

Entrega Final - Levitação Ultrassônica
PMR3402 - Sistemas Embarcados



Docentes:

Prof. Dr. Andre Cesar Martins Cavalleiro
Prof. Dr. Andre Kubagawa Sato
Prof. Dr. Guilherme Cortez Duran
Prof. Dr. Marcos de Sales Guerra Tsuzuki
Prof. Dr. Rogerio Takimoto

Grupo F:

Gabriel Shimada Belém (10770520)
João Pedro Ricci Borejo (10774566)
Leonardo Guerreiro Monteiro (10705641)
Ricardo Nicida Kazama (10771563)

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Metodologia	2
3	Idealização do sistema	2
3.1	Funcionalidades	2
3.2	Interações com o usuário	2
3.2.1	Previsão dos parâmetros de configuração	2
3.2.2	Previsão de informações relevantes de saída	2
3.3	Lista de componentes	2
3.4	Casos de Uso	3
3.5	Máquina de estados	4
3.6	Diagrama de componentes	5
3.7	Diagrama de sequências	6
4	Sistema real projetado	7
4.1	Casos de uso	7
4.2	Máquina de Estados	7
4.3	Diagrama de componentes	8
4.4	Diagrama de sequências	9
4.5	Lista de Componentes	9
4.6	Circuito Elétrico	10
4.7	Funcionamento	11
4.7.1	Primeiro momento	11
4.7.2	Segundo momento	12
5	Manual do Usuário	14
5.1	Evento 0 (Ligar)	14
5.2	Evento 1 (Configurar)	14
5.3	Evento 2 (Reinicializar)	14
5.4	Evento 3 (Desligar)	14
6	Repositório para os códigos	15

1 Introdução

No começo da disciplina nos foi proposta a realização de um projeto de um sistema embarcado. Os professores disponibilizaram uma lista de sistemas embarcados e, dentre eles, um dos que mais nos chamou atenção foi o levitador ultrassônico. Além do fenômeno ser muito interessante, tem importantes aplicações na indústria química, como, por exemplo, quando há a necessidade de misturar dois compostos sem o contato com ferramentas ou mãos humanas.

2 Metodologia

Inicialmente, foram divididos os grupos para a realização do trabalho. Em seguida, cada grupo fez a proposta de um sistema embarcado. No nosso caso, o sistema consiste em um levitador ultrassônico, em que a quantidade de objetos levitados seria escolhido pelo usuário por meio de um aplicativo de celular.

Com o sistema escolhido, foram definidos os casos de uso, assim como a máquina de estados que regeria as ações do sistema, o diagrama de componentes e o diagrama de sequência.

A partir daí, passamos para a construção física do protótipo. Após a compra dos componentes necessários, o grupo se reuniu em duas ocasiões (devido à pandemia) para a confecção do sistema físico.

3 Idealização do sistema

3.1 Funcionalidades

O projeto consistia em um dispositivo de levitação. Por meio de dois transdutores ultrassônicos, uma (ou mais) pequena peça de papel ou termocol flutuaria no ar ao ser colocada entre os mesmos. Os objetos se alocam nos nós das ondas sonoras emitidas pelos transdutores.

3.2 Interações com o usuário

O usuário iria interagir com sistema através de um dispositivo celular (aplicativo Blynk), de forma a ativá-lo e desativá-lo, podendo também configurar a quantidade de objetos a serem levitados.

3.2.1 Previsão dos parâmetros de configuração

O usuário poderia selecionar a quantidade de objetos levitados, ou seja, a quantidade de nós na onda sonora entre os transdutores.

3.2.2 Previsão de informações relevantes de saída

Dada a quantidade de objetos a serem levitados, o dispositivo informaria a quantidade de nós de ressonância da onda e calcularia a frequência de onda emitida pelos transdutores para atingir a configuração desejada.

3.3 Lista de componentes

Os componentes escolhidos para performar o projeto foram os seguintes:

- Arduino Uno / Arduino Nano ATMEGA328P (R\$ 80,00)

- 2 Ultrasonic Module HC-SR04 (R\$ 11,50)
- L239d H-Bridge Module L239D (R\$ 13,22)
- Protoboard (R\$ 10,90)
- Diodo 4007 (R\$ 1,90 - Pacote com 10)
- Capacitor (PF) 104 (R\$ 1,20 - Pacote com 10)
- Regulador de Tensão LM 7809 (R\$ 1,90)
- Chip ESP8266 (Wifi) (R\$ 23,66)
- Display LCD (R\$ 39,90)
- Bateria 9V (R\$ 8,50)
- Clip Conector para Bateria de 9V (R\$ 1,20)
- Preço total: R\$ 193,88

3.4 Casos de Uso

- Ligar/Desligar o dispositivo: um botão de On/Off na estrutura do sistema permite energizá-lo.
- Escolher o número de objetos: através da interface no aplicativo celular, o usuário pode escolher a quantidade de objetos a serem suspensos por meio da onda estacionária.
- Calcular a frequência: através da quantidade de nós fornecida pelo usuário, o dispositivo calcula internamente a frequência de onda correspondente.
- Emitir a onda: o sinal da frequência de onda é passado para o transdutor ultrassônico, que emite a onda na frequência estabelecida.

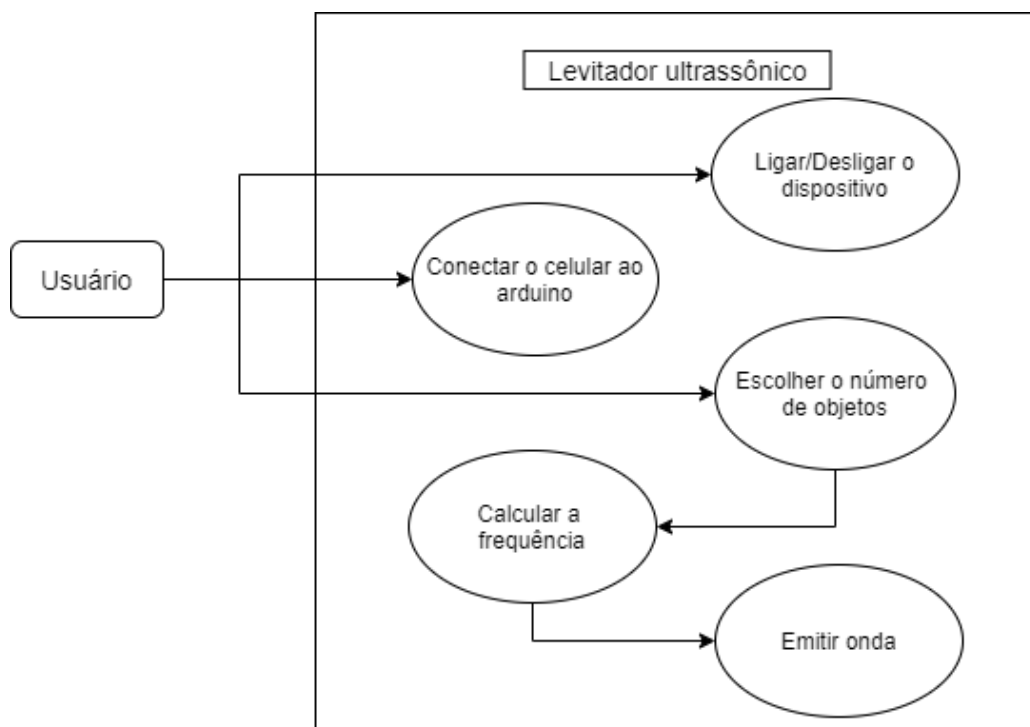


Figura 1: Diagrama de casos de uso

Os casos de uso descrevem a lógica de interação do usuário com o sistema. Assim sendo, em um momento inicial, o usuário deve ligar o sistema de levitação, energizando-o e permitindo a comunicação com o aplicativo celular para a definição de parâmetros. Em seguida, através do aplicativo celular, o usuário deve selecionar o número de objetos que serão levitados. Por fim, o sistema calcula internamente a frequência necessária para a levitação dos objetos e emite a onda sonora entre os transdutores.

3.5 Máquina de estados

O sistema é constituído apenas de 3 estados e suas transições. Os estados são:

- Desligado: o sistema não está energizado, não é possível que o usuário interaja com o sistema. Neste estado é possível apenas ligar o sistema através do botão On/Off.
- Ligado: o sistema está energizado, mas a levitação ainda não foi iniciada. Nesse estado é possível desligar o sistema através do botão On/Off ou configurar os parâmetros da levitação e iniciá-la.
- Levitação: os transdutores ultrassônicos estão funcionando para levantar objetos de acordo com a configuração fornecida pelo usuário. Nesse estado é possível desligar o sistema no botão On/Off, voltar para o estado “Ligado” desligando a levitação através da interface no celular ou reconfigurar os parâmetros de levitação.

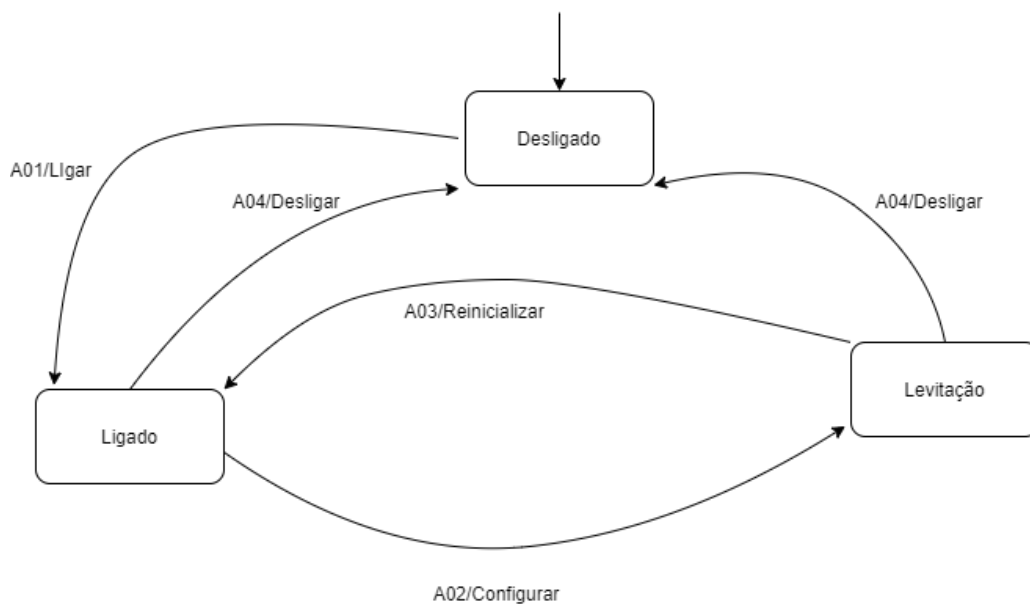


Figura 2: Diagrama da máquina de estados

Como podemos ver no diagrama, os estados se relacionam através de 5 transições sendo elas:

Transição	Descrição
A01	Liga o dispositivo
A02	Configura o número de nós desejado
A03	Reinicializa as configurações
A04	Desliga o dispositivo

3.6 Diagrama de componentes

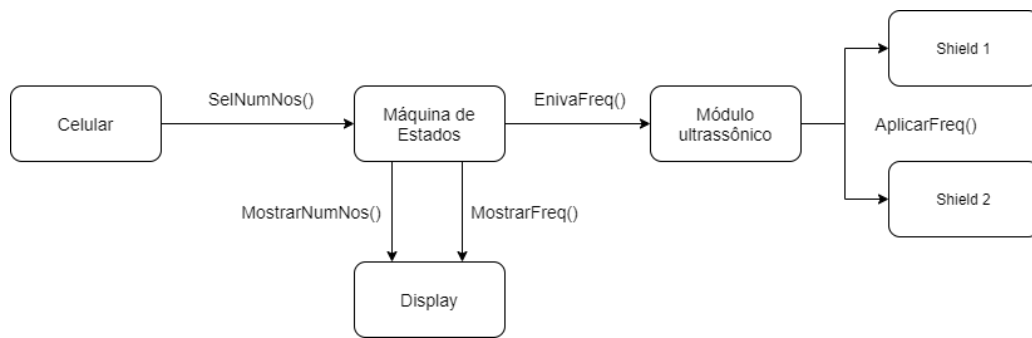


Figura 3: Diagrama de componentes

O dispositivo não possui muitos componentes e, portanto, o diagrama de componentes é enxuto. Pode-se verificar que o “Celular” é o único componente que envia informações para a “Máquina de estados”, enquanto o “Módulo ultrassônico”, que se comunica com os dois shields, e o “Display” apenas recebem informações da “Máquina de estados”.

3.7 Diagrama de sequências

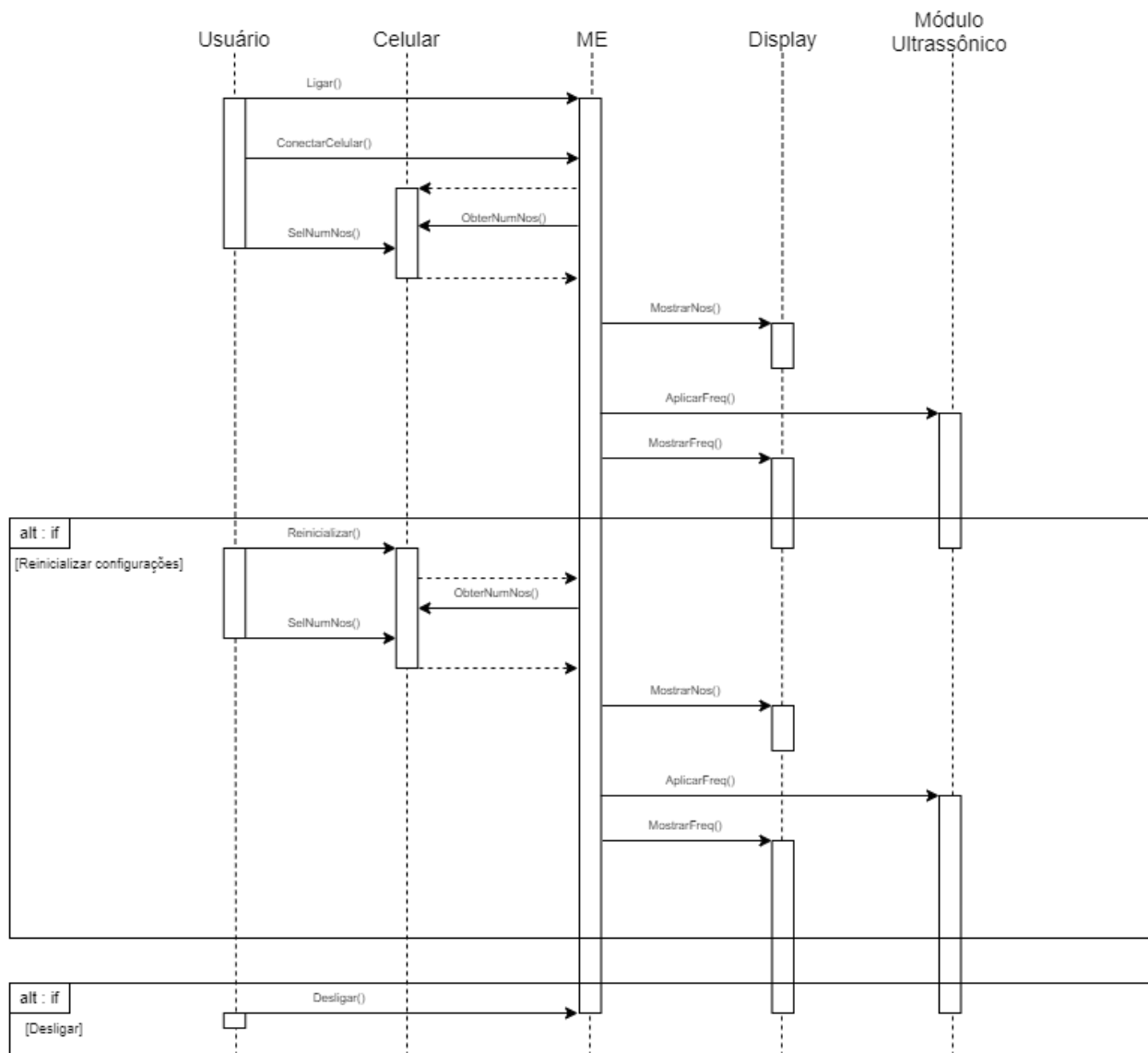


Figura 4: Diagrama de sequências

O diagrama de sequências ilustra todos os eventos em sequência que ocorrem na interação do usuário com o sistema. Neste caso, há apenas um tipo de usuário e, portanto, apenas um diagrama de sequências.

Primeiramente, o usuário deve ligar o sistema e então conectar o celular. A seguir, selecionar o número de nós desejados, para que o sistema mostre o número selecionado no display e calcule a frequência desejada. Então, a frequência é aplicada no módulo ultrassônico e mostrada pelo display.

Como pode ser visto na Figura 4, há duas opções para o usuário, desligar o sistema ou reinicializar as configurações. Nesse segundo caso, o usuário reinicializa o sistema o que faz com que o sistema retorne para o estado logo após ligar o sistema e, então, as sequências são as mesmas apresentadas anteriormente.

4 Sistema real projetado

A seguir, serão apresentados os diagramas do sistema final, considerando que tivemos que fazer alterações no projetos de acordo com as adversidades enfrentadas.

4.1 Casos de uso

Houveram algumas pequenas modificações. Para os casos de uso por exemplo, temos:

- Ligar/Desligar o dispositivo: um comando no monitor serial ligaria ou desligaria os transdutores.
- Abrir monitor serial: no ArduinoIDE, abre-se o monitor serial para controlar o sistema..
- Escolher o número de objetos: monitor celular, o usuário pode escolher a quantidade de objetos a serem suspensos por meio da onda estacionária.
- Calcular a frequência: através da quantidade de nós fornecida pelo usuário, o dispositivo calcula internamente a frequência de onda correspondente.
- Emitir a onda: o sinal da frequência de onda é passado para o transdutor ultrassônico, que emite a onda na frequência estabelecida.

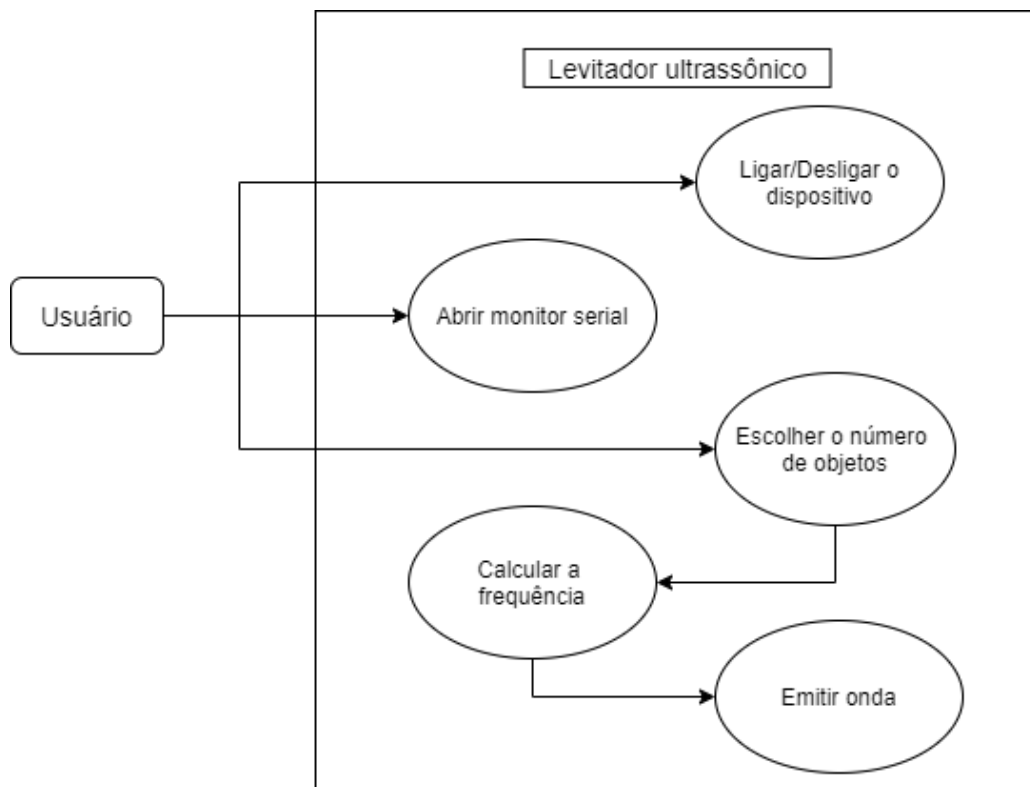


Figura 5: Diagrama de casos de uso atualizado

4.2 Máquina de Estados

A máquina de estados permaneceu a mesma, com uma pequena mudança na descrição dos estados, como detalhado abaixo:

- Desligado: o sistema está energizado e inicializado, porém os transdutores estão desligados e as portas ainda não estão configuradas. Neste estado é possível apenas ligá-los através do monitor serial.
- Ligado: as portas estão configuradas e os transdutores estão ligados com uma frequência inicial de 40 kHz . Nesse estado é possível desligar os transdutores ou configurar os parâmetros da levitação.
- Levitação: os transdutores ultrassônicos estão funcionando para levitar objetos de acordo com a configuração fornecida pelo usuário. Nesse estado é possível desligá-los ou voltar para o estado “Ligado”, ou seja, com as configurações iniciais por meio de comandos no monitor serial.

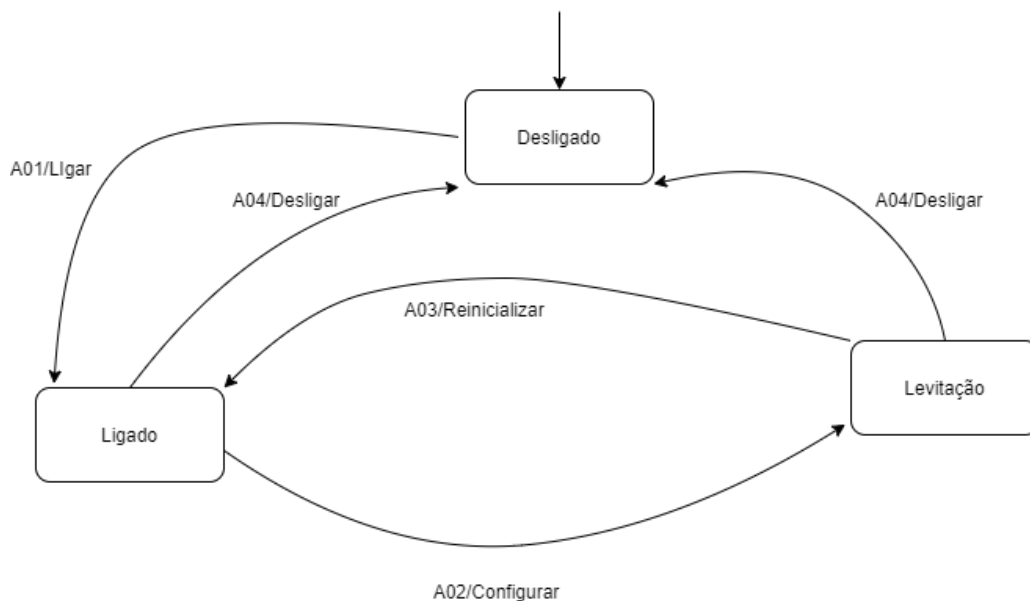


Figura 6: Diagrama da máquina de estados

4.3 Diagrama de componentes

O diagrama de componentes atualizado é dado por:

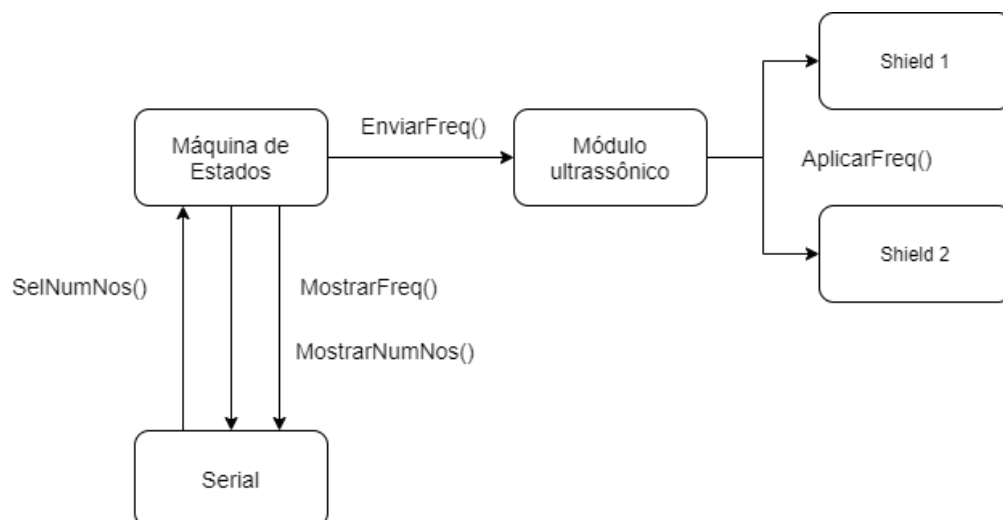


Figura 7: Diagrama de componentes atualizado

4.4 Diagrama de sequências

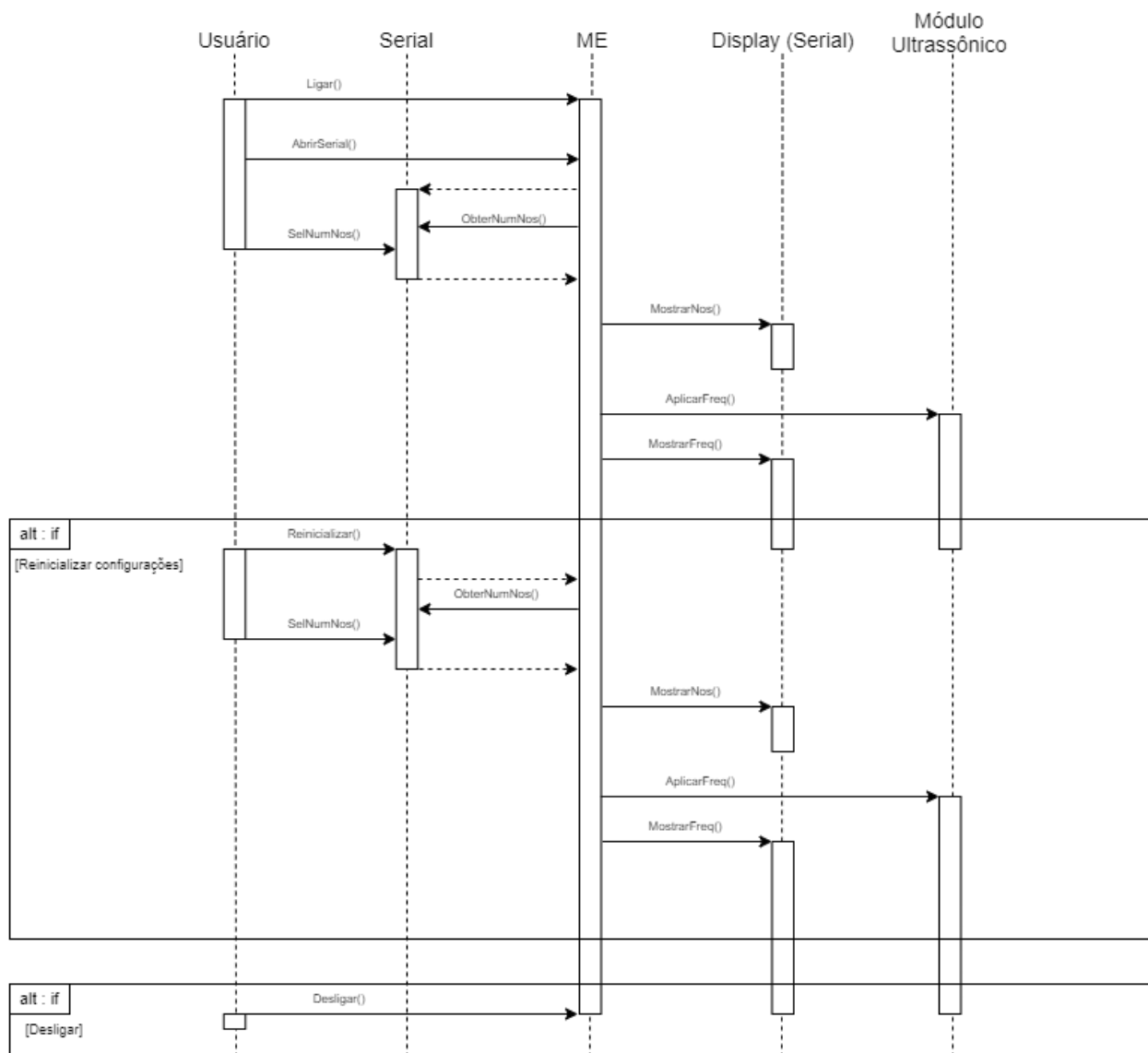


Figura 8: Diagrama de sequências atualizado

4.5 Lista de Componentes

Os componentes realmente utilizados para o projeto foram:

- BlackBoard UNO R3 (R\$ 89,00)
- 1 Ultrasonic Module HC-SR04 (R\$ 5,75)
- L239d H-Bridge Module L239D (R\$ 13,22)
- Protoboard (R\$ 10,90)
- Diodo 4007 (R\$ 1,90 - Pacote com 10)
- Capacitor (PF) 104 (R\$ 1,20 - Pacote com 10)
- Fonte de alimentação 9V - (R\$ 16,50)
- Jumper Macho-Macho - (R\$ 8,90)

- Jumper Fêmea-Fêmea - (R\$ 8,90)
- Preço total: R\$ 156,27

4.6 Circuito Elétrico

Para o funcionamento do sistema, o seguinte circuito elétrico foi montado:

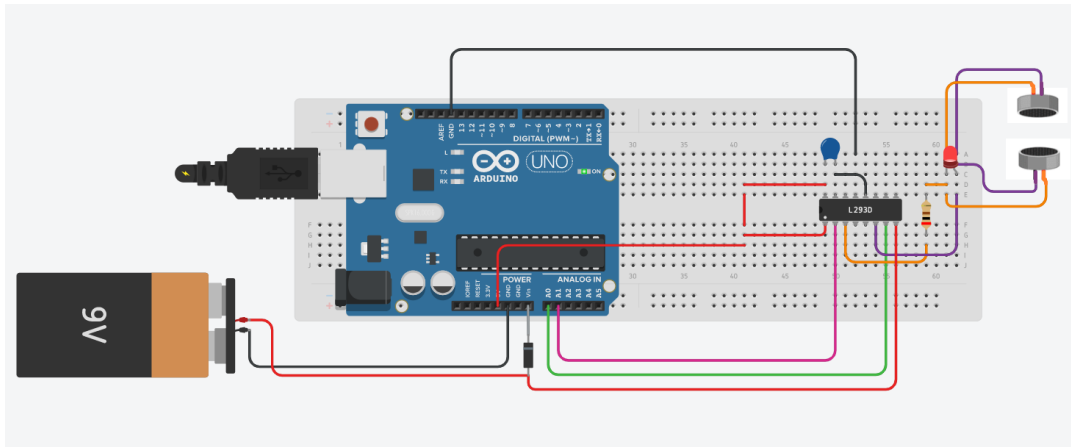


Figura 9: Representação do circuito elétrico

Na Figura 9, devido a falta de componentes no *Tinkercad*, a alimentação feita pela bateria 9 volts e o diodo na entrada V_{in} representam, na verdade, a fonte de alimentação conectada no conector DC do Arduino. Essa fonte é de 9V e 1A.

Para uma melhor visualização das conexões realizadas na ponte L293D, foi feito o seguinte esquema:

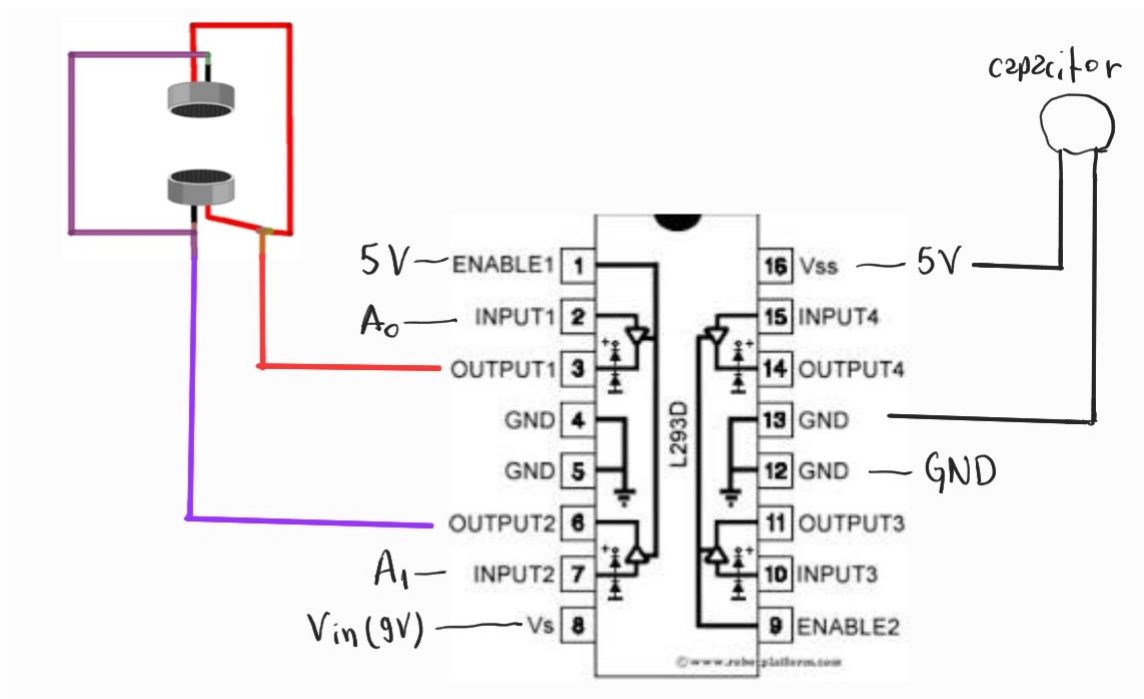


Figura 10: Detalhamento das conexões na ponte H

Os pinos A0 e A1 do Arduino, configurados como saída, seguem a frequência gerada pela frequência interna do Arduino com um divisor (o cálculo da frequência e do divisor será apresentado mais a frente no relatório). No caso, a cada interrupção, os sinais de A0 e A1 se invertem,

gerando a onda em determinada frequência. Como visto na Figura 10, os sinais A0 e A1 são as entradas 1 e 2 da ponte H e as saídas são os sinais emitidos para os transdutores.

4.7 Funcionamento

4.7.1 Primeiro momento

Em um primeiro momento, codificamos a máquina de estados no Arduino IDE e a testamos no monitor serial, sem que as ações necessárias realmente acontecessem (teste realizado somente para verificar o funcionamento da máquina de estados). No repositório, é a pasta `maquina_estados`.

Como teste, foi utilizado um código de um projeto pronto para testar o funcionamento dos transdutores e da levitação em si. A seguir temos um exemplo do funcionamento do projeto, no qual conseguimos fazer um pequeno pedaço de papel flutuar entre os sensores, se mantendo estável sem contato com outras superfícies:



Figura 11: Exemplo de levitador em funcionamento

Esta parte do projeto ocorreu de forma eximia, como proposto, conseguindo fazer um elemento flutuar entre os transdutores ([vídeo](#)).

Finalmente, quanto à conexão *Wi-fi*, a proposta inicial era usar o aplicativo *Blynk* junto com um Módulo *Wi-fi* ESP2886 e um adaptador para conectá-lo ao Arduino. Após realizada a conexão com a placa, foi possível conectar o ESP com a rede caseira.

4.7.2 Segundo momento

Em um segundo momento montamos o protótipo físico, conectando os componentes com o Arduino e a *proto-board*. O principal ponto desta seção é o controle do sistema através da máquina de estados, fazendo o sistema enviar o sinal para transdutores, calcular a frequência e do divisor, utilizados na configuração da interrupção. O código para essa parte estão na pasta

levitador no repositório. Abaixo encontra-se o protótipo montado e uma imagem do monitor serial com o sistema em funcionamento.

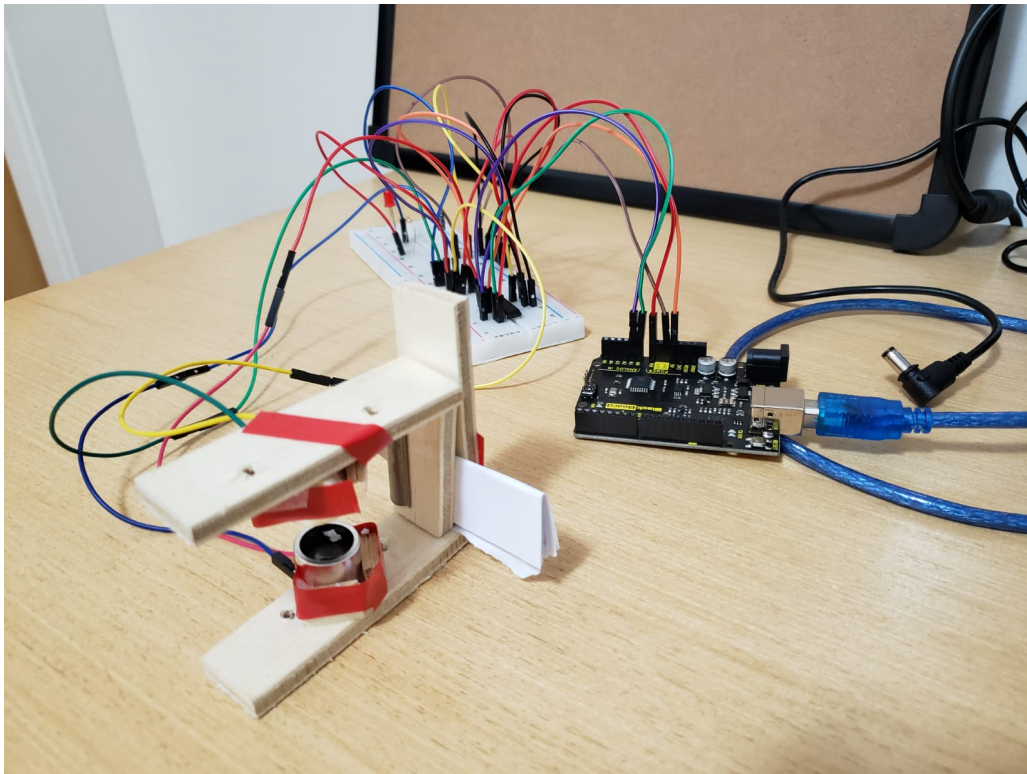


Figura 12: Modelo final montado

```
COM3
Sistema iniciado
Digite o evento:0
Sistema ligado
Estado: 1 Evento: 0 Acao: 0
Digite o evento:1
Digite o numero de nos:
Sistema configurado com 3 nós
Frequência nos transdutores: 51000.00 Hz
Estado: 2 Evento: 1 Acao: 1
Digite o evento:2
Sistema reinicializado
Estado: 1 Evento: 2 Acao: 2
Digite o evento:3
Sistema desligado
Estado: 0 Evento: 3 Acao: 3
Digite o evento:
```

Figura 13: Aplicação da máquina de estados.

Para calcular a frequência emitida pelos transdutores, foi calculado o divisor “div” da frequência interna do Arduino, utilizando a seguinte fórmula:

$$div = \frac{16 \cdot 10^6}{2f} \quad (1)$$

com $f = \frac{V_{som}}{\lambda}$, $\lambda = \frac{2d}{n}$, $V_{som} = 340 \text{ m/s}$, $d = 1 \text{ cm}$ (distância entre os dois transdutores), n o número de objetos a serem levitados escolhido pelo usuário).

Infelizmente, com o protótipo montado, não conseguimos realizar a levitação. Isso ocorreu devido a alguns problemas. Primeiramente, sendo o objetivo do projeto a escolha do número de objetos levitados, não conseguimos fazer com que mais de um objeto fosse levitado (e com a estrutura pronta, nem um objeto foi levitado). Acreditamos que isto ocorreu pela fraca intensidade de onda emitida pelos transdutores e também uma possível falha em um deles.

Ademais, houveram problemas na utilização do Módulo *Wi-fi* e sua conexão com o aplicativo *Blynk*. Isto pode ter ocorrido devido a pouca experiência do grupo com tal funcionalidade, assim como uma possível falta de componentes.

Entretanto, acreditamos que, com a utilização da máquina de estados, conseguimos receber o número de nós pela serial e mudar a frequência emitida pelos transdutores, já que o som emitido mudava (não conseguimos confirmar por meio da levitação de mais de um objeto).

5 Manual do Usuário

Primeiramente, o usuário deve energizar a placa Arduino com a fonte de tensão 9 V. Em seguida, conectar por USB o Arduino ao computador e abrir o monitor serial pelo ArduinoIDE. O programa (já carregado) iniciará a máquina de estados e então o usuário poderá controlar o sistema. Para controlar o sistema, o usuário deverá escolher 4 eventos, pré definidos, para executar as ações pré-definidas na máquina de estados, de forma a direcionar o sistema como um todo. A seguir seguem os eventos a serem digitados no monitor serial:

5.1 Evento 0 (Ligar)

O evento 0 gera a ação de ligar os transdutores, deve ser a primeira ação a ser realizada para configurar as entradas e saídas e ligar os transdutores.

5.2 Evento 1 (Configurar)

O evento 1 gera a ação de configuração. Nessa ação, o usuário fornece o número de nós e o sistema calcula e aplica a frequência ideal, possibilitando a inserção de novos objetos entre os transdutores. Após digitar 1, o usuário deve fornecer o número de nós para que o sistema calcule a frequência emitida pelos transdutores.

5.3 Evento 2 (Reinicializar)

Este evento 2 gera a ação de reinicialização do sistema, fazendo com que o sistema volte às configurações iniciais, ou seja, com os transdutores emitindo uma onda com frequência de 40 kHz .

5.4 Evento 3 (Desligar)

O evento 3 gera a ação de desligamento dos transdutores, sendo necessário realizar novamente o evento 0 para ligá-los novamente.

Um exemplo de como acontece esse passo a passo está na Figura 13.

6 Repositório para os códigos

O repositório pode ser acessado clicando [aqui](#).