informações de folhas de dados; isto levou o grupo a algumas divergências quanto à representação esquemática do circuito.

Por exemplo, na representação do circuito em formato PCB foi necessária a utilização de footprints, o que implica adicioná-las ao software. Todavia, diversos componentes não estavam associados às footprints corretas, portanto foi preciso alterar algumas já existentes para que se adequassem ao projeto. Situação parecida se deu com a visualização do modelo 3D.

Foi preciso empregar grande quantidade de vias no processo de roteamento da PCB, uma vez que apenas utilizar as duas faces não foi suficiente para evitar o cruzamento de linhas.

Evidencia-se também a falta de datasheets com qualidade para certos componentes. Uma vez que apresentam uma quantidade pequena de informações, acabam tornando trabalhoso seu entendimento e utilização.

Assim sendo, registra-se que a maioria dos problemas acabaram sendo solucionados por meio de pesquisas na Internet, baseando-se em projetos antigos e com o suporte fornecido pelo professor da disciplina.



## **7 Anexos**

### **i. Especificações elétricas da placa**

- Tensão de Alimentação: 7 a 12V
- Tensão entradas analógicas: 0 a 5V
- Tensão Saída PWM: 0 a 5V