

Universidade de Brasília

Eletrônica Embarcada – 1/2024



## Projeto Bola no Tubo

**Por:**

André Jacinto Rodrigues - 221007822

Gabriel Alves Tiburcio - 221021948

Kece Line Oliveira - 190110791

Otávio Augusto Binder - 221008730

Rodrigo Henrique Klein de Borba Oliveira - 211039742

Brasília

10 de setembro de 2024

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>2</b>
2.1	Estrutura do Sistema . . . . .	2
2.2	Sensores e Controle . . . . .	2
2.3	Comunicação e Processamento . . . . .	2
2.4	Fluxograma e Simulação . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento e Atividades</b>	<b>3</b>
3.1	Atividades da Equipe . . . . .	3
3.1.1	Planejamento . . . . .	3
3.1.2	Desenvolvimento de Hardware . . . . .	3
3.1.3	Desenvolvimento de Firmware . . . . .	3
3.2	Contribuições Individuais . . . . .	3
3.2.1	Participante 1 . . . . .	3
3.2.2	Participante 2 . . . . .	3
3.2.3	Participante 3 . . . . .	4
3.2.4	Participante 4 . . . . .	4
3.2.5	Participante 5 . . . . .	4
3.2.6	Avaliação geral dos integrantes . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Resultados Obtidos</b>	<b>4</b>
4.1	Simulação e Testes . . . . .	4
4.1.1	Descrição da Simulação . . . . .	4
4.1.2	Motor de passo e bobinas . . . . .	5
4.1.3	Controle no modo válvula e no modo ventoinha . . . . .	6
4.1.4	Operação manual e comunicação serial assíncrona . . . . .	6
4.1.5	Medição de altura . . . . .	6
4.1.6	Timers . . . . .	7
4.2	Análise dos Resultados . . . . .	7
4.2.1	Problemas Encontrados . . . . .	7
4.2.2	Comparação com os Objetivos . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>8</b>

# 1 Introdução

Este projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de controle automatizado para regular a altura de uma bola de isopor que flutua dentro de um tubo vertical, utilizando o controle de fluxo de ar gerado por uma ventoinha. O sistema é gerido por um microcontrolador **PIC16F1827**, que controla a ventoinha e uma válvula acoplada a um motor de passo, ambos responsáveis pelo ajuste do fluxo de ar.

Além disso, o sistema utiliza sensores de ultrassom (**HC-SR04**) para medir a altura da bola, e um sensor de temperatura (**LM35**) para compensar as variações na velocidade do som, que influencia as medições. Os dados coletados são transmitidos via **Bluetooth** para análise em dispositivos externos.

Este relatório detalha as atividades desenvolvidas, os componentes do sistema e os resultados obtidos durante as simulações e testes.

## 2 Metodologia

### 2.1 Estrutura do Sistema

O sistema consiste em uma ventoinha controlada por **PWM** e uma válvula acionada por um motor de passo, ambos ajustando o fluxo de ar dentro de um tubo para regular a altura da bola. A posição da válvula é inicializada através de um sensor óptico (**TCRT-5000**).

### 2.2 Sensores e Controle

A altura da bola é medida pelo sensor de ultrassom (**HC-SR04**), com compensação de temperatura fornecida pelo sensor **LM35**. O microcontrolador **PIC16F1827** gerencia a leitura dos sensores e controla os atuadores com base nas leituras em tempo real.

### 2.3 Comunicação e Processamento

Os dados coletados são enviados via **Bluetooth** para dispositivos externos, permitindo o monitoramento remoto. O sistema foi programado e testado usando o ambiente **MPLAB X**, com auxílio de um programador **SNAP** e analisador lógico.

### 2.4 Fluxograma e Simulação

O fluxograma do firmware foi desenvolvido no **Xmind**, organizando os componentes e suas conexões. Simulações e testes foram realizados com o auxílio do simulador do **MPLAB** para validar a operação do sistema, com resultados apresentados nas seções seguintes.

## 3 Desenvolvimento e Atividades

### 3.1 Atividades da Equipe

#### 3.1.1 Planejamento

O planejamento inicial do projeto envolveu a definição dos objetivos e a distribuição de responsabilidades entre os membros da equipe. Um cronograma de atividades foi estabelecido para guiar o desenvolvimento do sistema, desde a montagem do hardware até a programação do firmware e a realização dos testes.

#### 3.1.2 Desenvolvimento de Hardware

A montagem do hardware seguiu o diagrama esquemático previamente desenvolvido e disponibilizado pelo docente da matéria. A integração dos principais componentes, incluindo a ventoinha, o motor de passo, o sensor óptico (*TCRT-5000*), o sensor ultrassônico (*HC-SR04*) e o sensor de temperatura (*LM35*), foi realizada conforme o planejamento. Após a montagem, foram verificadas todas as conexões e o sistema foi preparado para os testes funcionais.

#### 3.1.3 Desenvolvimento de Firmware

O firmware foi desenvolvido utilizando o ambiente *MPLAB X*. O código foi inicialmente estruturado a partir do motor de passo e o desenvolvimento foi feito de forma iterativa, com ajustes progressivos a partir dos resultados obtidos nos testes iniciais.

### 3.2 Contribuições Individuais

#### 3.2.1 Participante 1

O aluno **André Jacinto Rodrigues** operou em pair programming com a aluna Kece Line Oliveira no desenvolvimento das funções do motor de passo, do cálculo da altura e da temperatura. Auxiliou no desenvolvimento base do fluxo do firmware e na edição dos vídeos da simulação e dos testes de bancada. O aluno esteve presente nos testes de bancada e participou ativamente nos ajustes necessários para o desenvolvimento do projeto.

#### 3.2.2 Participante 2

O aluno **Gabriel Alves Tiburcio** foi uma peça chave no desenvolvimento das funcionalidades das diferentes modalidades de operação do controle, operando em pair programming com o aluno Otávio Augusto Binder. O aluno esteve presente nos testes de bancada e participou ativamente nos ajustes necessários para o desenvolvimento do projeto.

### 3.2.3 Participante 3

A aluna **Kece Line Oliveira** participou do desenvolvimento das funções do motor de passo, do cálculo da altura e da temperatura, operando em pair programming com o aluno André Jacinto Rodrigues. Também, foi responsável pelo desenvolvimento integral do fluxograma do firmware, na documentação HTML, no desenvolvimento do presente relatório de atividades, bem como no registro das simulações necessárias para a confecção do mesmo. A aluna esteve presente nos testes de bancada e participou ativamente nos ajustes necessários para o desenvolvimento do projeto.

### 3.2.4 Participante 4

O aluno **Otávio Augusto Binder** participou do desenvolvimento das funcionalidades das diferentes modalidades de operação do controle, operando em pair programming com o aluno Gabriel Alves Tiburcio. O aluno esteve presente nos testes de bancada e participou ativamente nos ajustes necessários para o desenvolvimento do projeto.

### 3.2.5 Participante 5

O aluno **Rodrigo Henrique Klein de Borba Oliveira** participou do desenvolvimento das funções de comunicação. Também, foi responsável pelo desenvolvimento integral do fluxograma do firmware, na documentação HTML e realizou a edição dos vídeos das simulações e dos testes de bancada. Também colaborou na elaboração matemática da tabela para medição de altura utilizando o *Octave*. O aluno esteve presente nos testes de bancada e participou ativamente nos ajustes necessários para o desenvolvimento do projeto.

### 3.2.6 Avaliação geral dos integrantes

Todos os integrantes contribuíram de forma significativa para a elaboração do código, assim como para os testes e simulações das funções desenvolvidas por outros membros. O desenvolvimento do projeto foi realizado de maneira totalmente colaborativa.

## 4 Resultados Obtidos

### 4.1 Simulação e Testes

#### 4.1.1 Descrição da Simulação

A simulação foi conduzida no MPLAB X para verificar o comportamento do sistema com base nas condições especificadas.

#### 4.1.2 Motor de passo e bobinas

Na simulação da válvula e do motor de passos, os valores da variável *sp-position* foram ajustados manualmente. Observamos a comparação entre as variáveis *position* e *sp-position*, bem como os incrementos da variável *passo*. Ao final, verificou-se que, quando *position* se igualou a *sp-position*, as bobinas foram desligadas. Além disso, os testes de bancada contaram com o uso de um analisador lógico para verificar os sinais das bobinas nos pinos SM1, SM2, SM3 e SM4.

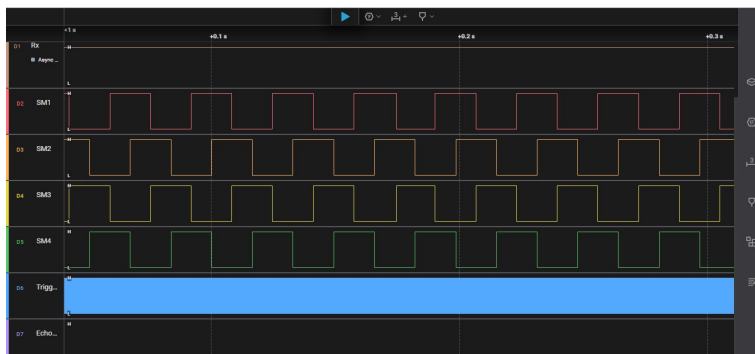


Figura 1: Sinal das bobinas no analisador lógico

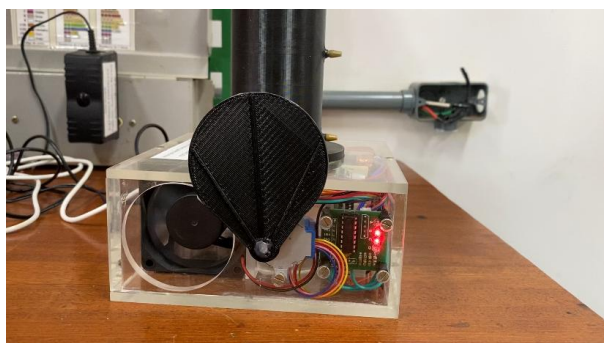


Figura 2: Demonstração da porta na posição zero

### 4.1.3 Controle no modo válvula e no modo ventoinha

Nas simulações de controle da ventoinha e da válvula, manipulamos manualmente os valores das variáveis *ballset* e *balldist* e observamos os resultados na variável *output*. Em ambas as simulações, os resultados foram os esperados. Nos testes de bancada, realizamos as calibrações necessárias para minimizar a oscilação da bolinha, mantendo-a dentro da menor margem de erro possível. Nos testes de bancada do modo ventoinha, foi possível observar a transição dos sinais do PWM utilizando o analisador lógico.

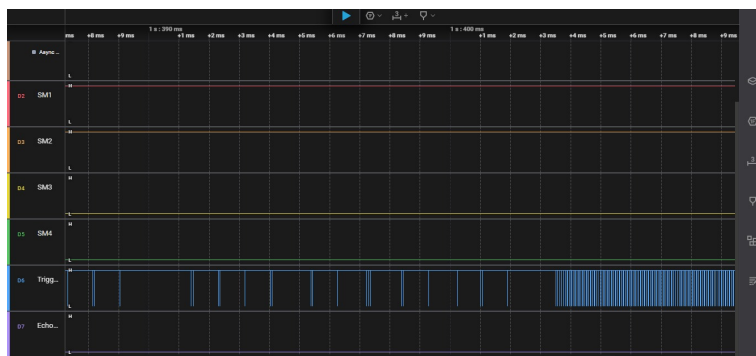


Figura 3: Sinal do pwm pelo analisador lógico no modo ventoinha

### 4.1.4 Operação manual e comunicação serial assíncrona

Com o modo de operação manual, a simulação foi realizada diretamente via comunicação. Para critério de avaliação, os testes foram conduzidos utilizando a simulação de comunicação, onde os estímulos foram recebidos diretamente. Os resultados foram observados nas variáveis *dc*(duty cycle), *controlchoice* e *sp-position*(set point da válvula). Também foi possível observar os comandos manuais para recepção (RX) e transmissão (TX) de dados utilizando o analisador lógico.

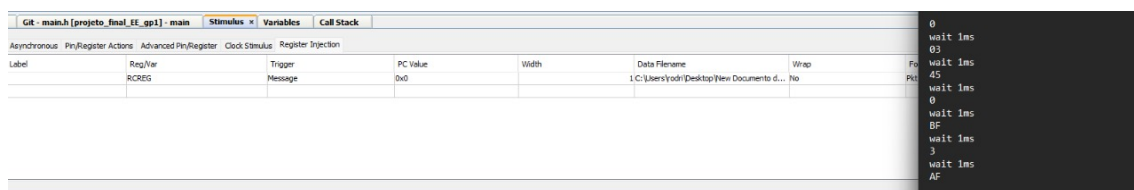


Figura 4: Estimulo de recebimento da simulação do MPLAB

### 4.1.5 Medição de altura

A medição de altura foi realizada por meio de estímulos do tipo *advanced pin/register*, e os resultados foram monitorados na variável *height*. Durante as medições de altura, também foi possível capturar os valores do echo e do trigger utilizando o analisador lógico.

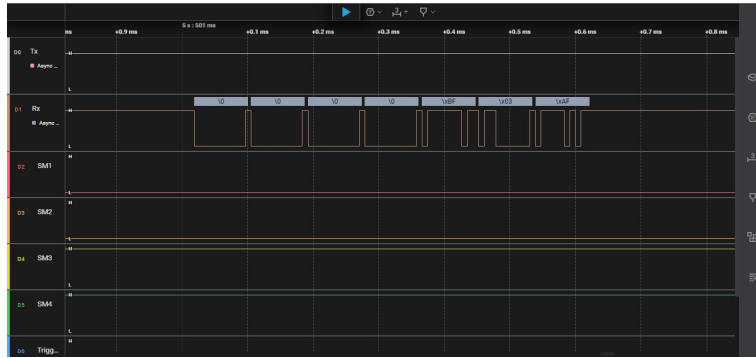


Figura 5: Sinal de RX no analisador lógico

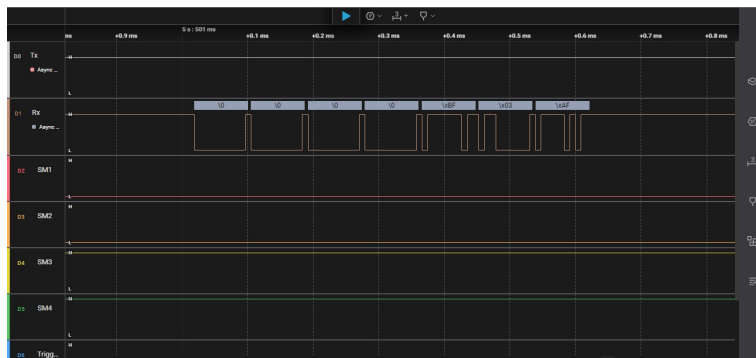


Figura 6: Sinal de TX no analisador lógico

#### 4.1.6 Timers

Também realizamos testes em simulação para cada um dos Timers, utilizando breakpoints e o stopwatch. Dessa forma, foi possível identificar com precisão os intervalos de tempo em que cada função foi chamada.

## 4.2 Análise dos Resultados

### 4.2.1 Problemas Encontrados

A principal dificuldade enfrentada pelo grupo foi a calibração do motor no modo ventoinha, que não conseguiu fornecer medições precisas. Em contraste, no modo válvula, foram observadas medições exatas em alguns casos, embora não de forma consistente. Apesar desses desafios, o sistema conseguiu manter a bolinha próxima da altura desejada, apresentando uma margem de erro aceitável. A bolinha atingiu a altura configurada com uma oscilação mínima durante o processo de descida.

### 4.2.2 Comparação com os Objetivos

A funcionalidade do motor e da comunicação foi adequada e atendeu aos padrões estabelecidos.



Asynchronous Pin/Register Actions Advanced Pin/Register Clock Stimulus Register Injection					
Define Triggers					
Enable	Condition	Type	Re-Arm Delay	TSG	
<input checked="" type="checkbox"/>	COND1	Cont	1 cyc	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	COND2	Cont	1 cyc	0	
Click here to add/remove signals					
Define Conditions					
Condition	When	When Changed	Wait	Comments	
COND1	Pin	RAG	= 1	50 us	
COND2	Pin	RAG	= 1	3 ms	

This column is not editable. Select the "When" to generate a condition name.

Figura 7: Estímulos para simulação da altura

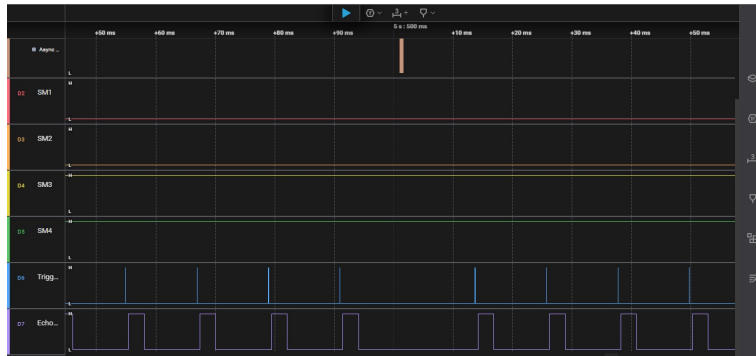


Figura 8: Sinais de Trigger e Echo

## 5 Conclusão

O projeto foi realizado com êxito, atendendo a todos os requisitos estabelecidos e com todas as funcionalidades em pleno funcionamento. A integração bem-sucedida dos componentes de hardware e firmware demonstrou a eficácia do sistema no controle da altura da bolinha dentro do tubo vertical. No entanto, foi identificada uma limitação significativa: a oscilação da bolinha, que decorre de imperfeições na calibração do controle do motor. Apesar desse desafio, o sistema conseguiu manter a bolinha próxima da altura desejada, com um desempenho geral satisfatório.