

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Campus DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Arthur Machado Silva

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DE TEMPO
DE REAÇÃO DE ATLETAS



Divinópolis
2022

Arthur Machado Silva

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DE TEMPO
DE REAÇÃO DE ATLETAS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Eletrônica e Computação.

Orientador: Prof. Doutor Christian Gonçalves Herrera

Co-orientador: Prof. Doutor Leonardo Gomes Martins Coelho



Divinópolis
2022

Arthur Machado Silva

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA DETECÇÃO DE TEMPO
DE REAÇÃO DE ATLETAS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Colegiado de Graduação em En-
genharia Mecatrônica como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de Engenheiro
Mecatrônico.

Áreas de integração: Eletrônica e Computação.

Comissão Avaliadora:

Prof. Doutor Christian Gonçalves Herrera
CEFET/MG *Campus V*

Prof. Doutor Leonardo Gomes Martins Coe-
lho
CEFET/MG *Campus V*

Prof. Doutor João Carlos de Oliveira
CEFET/MG *Campus V*

Divinópolis
2022

DEDICO ESTE TRABALHO AOS MEUS
PAIS NILSON E NILMA, AO MEU IR-
MÃO GUILHERME, E A TODOS AMI-
GOS QUE SEMPRE ME APOIARAM
INCONDICIONALMENTE.

Agradecimentos

Agradeço,

Primeiramente a Deus, por todas as graças alcançadas e possibilitar chegar até aqui com saúde e realizado.

Aos meus pais Nilson e Nilma, por apoiar meus sonhos acima até de seus próprios, por me acolher em momentos de desespero e falta de clareza. Vocês são o motivo de todo o meu progresso.

Ao meu irmão, Guilherme, por me ajudar sob quaisquer circunstâncias quando eu mais precisei, você será eternamente meu melhor amigo.

A Victória, por entender minha ausência durante momentos importantes, e me motivar quando apenas minha vontade não bastou.

Aos meus amigos, em especial ao PPE, MAD, Ana Flávia, Lucas, Guilherme, Eduardo, Tarsis e aos eternos amigos do basquete, vocês foram essenciais em cada etapa dessa caminhada.

A Atlética, em especial, Rodolpho, Cibele, Thiago, por ter me ensinado tanto e apontado direções que até então não vislumbrava como possibilidade.

Aos amigos e professores do CEFET-MG, por agregarem valores inestimáveis à pessoa que sou hoje, e por caminharem por mim quando já não havia ânimo.

Aos amigos do estágio, por me ensinarem tanto em tão pouco tempo, vocês foram meus professores no mercado de trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições que guiaram o desenvolvimento deste estudo, sem vocês nada disso seria possível.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que eu alcançasse esse degrau tão importante.

”Se você não acredita em si mesmo, ninguém fará isso por você.”

Kobe Bryant

Resumo

O tempo de reação, é um fator determinante para o bom desempenho de um atleta, seja para reagir a estímulos durante uma situação de jogo, seja para garantir a qualificação em esportes com largada. Atualmente, em esportes como o atletismo e a natação, é imprescindível que atletas de alto rendimento estejam próximos da perfeição, no que tange à resposta imediata ao sinal de largada. Por outro lado, apenas grandes centros esportivos dispõem de dispositivos de medição em seus blocos de partida, capazes de mensurar a grandeza em questão. Logo, é notório que o alto investimento na aquisição deste equipamento inviabiliza que os praticantes desses esportes, historicamente com pouco investimento financeiro, preparem-se de forma adequada para competições de alto rendimento. Portanto, o objetivo do trabalho é desenvolver um sistema de baixo custo, que possa detectar o tempo de reação do usuário a um estímulo sonoro, sendo que o mesmo engloba duas das grandes áreas da engenharia: Eletrônica e Computação. O sistema será composto basicamente por sensores, microcontrolador, sinalização sonora e interface via display e software. O princípio de funcionamento consiste em comparar o momento do disparo de partida, com o momento em que o competidor se desprende do bloco de partida, e feita essa comparação, determinar se consiste em falsa partida ou não, como também, o tempo de reação entre sinal sonoro e partida, caso se confirme, o sistema emite um sinal sonoro para sinalização imediata. Posteriormente, foi realizada a integração do sistema físico com uma *dashboard* para acompanhamento em tempo real de maneira quantitativa e analítica. Sendo assim, este projeto visa, como um todo, além de melhorar significativamente o processo de treinamento de atletas de atletismo e natação, popularizar o acesso à informações precisas sobre rendimento, a atletas de baixa renda e centros esportivos de apelo popular, podendo ser utilizada em competições municipais e regionais.

Palavras-chave: Instrumentação, tempo de reação, bloco de partida.

Abstract

Reaction time is a determining factor for the good performance of an athlete, whether to react to stimuli during a game situation, or to ensure qualification in starting sports. Currently, in sports such as athletics and swimming, it is essential that high-performance athletes are close to perfection, with regard to the immediate response to the starting signal. On the other hand, only large sports centers have measuring devices in their starting blocks, capable of measuring the magnitude in question. Therefore, it is clear that the high investment in the acquisition of this equipment makes it impossible for practitioners of these sports, historically with little financial investment, to prepare adequately for high-performance competitions. Therefore, the objective of the work is to develop a low-cost system that can detect the user's reaction time to a sound stimulus, which encompasses two of the major areas of engineering: Electronics and Computing. The system will basically consist of sensors, microcontroller, sound warning and software and display interface. The working principle consists of comparing the moment of the starting trigger, with the moment when the competitor breaks free from the starting block, and after this comparison, determine whether it consists of a false start or not, as well as the reaction time between audible signal and departure, if confirmed, the system emits an audible signal for immediate signaling. Subsequently, the system was integrated to a dashboard, in reason to show in real time, details of quantitative and analytic data. Therefore, this project aims, as a whole, in addition to significantly improving the process of training athletes in athletics and swimming, popularizing access to accurate information about performance, to low-income athletes and popular sports centers, which can be used in municipal and regional competitions.

Keywords: Instrumentation, reaction-time, starting block.

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Acrônimos e Notação	xiv
1 Introdução	1
1.1 Definição do Problema	2
1.2 Motivação	3
1.3 Objetivos do Trabalho	3
1.3.1 Objetivos Gerais	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Organização do Documento	4
2 Metodologia	5
3 Fundamentos	7
3.1 Revisão Bibliográfica	7
3.2 Estado da Arte	9
3.3 Fundamentação Teórica	11
3.3.1 Estudos Relacionados ao Esporte	11
3.3.2 Amplificação de Sinais	14
3.3.3 Microcontrolador	14
3.3.4 Sensores	15
4 Desenvolvimento	19
4.1 Projeto	19
4.1.1 Projeto Comportamental	19
4.1.2 Projeto Lógico	21
4.2 Materiais e Métodos	22
4.2.1 Microcontrolador	22
4.2.2 Sensores	25
4.2.3 Softwares	28
4.3 Testes Parciais	29
4.3.1 Teste de Distância e Ambiente	29
4.3.2 Teste do Algoritmo	31

4.3.3	Modelo de Protótipo	33
4.3.4	Orçamento	35
5	Resultados e Discussões	36
5.1	Funcionamento do Sistema	36
5.2	Verificação	37
6	Considerações Finais	44
6.1	Conclusões	44
6.2	Continuidade do Projeto	46
A	Código	48
A.1	Arduino	48
	Referências	54

Lista de Figuras

3.1	Bloco de Partida no Atletismo - 1930 - Fonte: CBAAt	8
3.2	Bloco de Partida no Atletismo - Fonte: Fabrigimno,2021	8
3.3	Bloco de partida na natação - Fonte:Archiexpo, 2021	9
3.4	Tecnologia na Natação FONTE: FINA, 2018	10
3.5	Bloco de Partida FONTE: Speen Endurance, 2016	11
3.6	História do Atletismo FONTE: Globoesporte, 2015	12
3.7	História da Natação FONTE: O Vigilante, 2020	13
3.8	Arduino UNO R3 FONTE: Arduino Store, 2021	15
3.9	Microfone de Eletreto FONTE: Baú da Eletrônica, 2021	16
3.10	Amplificador - LM386 Fonte: Eletrogate	17
3.11	Circuito Amplificador - LM386 Fonte: Eletrogate	18
4.1	Diagrama de Funcionamento do Sistema Fonte: Própria	20
4.2	Diagrama de blocos do sistema Fonte: Própria	21
4.3	Máquina de Estados Finitos do funcionamento dos sistema Fonte: Própria	22
4.4	Entradas Digitais Fonte: Embarcados	23
4.5	Fontes de Alimentação Fonte: Embarcados	23
4.6	Modelo de microfone escolhido Fonte: Eletrogate	25
4.7	Módulo Detector de Som Fonte: Eletrogate	26
4.8	Tela ST7735 1,8"Fonte: Simple Circuit	27
4.9	Buzzer 5V Fonte: Vida de Silício	28
4.10	Teste de Distância e Ambiente Fonte: Própria	29
4.11	Amplitude do estímulo claro Fonte: Própria	30
4.12	Amplitude do estímulo ruidoso Fonte: Própria	30
4.13	Interrupção Externa Fonte: Própria	31
4.14	Tela de Transição Fonte: Própria	32
4.15	Vista Frontal Fonte: Própria	33
4.16	Vista Inferior Fonte: Própria	34
4.17	Vista Lateral Fonte: Própria	34
4.18	Vista Traseira Fonte: Própria	35
5.1	Máquina de estados finitos do sistema final : Própria	37
5.2	Montagem final do sistema utilizado : Própria	37
5.3	Largada Falsa (>1000ms) Fonte: Própria	39
5.4	Largada Falsa (>1000ms) - Osciloscópio Fonte: Própria	39
5.5	Largada Falsa : Própria	40

5.6	Largada Falsa - Osciloscópio Fonte: Própria	40
5.7	Largada Falsa - Sobre-humana: Própria	41
5.8	Largada Falsa - Sobrehumana - Osciloscópio Fonte: Própria	41
5.9	Largada Legal Fonte: Própria	42
5.10	Largada Legal Fonte: Própria	42
5.11	Dashboard em tempo real Fonte: Própria	43
6.1	Tela Inicial e Menu Fonte: Própria	46
6.2	Contagem e Histórico Fonte: Própria	47
6.3	Ranking e Estatísticas Fonte: Própria	47

Lista de Tabelas

4.1	Aplicação da metodologia FMEA	21
4.2	Teste de Distância e Ambiente	31
4.3	Status da Saída	31
4.4	Orçamento do Projeto	35
5.1	Teste Finais	38

Lista de Acrônimos e Notação

TR	Tempo de Reação
CBAt	Confederação Brasileira de Atletismo
FINA	Federação Internacional de Natação
USB	Universal Serial Bus
IDE	Integrated Development Environment
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
RPN	Risk Priority Number
AOP	Amplificador Operacional
CI	Circuito Integrado
ISR	Rotina de Serviço de Interrupção
TFT	Thin Film Transistor

Introdução

A utilização da tecnologia no esporte, têm influenciado cada vez mais nos resultados e quebra de recordes em diversos esportes. Tal aplicação passa desde o treinamento dos atletas, até a aferição do desempenho nas competições. A análise motora e dos indicadores de performance, têm guiado o desenvolvimento de métodos e técnicas que visam amenizar a influência dos pontos fracos e potencializar os pontos fortes do praticante, levando assim, à excelência do esporte em todos os sentidos (SILVA, 2007).

Logo, essa análise possibilita ao treinador quantificar a evolução do atleta naquela valência, e à partir disso, permite personalizar o protocolo de atividades que será desenvolvido. Um importante atributo relacionado à maioria dos esportes, é o tempo de reação. O tempo de reação é a medida que indica quanto tempo uma pessoa leva para iniciar um movimento, o mesmo também pode ser descrito como o intervalo de tempo entre o disparo de um sinal (estímulo) e o início de uma resposta de movimento (MAGILL, 2000). O mesmo pode ser definido como simples ou complexo, o primeiro desses é definindo como o tempo decorrido entre a apresentação de apenas um estímulo, exigindo uma única resposta, o segundo é definido pela medida de tempo à partir de um ou vários estímulos possíveis, e a decisão do usuário de selecionar uma resposta desse conjunto (LUCÉ, 1986).

Esse tipo de aferição vem sendo, há anos, utilizado pelos pesquisadores como uma medida normal do desempenho de habilidades motoras humanas. Embora a aferição do tempo de reação seja proveniente de estímulos, à partir da realização de repetidos testes é possível diagnosticar diferentes causas de uma medida abaixo do esperado, possibilitando assim, a correção e a melhora dos resultados obtidos pelo atleta.

Por outro lado, em esportes como a natação e corridas de velocidades no atletismo, a avaliação do tempo reação influencia não só em um menor tempo de execução da prova, como também em desclassificação, caso o mesmo não esteja dentro dos critérios definidas pelas regras vigentes na competição.

A natação e o atletismo são dois do esportes mais antigos que se tem notícia. Ao longo

do desenvolvimento e popularização dos mesmos não só no cotidiano, mas em competições de alto rendimento, sentiu-se a necessidade de equipamentos que tornassem os seus praticantes cada vez mais aptos à prática dos mesmos. Nesse contexto, surgem as vestimentas, calçados e equipamentos modernos. Viu-se também a necessidade que os locais de treino e prova, possuíssem uma estrutura que possibilitasse que os atletas demonstrassem o seu melhor diariamente.

Um dos dispositivos que compõe esses dois esportes, é o bloco de partida. Essa estrutura surgiu com o intuito de conferir ao atleta, determinado conforto articular e um apoio adequado pra impulsioná-lo no início da prova. Com o passar o tempo, algumas capacidades foram adicionadas aos blocos mais modernos, fazendo com que ele fosse capaz de mensurar importantes valências, como por exemplo, pressão dos pés na plataforma, anatomia da pisada e tempo de reação do atleta, esta última, objeto de estudo desse trabalho.

Devido à falta de acesso à tecnologia esportiva nos cenários com menor condição socioeconômica, nota-se a necessidade de aproximar o atleta comum, à ferramentas que sejam capazes de incrementar a performance dos mesmos. Posto isso, esse trabalho tem como proposta, o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para detecção de tempo de reação de atletas.

1.1 Definição do Problema

A constante evolução da tecnologia empregada nos esportes, deixa evidente a necessidade de se investir cada vez mais em equipamentos e acessórios que ajudem o atleta de alguma forma. Muitas vezes, o custo do investimento impossibilita que esse tipo de recurso esteja ao alcance de todos. Esse detalhe se acentua, à medida que esportes menos populares, recebem menos investimento.

Dessa forma, informações relativas ao tempo de reação do praticante, seriam de grande valia para treinadores e árbitros oficiais de competições de atletismo e natação, pois dessa forma, pode-se não só diagnosticar limitações e corrigí-las, como utilizar localmente o mesmo sistema de detecção de falsa largada que as grandes federações esportivas utilizam nessas modalidades.

Portanto, a proposta, consiste em oferecer uma visão da engenharia como ferramenta para auxiliar treinadores e árbitros, entregando-lhes dados relacionados ao tempo de reação do atleta no momento da largada na natação e atletismo.

1.2 Motivação

Em relação aos sistemas utilizados atualmente, a tecnologia empregada e a baixa concorrência entre os fabricantes faz com que exista uma grande distância entre os modelos utilizados nos grandes torneios, e os utilizados em um contexto de menor investimento.

Nesse cenário, surge a oportunidade de desenvolver um sistema de baixo custo e que atenda às demandas citadas, pois dessa forma, fomenta-se o alto rendimento esportivo em diversos segmentos sociais, reiterando a importância do esporte na formação intelectual de jovens e adolescentes.

O curso de Engenharia Mecatrônica possibilita, a partir da integração de duas das suas grandes áreas, computação e eletrônica, abordar diferentes técnicas de projetos eletrônicos e computacionais, possibilitando otimizar e desenvolver um sistema preciso, simples e de baixo custo.

1.3 Objetivos do Trabalho

Apresentada a proposta e motivação, constituem os objetivos deste trabalho:

1.3.1 Objetivos Gerais

Desenvolver um sistema de baixo custo, que possa detectar o tempo de reação do usuário a um estímulo sonoro no âmbito esportivo, com foco no atletismo e na natação. Também é de interesse que o sistema monitore mais de uma base simultaneamente.

1.3.2 Objetivos Específicos

O sistema deve ser capaz de captar, processar e reportar em tempo real ao usuário, informações relativas ao tempo de reação desenvolvido pelo atleta após o disparo de um estímulo sonoro, seja a captação sob quaisquer condições sonoras.

Além disso, o projeto pretende:

- Realizar estudos sobre os regulamentos das modalidades;
- Realizar estudos sobre os circuitos eletrônicos e instrumentação a serem utilizadas;
- Desenvolver algoritmo para realizar simulações do sistema proposto;
- Definir e testar os sensores e o microcontrolador que atenda às especificações definidas;
- Validar do sistema eletrônico;
- Analisar se o sistema correspondeu ao desempenho pretendido.

1.4 Organização do Documento

Este documento divide-se em quatro capítulos, sendo que este, apresenta a definição do problema que motivou o desenvolvimento desse trabalho. Além disso, apresenta também os objetivos gerais e específicos do mesmo. No segundo capítulo apresenta-se a metodologia. Esta, justifica as decisões tomadas na etapa de projeto e também na procedimento lógico em que esse estudo se baseia.

Logo, no terceiro capítulo, é apresentada a fundamentação do trabalho. Nessa parte, realiza-se uma revisão bibliográfica e em seguida, descreve-se o estado da arte e fundamentação teórica de elementos relevantes para o desdobramento do projeto.

Em seguida, detalha-se os procedimentos realizados no desenvolvimento do trabalho, abordando etapas como projeto comportamental e lógico. Também nesse capítulo, detalha-se a escolha dos materiais e métodos utilizados para alcançar os objetivos externos anteriormente, além de relatar a execução de testes parciais do sistema, incluindo um modelo do protótipo e o orçamento final executado.

O quinto capítulo, relata os resultados obtidos após realizados todos os estágios anteriores, e a averiguação do desfecho diante das premissas que guiaram o projeto como um todo.

Por fim, o último capítulo apresenta as considerações finais do trabalho e propostas para uma futura continuidade do projeto por terceiros.

Metodologia

A metodologia que guiou o desenvolvimento deste estudo dividiu-se basicamente em quatro etapas, que podem ser sintetizadas em: revisão bibliográfica, estado da arte, estudos relacionados ao esporte e instrumentação, sendo os dois últimos, tratados dentro dos fundamentos.

Inicialmente, foi feito um estudo aprofundado sobre a utilização dos blocos de partida em diferentes esportes, essa etapa permitiu visualizar importantes aspectos da utilização do sistema pretendido, entre esses, as mudanças na utilização do bloco de partida ao longo dos anos e a diferença desse equipamento em outras modalidades.

Em seguida, foi realizada uma pesquisa mercadológica, de maneira a detectar as principais peculiaridades dos modelos de bloco de partida já existentes e as principais empresas que dominam o mercado desse tipo de equipamento, justificado pelo fato de não existir similares no mercado popular, eliminando, assim, o alcance do usuário comum à tecnologia relevante no âmbito esportivo.

Logo após, realizou-se estudos relacionados ao esporte, pois dessa forma, pode-se definir parâmetros importantes que guiaram escolhas relevantes para o projeto, como por exemplo, o limite de tempo considerado falsa largada, que por sinal, é definido através do regulamento de cada modalidade. Outro aspecto que se mostrou expressivo, foi qual tipo de infração foi cometida diante da penalização, ou seja, em qual momento do procedimento de início de prova, o sensor detectou a incoerência.

Em posse dos dados resultantes das etapas anteriores, foi possível analisar quais componentes seriam necessários para a construção do sistema. A princípio, optou-se por utilizar o módulo detector de som *KY037*, esta escolha se deve ao fato do microfone de eletreto presente na placa apresentar propriedades que comungam com o objetivo desse projeto, como por exemplo: as dimensões, baixo custo, versatilidade e baixa tensão de funcionamento. Outros elementos que colaboraram com a escolha, foi a apresentação de um circuito integrado responsável por amplificar o sinal captado e o comparador que co-

muta a saída digital diante de um valor regulado no potenciômetro também incluso na placa.

A escolha do microcontrolador levou em conta diversos fatores priorizados no escopo do projeto, sendo os principais, o baixo custo, a larga utilização do mesmo em prototipagens e a popularidade em diversos projetos acadêmicos, possibilitando assim futuras implementações e melhorias, ficando a critério do projetista, o quão sofisticado o sistema deve ser.

Por fim, após validado o sistema eletrônico, foram estabelecidas três formas de retornar o resultado do experimento ao usuário, a primeira delas, representa um sinal instantâneo de notar o sucesso ou insucesso da largada, podendo-se resumir a um sinal sonoro proveniente de um *buzzer*. A segunda maneira, trata-se da exibição do tempo exato de reação e a análise desse valor, classificando em quatro tipos de apuração. A última delas, é feita através da utilização de uma biblioteca do arduino que armazena os dados em planilhas intuitivas e de fácil visualização.

Fundamentos

O presente capítulo dedica-se, a apresentar de forma sucinta uma revisão bibliográfica sobre os temas tratados no trabalho, mostrando a evolução dos componentes utilizados e o o estado da arte atualmente. Por fim, são apresentados os conceitos necessários para o desenvolvimento do estudo.

3.1 Revisão Bibliográfica

O âmbito esportivo, vive em constante evolução desde o seu surgimento. O advento de diferentes tecnologias e abordagens, possibilitou aos praticantes amadores e profissionais conhecerem melhor o seu desempenho, analisando desde implicações externas, como tempo, movimentos e técnicas, quanto fatores internos, como fatores respiratórios, circulatórios e musculares.

Nesse contexto, surgem equipamentos e acessórios, que proporcionam um melhor desempenho, conforto, e principalmente, a obtenção de dados relevantes e precisos capazes de revelar particularidades do atleta e à partir disso traçar estratégias para melhorar significativamente sua performance.

Dentre as principais modificações implementadas na prática esportiva, mais especificamente nas provas de velocidade do atletismo e na natação, está a utilização do bloco de partida, a qual historicamente, passa desde a saída baixa, quanto a utilização de blocos de madeira, conforme mostrado na Figura 3.1.



Figura 3.1: Bloco de Partida no Atletismo - 1930 - Fonte: CBAAt

Ao longo dos anos, surgem adaptações que possibilitam uma posição mais confortável e uma angulação que propicia uma largada segura e robusta. A estrutura do bloco de partida do atletismo é constituída basicamente de duas bases independentes para cada um dos pés, podendo o competidor ajustar a posição das mesmas na pista e a distância entre as bases (Figura 3.2).

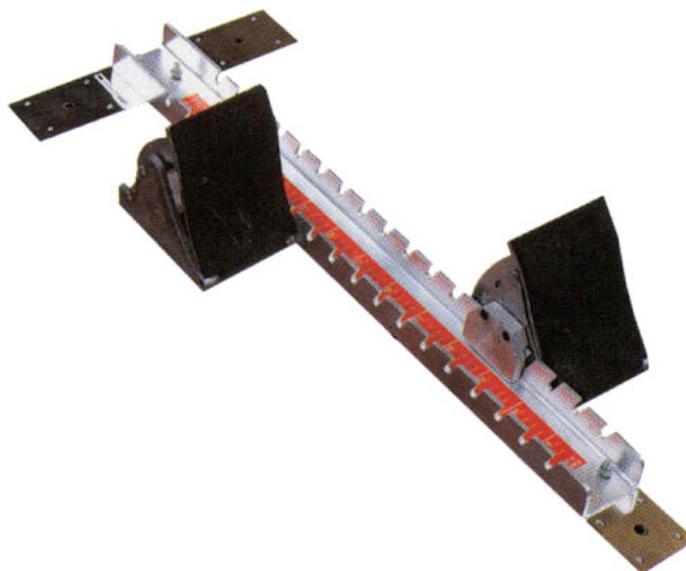


Figura 3.2: Bloco de Partida no Atletismo - Fonte: Fabrigimno,2021

Já no caso da natação, a base utilizada na partida é constituída de apenas uma placa (Figura 3.3), em que o atleta se posiciona conforme as regras da federação que ampara a competição. Assim como no atletismo, a introdução do equipamento no ambiente competitivo surge da necessidade de se melhorar os resultados passando por diferentes técnicas de partida.

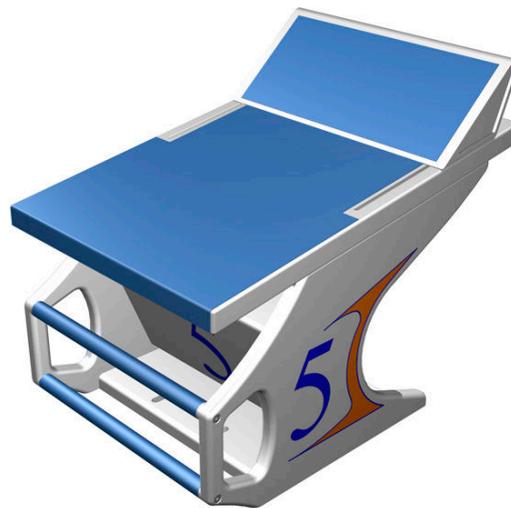


Figura 3.3: Bloco de partida na natação - Fonte:Archiexpo, 2021

Ao longo dos anos, determinar do campeão em competições de natação, passou a ser definido por medidas centesimais e milésimas, com isso surgem estudos relativos à influência da inclinação da placa do bloco de partida. Segundo MASON (2001), o tempo de saída do bloco representa de 0,8% a 26,1% do tempo total de determinadas provas , fazendo com que o acesso e domínio desse equipamento, seja providencial para o sucesso de um atleta de ponta.

As competições sob tutela da FINA (Federação Internacional de Natação), são regidas por determinações que permitem que plataforma seja regulada em até 25 centímetros na altura e de 10 graus na inclinação, o que reitera a importância da utilização do mesmo em treinamentos para melhor adaptação e determinação da regulagem ideal para cada atleta em cada tipo de nado.

3.2 Estado da Arte

Atualmente, o segmento tecnológico envolvido no contexto dos blocos de partida (3.4), tanto no ponto de vista técnico, quanto da aplicação em competições, é o sensoreamento dos apoios, que utilizando sensores de medição de força ou de contato, permite analisar diversos aspectos, entre eles a falsa largada.



Figura 3.4: Tecnologia na Natação FONTE: FINA, 2018

Os blocos de partida, tanto na natação, quanto no atletismo, comumente encontrados em competições como as Olimpíadas pertencem à marca *Ômega*, e já fazem parte do âmbito esportivo há algum tempo. Os equipamentos possuem os apoios com ajustes de nível angular e distância entre os pés, no caso do atletismo. O modelo do bloco de partida utilizado nas corridas de velocidade das Olimpíadas de Tóquio de 2021 é apresentado na figura 3.5. Estes blocos possuem um sistema capaz de mensurar a força aplicada em sua superfície, utilizando esse dado para analisar uma falsa largada e demonstrando os valores ao usuário.

A tecnologia utilizada no mesmo, não é informada pelo fabricante, e contribui para mapear diversas características do atleta, sendo esses dados, mostrados ao usuário através de um *software* fornecido no ato da compra. No Brasil, também existem outras opções de bloco de partida das marcas ProSwim e Floty, mas que em sua maioria, não apresentam inovações tecnológicas significantes.



Figura 3.5: Bloco de Partida FONTE: Speen Endurance, 2016

3.3 Fundamentação Teórica

Posta a relevância da tecnologia no âmbito esportivo, associada ao processo de modernização que o bloco de partida passou nos últimos anos. Esta seção tem como principal objetivo, detalhar aspectos relevantes para o desenvolvimento do trabalho e tratará tanto do conteúdo relativo ao esporte, quanto dos dispositivos relacionados ao sistema a ser desenvolvido.

3.3.1 Estudos Relacionados ao Esporte

No Egito e Mesopotâmia, o interesse por atividades atléticas ficou registrado em templos e tumbas. O esporte no Egito antigo incluía: luta, combate com varas, boxe, acrobatismo, arco e flecha, vela, jogos de bola, eventos eqüestres e esportes típicos do Atletismo como Corridas, lançamentos de peso. Aliás tudo indica que os eventos atléticos eram restritos aos membros das classes elevadas. Textos egípcios mostram a importância da atividade física na preparação do faraó e membros da corte (GLIEL FLÁVIO, 2003).

A história do Atletismo acompanha o homem desde os tempos dos nossos ancestrais. E sua prática primitiva ajudou na luta pela fuga dos predadores e na busca por alimentos. Para isso era preciso correr, saltar obstáculos e lançar objetos. Precisamente por aprimorar as habilidades básicas de correr, saltar e lançar, o homem garantiu sua história. Aliás, há indícios da prática do Atletismo há pelo menos cinco mil anos, primeiro no Egito e na China e, logo depois, na Grécia.



Figura 3.6: História do Atletismo FONTE: Globoesporte, 2015

Em relação ao sistema de partida, antigamente, a saída baixa era realizada sem o bloco, que hoje é obrigatório em competições oficiais. Passando por evoluções, desde buracos na pista, blocos de madeira, até o modelo atual ser definido pelas confederações. A Figura 3.6 mostra um exemplo da largada em uma competição sem o uso do equipamento. Atualmente, são três os comandos dados pelo árbitro de partida, quais sejam: às suas marcas, prontos e o tiro de largada, sendo que o atleta deve sair de uma posição agachada, e após o comando Às suas marcas [...] Ambas as mãos e um joelho devem estar em contato com o solo e ambos os pés em contato com os blocos de partida. (CBA (2003)). Em seguida, ao sinal de prontos, se levantar para sua posição final de largada, retendo contato das mãos com o solo e dos pés com o bloco (CBA (2003)), e por fim, largar quando for dado o "tiro de largada". Portanto, a averiguação da legalidade do tempo de reação obtido pelo atleta na largada, deve ser feita no instante que o mesmo perde o primeiro contato dos pés com o apoio traseiro do equipamento.

Já em relação a natação, apesar de não ser um exercício tão natural para o ser humano como caminhar ou correr, esse esporte existe há milênios. Praticada na Grécia Antiga e pelos romanos, entre outros povos, a natação, embora popular, demorou muito para se transformar em uma competição organizada, tendo seus estilos se desenvolvido de diferentes formas ao longo da história. (Figura 3.7)

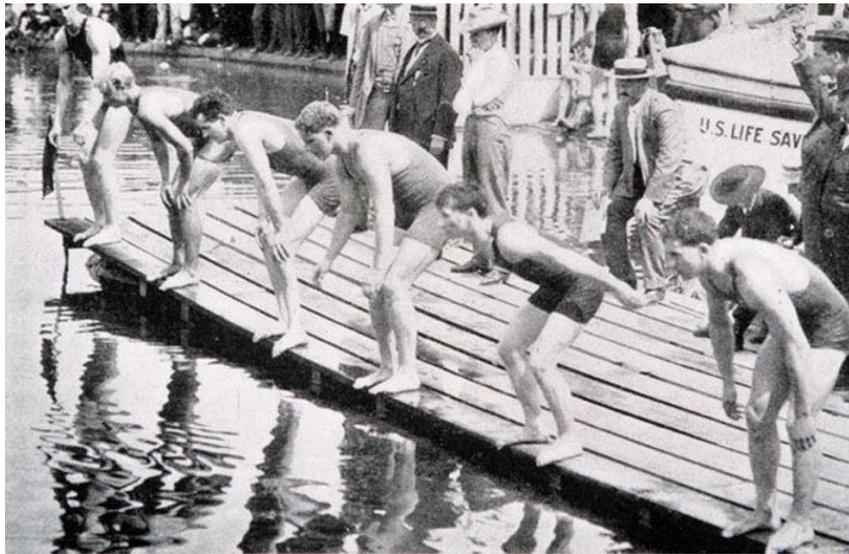


Figura 3.7: História da Natação FONTE: O Vigilante, 2020

Se a prática da natação é milenar, o hábito de competir em piscinas é recente. As piscinas exclusivas para competições de natação só passaram a ser utilizadas entre os anos de 1930 e 1940. Coube à FINA determinar as medidas oficiais das piscinas de competição.

O sistema de partida na natação, também é definido pelas entidades responsáveis e varia de modalidade pra modalidade, mas em geral, pode-se definir da seguinte forma: ao apito longo do árbitro geral, os competidores devem subir no bloco de partida, em seguida, ao comando do juiz de partida aos seus lugares, eles devem imediatamente tomar posição de partida com pelo menos um dos pés na parte dianteira do bloco de partida. A posição das mãos não é relevante. Quando todos os competidores estiverem imóveis, o Árbitro de Partida deve dar o sinal de partida. Logo, para aferição da partida ilegal neste modalidade, deve-se avaliar se no momento em que o estímulo sonoro é realizado, o competidor ainda se encontra na posição de partida.

Em ambos, esportes, a falsa largada é sinalizada quando o atleta se movimenta antes dos 100 milissegundos que seguem o estímulo sonoro, sendo que o instante de tempo comparado com disparo, provém da captação do momento em que a resultante das componentes exercidas no apoio começa a aumentar. Essa medida, baseia-se na consideração, de que é impossível que o sistema motor humano responda ao estímulo sonoro em tão pouco tempo.

Tanto na natação quanto no atletismo, o tempo de reação é uma variável que permite quantificar uma característica importante para o rendimento do atleta. O qual pode ser dito como o estímulo que chega ao sistema sensorial antes do início da resposta motora (LIMA, 2004), e essa característica está diretamente ligada à qualidade da percepção do atleta.

Segundo SCHMIDT; WRISBERG (2001), o tempo de reação (TR) é pode ser resumido

em três tipos: simples, composto e de discriminação, sendo que os dois primeiros se diferem pela quantidade de estímulos, o último deles pela necessidade de optar por um deles. Sendo que quanto mais complexo o TR, maior o mesmo tende a ser aferido.

Nota-se que a maioria dos esportes requerem um tempo de reação mais rápido que o normal, por outro lado, não é um aspecto trabalhado e monitorado como deveria. A medição do mesmo, pode ser feita de diferentes formas, passando desde a eletroencefalografia (EEG), até simples testes de avaliação motora. O tempo reacional é uma capacidade motora difícil de ser treinada, á medida que possui raízes genéticas, porém, com uso de treinamentos específicos, pode ser melhorado em cerca de 10 a 20% (FORTEZA, 2004).

3.3.2 Amplificação de Sinais

Amplificar um sinal, trata-se basicamente de aumentar a amplitude do mesmo, para determinado fim, normalmente utilizando dispositivos chamados amplificadores operacionais (AOPs). Os AOPs foram desenvolvidos na década de 40 e eram construídos com válvulas. Evidentemente as características dos primeiros AOPs eram bastante precárias. Com o advento do transistor, no final da década de 40, foi possível a construção de AOPs com características razoáveis (JÚNIOR, 2003). Porém, em 1963, surgiu o primeiro AOP em um circuito integrado lançado pela Fairchild. Apesar das particularidades que envolveram esse primeiro projeto, esse advento representou uma grande mudança na utilização de AOPs.

A popularidade desse dispositivo justifica-se principalmente pela sua versatilidade, sendo possível prototipar e projetar diversos sistemas com relativa simplicidade. Outro fato a ser considerado, é que os circuitos integrados utilizados atualmente, possuem desempenhos bem próximos do considerado ideal, o que faz com que não seja necessário avaliar algumas situações e desvios nas etapas de projeto do circuito em questão.

Nesse projeto, integrado à placa do módulo detector de som, é utilizado o amplificador de áudio LM386, o qual será descrito e melhor visualizado nas próximas seções.

3.3.3 Microcontrolador

Segundo SHIRIFF, um microcontrolador pode ser definido como um pequeno computador em um único Circuito Integrado (CI), o qual contém um núcleo de processamento, memória e periféricos programáveis. As ações realizadas por esse dispositivo, são programadas através de linhas de comando, muitas vezes através de ambientes repassados pelo próprio fabricante. A marca frequentemente utilizada em ações de prototipagem e experimentos acadêmicos é o Arduino, que dispõe de diversos modelos, os quais se adequam a cada tipo de aplicação.

Arduino UNO R3

Segundo o fabricante, o Arduino Uno é uma placa de prototipagem baseada no microcontrolador ATmega328P. Conforme mostrado na figura 3.8, é constituída por 14 pinos de entrada e saída digitais e 6 pinos de entrada analógica, uma conexão USB, a qual permite a comunicação entre o computador e a placa, permitindo gravar o software na memória do microcontrolador. A placa também possui um conector de fonte de energia e um botão de reset (VIDADESILÍCIO, 2017).



Figura 3.8: Arduino UNO R3 FONTE: Arduino Store, 2021

O Arduino disponibiliza um ambiente próprio de desenvolvimento integrado (IDE) para programação das placas microcontroladoras. Para tal, utiliza-se a linguagem que é um conjunto de comandos da linguagem C, C++ e alguns comandos específicos. O ambiente está disponível tanto para *desktop* quanto *online*, oferecendo a opção de compilar e gravar o algoritmo direto para a placa. Outra característica importante, é que a IDE fornece um monitor serial, normalmente utilizada para comunicação entre o computador e a placa utilizando a porta USB.

3.3.4 Sensores

Como descrito por AGUIRRE (2013), sensores são dispositivos capazes de detectar as variáveis físicas, tais como a temperatura, a intensidade luminosa ou movimento, possuindo a capacidade de fornecer uma saída mensurável que varia em relação à amplitude da variável física. Nesse estudo deseja-se captar duas dessas variáveis físicas, sendo elas, a pressão e o som. Dentre os diversos componentes capazes de realizar essa leitura,

destacam-se os componentes do módulo sensor de som, ou seja o microfone de eletreto, amplificador LM386 e o comparador.

Microfone de Eletreto

O microfone de eletreto (Figura 3.9), também chamado de microfone de condensador é um tipo de microfone que funciona com base na capacitância e eletrostática de materiais denominados eletretos. Segundo BRAGA (2016), estes elementos apresentam cargas elétricas permanentes, as quais se alteram à medida que as ondas sonoras provocam deformações mecânicas. Dessa forma, anexando um diafragma à estrutura do componente, a tensão resultante na mesma, será proporcional ao efeito sonoro incidente. Para que o eletreto seja utilizado como transdutor de um microfone, deve-se alimentar o circuito utilizando um circuito amplificador, pois, a corrente induzida produzida pelo eletreto é de baixa intensidade.



Figura 3.9: Microfone de Eletreto FONTE: Baú da Eletrônica, 2021

Entre as principais vantagens na utilização desse componente, está o seu baixo custo, fidelidade na captação, versatilidade e baixa tensão de funcionamento, tornando-se atrativo em aplicações modernas e protótipos de novos dispositivos. Mesmo que exista a necessidade de ser polarizado externamente por um circuito, a aplicabilidade desse recurso não carece de um circuito complexo.

Amplificador de áudio LM386

O circuito integrado LM386 é considerado um componente popular no mercado e se caracteriza pelo baixo custo e pela grande utilidade. O mesmo se mostra absolutamente

simples em sua utilização e detém uma excelente qualidade de amplificação, desde que o circuito deve ser devidamente montado de acordo com o escopo de cada projeto.

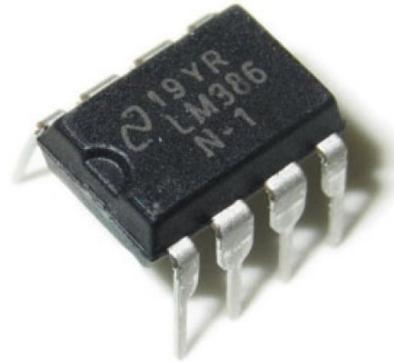


Figura 3.10: Amplificador - LM386 Fonte: Eletrogate

Esse circuito é considerado um amplificador projetado para uso em aplicações de baixo consumo e baixa tensão. Sua configuração de amplificador é de Classe AB, ele consiste em um circuito integrado de 8 pinos duplo em linha. O ganho é fixado internamente em 20 vezes por razões técnicas, mas a adição de uma resistência externa ou um capacitor entre os pinos 1 e 8 irá aumentar o ganho de saída em até 200 vezes. A corrente de repouso é bem baixa, consumindo menos de 30mW com alimentação de 5 V, o que o torna ideal para prototipagens e circuitos de menor porte (TEXASINSTRUMENTS, 2022).

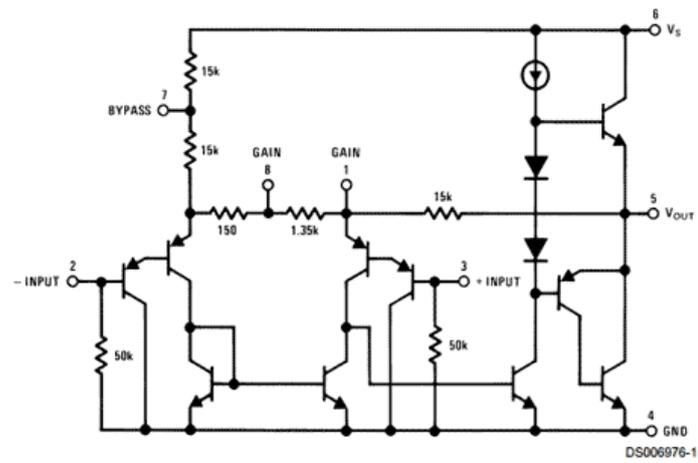


Figura 3.11: Circuito Amplificador - LM386 Fonte: Eletrogate

Desenvolvimento

Neste capítulo são apresentadas as etapas desenvolvidas para alcançar os objetivos propostos, as quais foram guiadas por um estudo de viabilidade econômica que levou em consideração as especificações, o investimento realizado atualmente em competições de alto nível, e quais os principais aspectos priorizados nesses dispositivos. Tal pesquisa baseia-se na imprescindibilidade de saber quais dados o sistema deve fornecer ao árbitro oficial ou treinador, quais as limitações esses sistemas possuem e que podem vir a ser sanadas.

4.1 Projeto

4.1.1 Projeto Comportamental

O objeto de estudo que guiará o projeto do sistema será a detecção do tempo de reação do atleta. Para tal, observou-se a partir dos regulamentos detalhados na seção anterior, que a principal demanda em comum entre as duas modalidades (atletismo e natação) é que a resposta final do processo demonstre a medida de tempo em que o usuário respondeu após o estímulo sonoro.

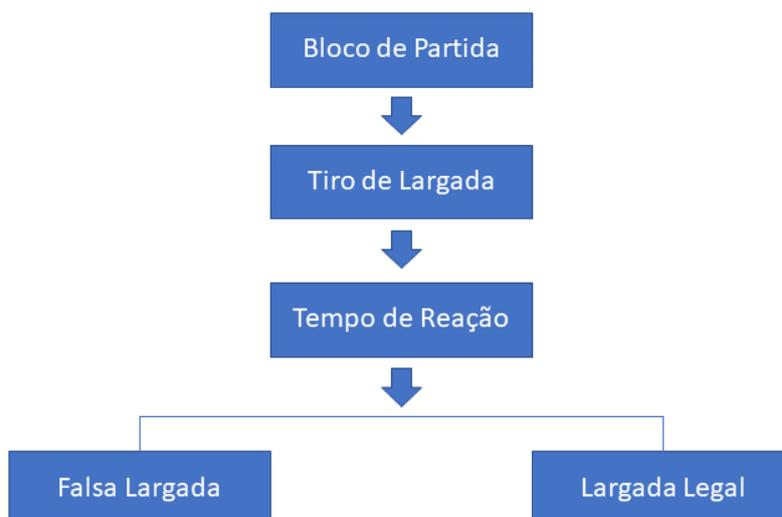


Figura 4.1: Diagrama de Funcionamento do Sistema Fonte: Própria

Ainda em relação às regras oficiais das modalidades, uma importante especificação de projeto é que o dispositivo considere a margem de 100 milissegundos como período mínimo de TR do praticante. Essa determinação considera que um TR abaixo dessa faixa, constitui falsa largada, devido ao fato de representar o tempo médio para que o impulso nervoso seja transmitido do sistema nervoso central aos terminais nervosos responsáveis pela contração muscular. Para aferição do instante da largada, será considerado o momento em que o atleta que perde o contato com o bloco de partida no pé posterior.

Segundo HELMAN (1995), a metodologia de análise de falhas, conhecida como FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) é uma importante técnica usada para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo. Com a utilização dessa técnica, reduz-se satisfatoriamente a probabilidade de um determinado item ou processo vir a falhar aumentando a disponibilidade operacional de um sistema como todo.

Nessa leitura, considerou-se a desistência, como o caso de um atleta que não larga ao sinal, a leitura incorreta, é tida como a detecção incorreta do TR executado, já o retardo no processamento, pode ser entendida como uma demasiada demora em apontar o resultado do final da largada. Por fim, o reajuste na posição resume quaisquer mudança na posição do pé no bloco de partida.

A utilização da técnica citada e descrita na Tabela 4.1, possibilitou que algumas falhas potenciais fossem identificadas e mapeadas para um melhor funcionamento do sistema. Dentre elas, destaca-se o retardo no processamento do sinal, que por representar o maior risco de acordo com essa metodologia, entende-se que a escolha dos componentes e do microprocessador, devem reduzir ao máximo o tempo de processamento, sendo esse o

ponto de atenção principal para continuidade do projeto. Outra falha potencial revelada nesse estudo, foi a leitura incorreta do equipamento, dessa forma, prioriza-se a realização de inúmeros testes e definição de uma margem confiável de incerteza de medição.

Falha	G	O	D	RPN
Desistência	8	3	2	48
Leitura incorreta	8	4	2	64
Retardo no processamento	7	5	3	105
Reajuste na posição	2	8	2	32

Tabela 4.1: Aplicação da metodologia FMEA

Em que:

- Gravidade do problema (G): em que 1 é muito baixa e 10 é muito alta;
- Probabilidade de ocorrência (O): em que 1 é nunca e 10 é sempre;
- Probabilidade de detecção da falha (D): em que 10 é nunca e 1 é sempre;
- RPN Valor Prioritário (Risk Priority Number)

4.1.2 Projeto Lógico

A lógica definida para o funcionamento do sistema consiste basicamente no processo mostrado na Figura 4.2. Tem-se como entradas do sistema, o estímulo sonoro proveniente do tiro de largada e a pressão exercida pelo atleta no apoio do bloco de partida. A captação desses sinais serão feitos, respectivamente, pelo sensor de toque e pelo microfone, ambos situados na estrutura do equipamento. O microprocessador responsável por receber ambos sinais, processa essa informação e à partir da comparação entre os períodos de tempo detectados pelos sensores, retorna à informação ao usuário através de um alto falante, no caso de se tratar de falsa largada.

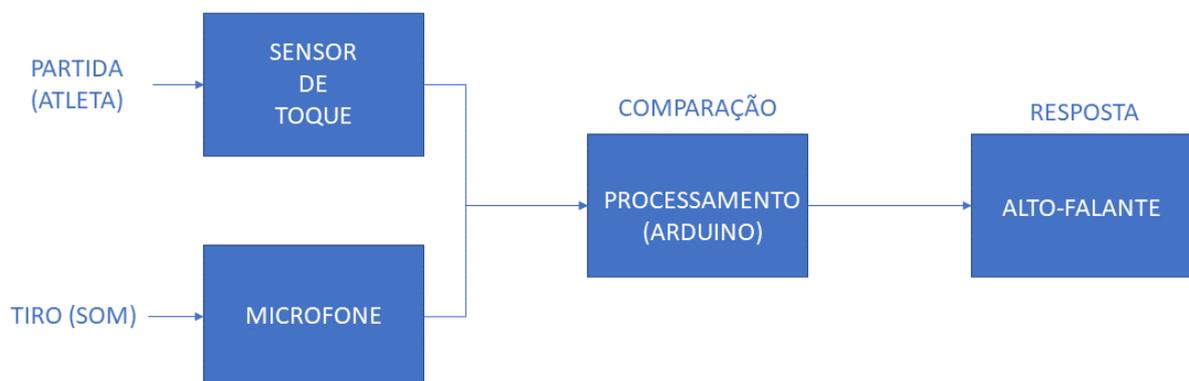


Figura 4.2: Diagrama de blocos do sistema Fonte: Própria

Em se tratando dos níveis lógicos que serão analisados, a Figura 4.3 descreve utilizando a máquina de estados finitos do sistema, qual será a situação dos componentes durante os instantes analisados. Inicialmente, o equipamento se encontra em *stand by*, ou seja, inativo, e à partir do acionamento do mesmo, estará acionado, ou seja, em nível lógico 1, tanto o microfone, quanto o sensor de força. Em seguida, o tiro é disparado, fazendo com que o microfone capte o estímulo, disparando o temporizador, à partir disso, o atleta se movimenta, e ao perder o contato com o apoio, o sensor também altera seu estado. Por fim, o microprocessador compara o momento em que essas condições foram alteradas, possibilitando assim que os alto falantes sejam ativados em caso de falsa largada.

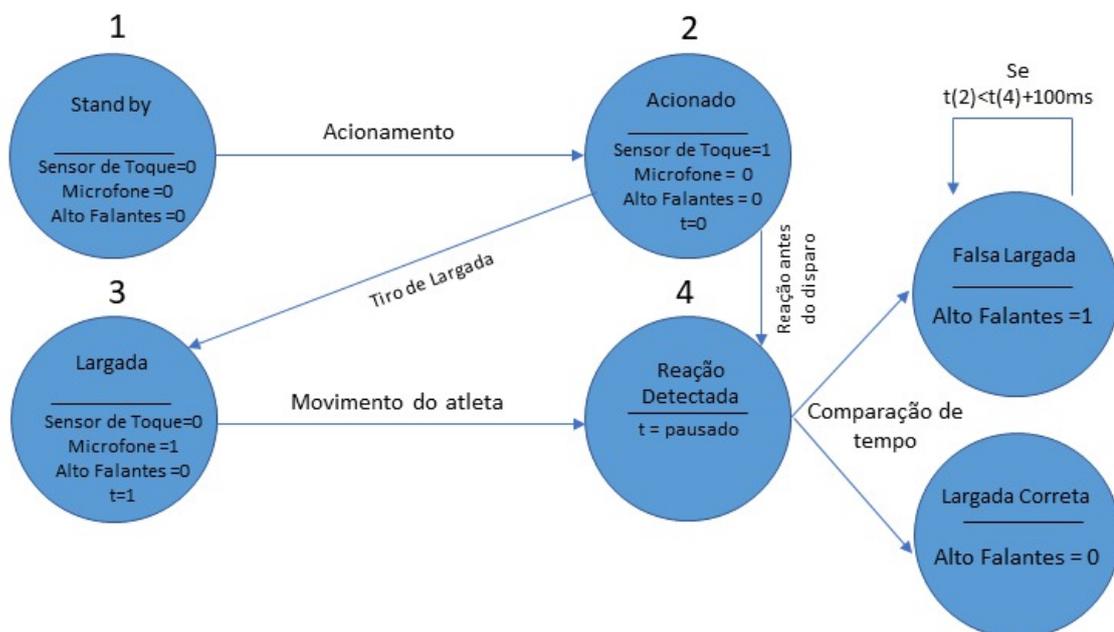


Figura 4.3: Máquina de Estados Finitos do funcionamento dos sistema Fonte: Própria

4.2 Materiais e Métodos

Nos tópicos a seguir estão representados os materiais e métodos escolhidos para o melhor funcionamento do dispositivo em questão.

4.2.1 Microcontrolador

A primeira escolha em relação do projeto físico se deu em relação ao controlador. Dentre os aspectos analisados, o Arduino UNO R3 se destacou principalmente devido ao seu baixo custo, facilidade de programação e a quantidade de estudos a seu respeito que são de domínio público, pois dessa forma, fomenta-se o intercâmbio de informações e experiências sobre esse tipo de projeto (ELETROGATE, 2020).

A aquisição de sinais será feita utilizando as entradas digitais do próprio microcontrolador (Figura 4.4). No Arduino UNO, as mesmas se localizam do pino D0 até o pino D12. A placa utilizada, possui um conversor analógico-digital 10 bits de 6 canais.



Figura 4.4: Entradas Digitais Fonte: Embarcados

Outro fator preponderante, se deve ao fato de possuir um *clock* de 16MHz, o que neste caso, devido ao fato das especificações dos sensores estarem de acordo com as características do conversor analógico-digital do próprio Arduino, garante que apesar da inclusão de processos no algoritmo, a mínima amostragem necessária para atender às demandas.

Alimentação

De acordo com o site do fabricante, a alimentação do Arduino UNO pode ser feito tanto pela conexão USB ou por uma fonte externa. Utilizando a alimentação externa, a mesma é feita através do conector *Jack*, em que o valor de tensão indicado limita-se entre 6V a 20V, porém se alimentada com uma tensões abaixo de 7V ou acima de 12V, o *hardware* pode apresentar instabilidade ou sobreaquecimento, danificando a placa (EMBARCADOS, 2013).

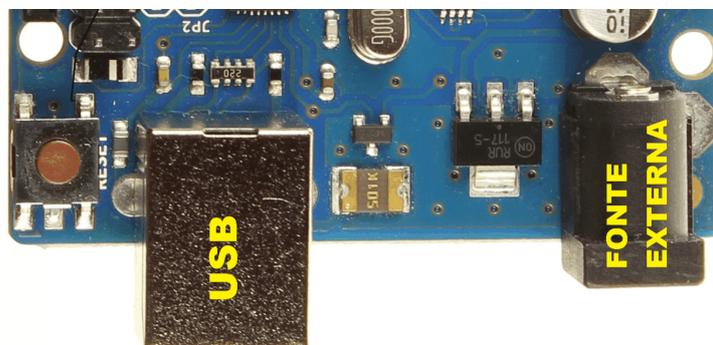


Figura 4.5: Fontes de Alimentação Fonte: Embarcados

Caso seja feita a opção pela conexão USB, a placa é alimentada diretamente pela USB. Nessa situação, o circuito apresenta alguns componentes que protegem entrada do computador.

Timer

Um timer pode ser definido como um contador que é incrementado de acordo com um período de tempo definido pelo usuário. Os timers funcionam basicamente como um temporizador que além de contar o tempo, pode mensurar a duração de determinados eventos com um certo nível de precisão.

O *Atmega328*, utilizado na placa Arduino UNO, possui 3 timers, sendo dois de 8 bits (TIMER0 e TIMER2) e um de 16 bits (TIMER1). Cada temporizador possui características próprias e são utilizados conforme os recursos disponíveis. A biblioteca do Arduino abstrai o uso destes temporizadores em muitas de suas funções (FILIFEFLOP, 2019).

Uma dessas funções é, a função "Micros()", utilizada no desenvolvimento desse estudo, a mesma retorna o número de microssegundos passados desde que a placa Arduino começou a executar o programa atual. Esse número irá sofrer overflow (chegar ao maior número possível e então voltar pra zero), após aproximadamente 70 minutos. No Arduino UNO, a função retorna valores com resolução de quatro microssegundos.

Interrupção Externa

As interrupções são realizadas em nível físico, quando temos um evento externo, seja o acionamento de um botão ou outros tipos de sensores, envia-se um sinal para o *Arduino* e este processamento será executado imediatamente, interrompendo o que quer que a CPU esteja realizando no momento.

Quando utilizamos interrupções, criamos funções adicionais, tecnicamente chamada de ISR (Interrupt Service Routine ou Rotina de Serviço de Interrupção). Esta função é chamada ao momento que a interrupção é acionada (BANZI, 2011).

A função "attachInterrupt()" permite usar interrupções em pinos digitais e através das escolhas dos seus parâmetros, configurar a operação desejada. De acordo com a própria biblioteca da função, a sintaxe recomendada para utilização da mesma é "attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pino), ISR, modo)", em que o primeiro parâmetro define o vetor de interrupção, o segundo define qual a ISR da operação, já o terceiro e último define quais os modos de disparo da função. Podendo ser:

- Change: Mudança no estado do pino;
- Falling: Mudança no estado HIGH para LOW;
- High: Estado do pino no nível HIGH;
- Low: Estado do pino no nível LOW;
- Rising: Mudança no estado LOW para HIGH.

4.2.2 Sensores

Módulo Detector de Som - *KY-037*

Por se tratar de um sistema compacto, a proposta desse projeto, optou pela utilização de componentes pequenos e que sejam fáceis de alocar em espaços menores. Nesse cenário, a utilização do microfone de eletreto (Figura 4.6) se mostrou satisfatória, por atender tanto à essa demanda, quanto ao limite de custo, mas ainda sim, atendendo às especificações de projeto necessárias para a operação do equipamento (JOYIT, 2022).



Figura 4.6: Modelo de microfone escolhido Fonte: Eletrogate

O microfone de eletreto é um componente de extrema sensibilidade e comumente indicado para uma gama variada de projetos, além de possuir uma baixa tensão de funcionamento, necessária somente para o seu transistor interno.

Visando simplificar a construção do sistema e otimizar o tempo de processamento, optou-se por utilizar o módulo sensor de som, que possui em sua estrutura, o microfone de eletreto descrito anteriormente, a estrutura do mesmo favorece a dinâmica de medição e prevalece o baixo custo de construção.

O módulo tem como função, medir a intensidade sonora do ambiente, variando o estado de sua saída digital caso detectado um sinal sonoro. A sensibilidade da detecção é regulada utilizando o potenciômetro presente no sensor, que conseqüentemente ajustará a saída digital *D0*. Pode-se também, visando uma melhor resolução no resultado, utilizar a saída analógica *A0* e conectar a um conversor analógico-digital, já presente no Arduino.

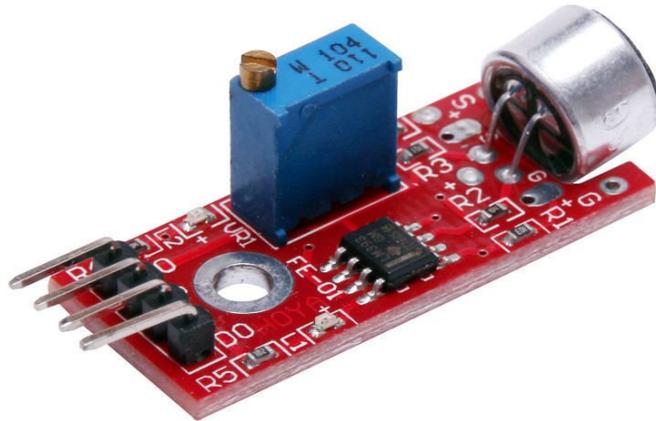


Figura 4.7: Módulo Detector de Som Fonte: Eletrogate

O sensor tem 3 componentes principais em sua placa de circuito. Inicialmente, a unidade do sensor na frente do placa mede a área fisicamente e envia um sinal analógico para a segunda unidade, que é um amplificador embutido, tido por um circuito integrado (LM386).

Como o microfone de eletreto por si só não seria capaz de enviar os dados para o Arduino, o CI amplifica o sinal, de acordo com o valor regulado no potenciômetro, e em seguida replica o mesmo para a saída analógica do módulo. Por fim, o terceiro componente é um comparador que comuta a saída digital e o diante de um valor específico.

Display ST7735

Devido à disponibilidade desse modelo de display, optou-se por utilizar uma tela TFT ST7735 de 1,8 polegadas (Figura 4.8) com resolução de 128x160 pixels e que pode exibir uma ampla gama de cores (MSSELETRÔNICA, 2021). O monitor usa o protocolo SPI para comunicação e possui seu próprio buffer de quadro endereçável por pixel, o que significa que pode ser usado com todos os tipos de microcontroladores e você precisa apenas de 4 pinos de entrada e saída.

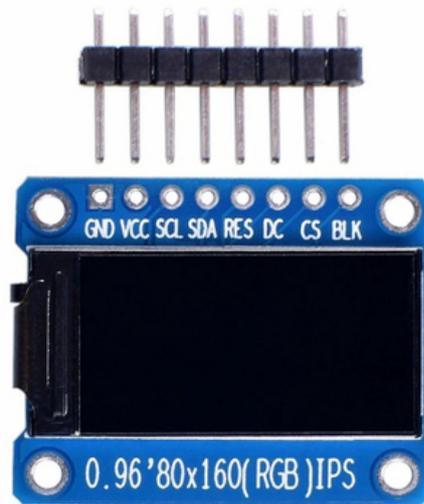


Figura 4.8: Tela ST7735 1,8"Fonte: Simple Circuit

Buzzer

Para sinalização de situações que configuram a largada irregular, utilizou-se um buzzer ativo de 5V (Figura 4.9). Trata-se de um componente eletrônico que baseia seu funcionamento no efeito piezoelétrico reverso. Á partir de uma diferença de potencial aplicada, é gerada uma deformação mecânica variável, produzindo assim uma onda sonora.



Figura 4.9: Buzzer 5V Fonte: Vida de Silício

4.2.3 Softwares

Para o desenvolvimento do trabalho, alguns serão utilizados. Sendo eles:

Arduino IDE

Para programação do microcontrolador, optou-se pela utilização da plataforma Arduino IDE, uma das grandes vantagens da plataforma é o seu ambiente de desenvolvimento, que usa uma linguagem baseada no C/C++, linguagem simples e didática, facilitando assim, possíveis ajustes e reutilização de terceiros futuramente.

Simulink

A validação de algumas etapas do sistema, serão feitas através do *Simulink*, desenvolvido pela *MathWorks*, é uma ferramenta para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos. Sua interface permite a personalização de diagrama de blocos representativos do projeto, e à partir de sua programação, possibilita o processamento e análise dos sinais provenientes do equipamento.

Thinkercad

Para confecção de um projeto mecânico que trata basicamente da disposição dos componentes num modelo 3D de bloco de partida, utilizou-se o *Thinkercad*, principalmente

devido a facilidade de utilização da biblioteca de componentes eletrônicos presentes no *software*.

Microsoft Excel

Como opção de visualização dos resultados finais de cada corrida, utilizou-se o *software Microsoft Excel* através de uma biblioteca própria do *Arduino* que disponibiliza os resultados mostrados na interface em formato de planilha.

4.3 Testes Parciais

4.3.1 Teste de Distância e Ambiente

Com o intuito de confirmar os estudos realizados em relação aos componentes definidos na etapa anterior, foram realizados testes parciais para validar o funcionamento dos mesmos e simular diferentes condições de operação. O mesmo foi realizado utilizando apenas o sensor de detecção de som conforme a Figura 4.10.

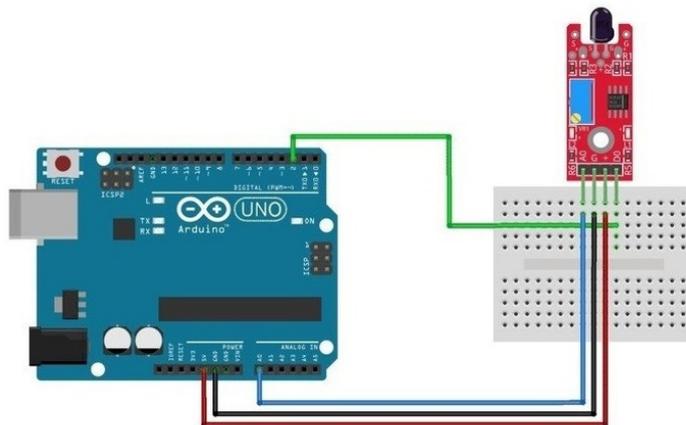


Figura 4.10: Teste de Distância e Ambiente Fonte: Própria

Utilizando um estímulo sonoro representando o tiro de largada conforme mostrado nas Figuras 4.11 e 4.12, em que respectivamente representam o estímulo claro e ruidoso, foram determinadas empiricamente situações e distâncias que representam condições reais de utilização do equipamento. A primeira delas representa a utilização de um som representando um disparo, sem quaisquer influência do ambiente externo, estando sua amplitude, praticamente isolada de interferências. Já a segunda, traz a representação da mesma entrada relatada anteriormente, porém, exposta à ruídos ambientes, captados em espaço aberto, representados pelos sinais de baixa amplitude ao longo do espectro.

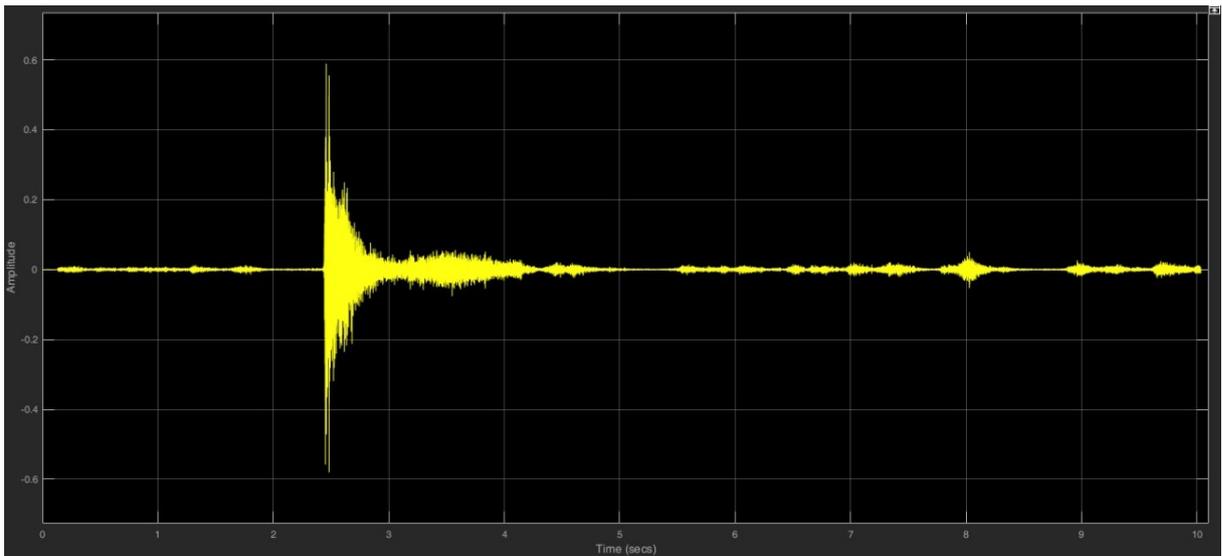


Figura 4.11: Amplitude do estímulo claro Fonte: Própria

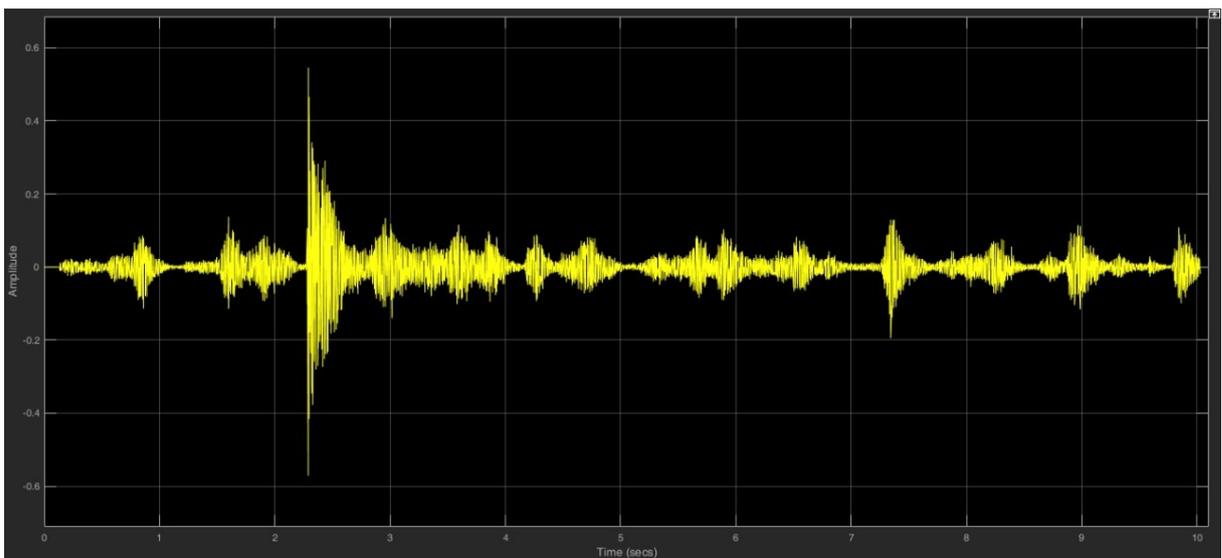


Figura 4.12: Amplitude do estímulo ruidoso Fonte: Própria

Como pressupostos utilizados para realização dos testes, partiu-se para a regulação do potenciômetro de maneira a identificar a comutação do sensor em 30cm, 100cm e 200cm, diante da assertiva, seguiu-se para verificação da detecção do mesmo sinal, porém acrescentando um ruído na fonte sonora. Assim, foi validada a instrumentação para os fins desse teste.

Posição	Ruído	Nível Lógico da Saída
30cm	Sem	1
100cm	Sem	1
200cm	Sem	1
30cm	Com	1
100cm	Com	1
200cm	Com	1

Tabela 4.2: Teste de Distância e Ambiente

Parâmetros Finais do Sistema

Diante da necessidade de aprofundar a análise do TR além da decisão binária, optou-se por classificar o desempenho em quatro resultados, conforme mostrado na Tabela 4.3

Status	Tempo
Largada Falsa (>1000ms)	>1000ms
Largada Falsa	1000ms>t>0ms
Larga Falsa (Sobre-humana)	0<t<100ms
Largada Legal	t>100ms

Tabela 4.3: Status da Saída

4.3.2 Teste do Algoritmo

Dimensionamento do Tempo

Utilizando os conceitos de interrupção externa e a função *Micros()* citados na seção anterior desse estudo, desenvolveu-se o algoritmo voltado a mensurar o tempo de reação do usuário. Como dito anteriormente, a função *Micros()* retorna o tempo em microssegundos desde o momento em que a placa executa o programa e caso não seja interrompida, a contagem reinicia após 70 minutos. Nesse caso, *a priori*, a função é interrompida em nível físico, no momento em que o pino conectado ao módulo detector de som identifica a mudança no estado de *LOW* para *HIGH*.

Paralelamente, utilizando a mesma função, a mesma sofre a interrupção no momento em que o botão é desapertado, como o mesmo encontra-se no estado normalmente fechado, logo, em nível lógico alto, a contagem é pausada ocorre quando é identificada no pino a mudança no estado de *HIGH* para *LOW*. A sintaxe utilizada nessa lógica da interrupção externa é mostrado na Figura 4.13.

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), microfone, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), button, FALLING);
```

Figura 4.13: Interrupção Externa Fonte: Própria

Em posse dos valores identificados na etapa anterior, o intervalo tido como objeto desse estudo é dado pela diferença entre os dois períodos definidos pela contagem do próprio timer, obtendo portanto, o tempo decorrido entre o estímulo e a ação, conceito o qual especifica o tempo de reação.

Atribuição de Status

Utilizando a categorização descrita na Tabela 4.3, foram realizados ajustes no algoritmo em desenvolvimento, de maneira a atribuir a devida análise aos períodos de tempo mensurados. Portanto, utilizando ferramentas básicas de comparação da linguagem C++, foi possível externar em qual status o devido TR está inserido.

Display

Em seguida, partindo das informações relevantes ao usuário que até então estavam sendo mostradas apenas no próprio ambiente do *Arduino IDE*, avançou-se para exibição das mesmas no display ST7735 detalhado na seção anterior.

A fim de otimizar a experiência do usuário, foram inseridos informações de transição entre uma utilização e outra, sendo apresentado durante 5 segundos a tela de "Aguarde..." e em seguida "Pronto", conforme mostrado na Figura 4.14.



Figura 4.14: Tela de Transição Fonte: Própria

Por fim, foram atribuídas diferentes cores de tela para classificar de forma primária a largada entre "Legal" e "Illegal", respectivamente azul e vermelho. Assim como as preferências relatadas nesta etapa do projeto, o tempo de espera entre uma tentativa e outra

pode ser redefinido de forma intuitiva na primeira parte do algoritmo através da variável *ResetTimer*.

Interface Alternativa

Visando fornecer outra opção de visualização dos dados extraídos do sistema, realizou-se a implementação de uma biblioteca que realiza a integração entre *Arduino* e *Microsoft Excel*. Essa interface recebe os valores atribuídos ao TR e os status correspondentes, e à partir disso retorna informações relevantes para o usuário, como: melhor TR, média, quantidade repetições de determinado status.

4.3.3 Modelo de Protótipo

Utilizando o software *ThinkerCAD* foi realizado uma distribuição dos componentes do protótipo no modelo de bloco padrão. As Figuras 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18 representam uma sugestão de implementação, pois assim como previa a premissa deste projeto, o modelo é completamente adaptável a outros tipos de plataforma, a depender das particularidades do uso, variando apenas o comprimento dos condutores, já que todas as conexões são feitas diretamente na placa.

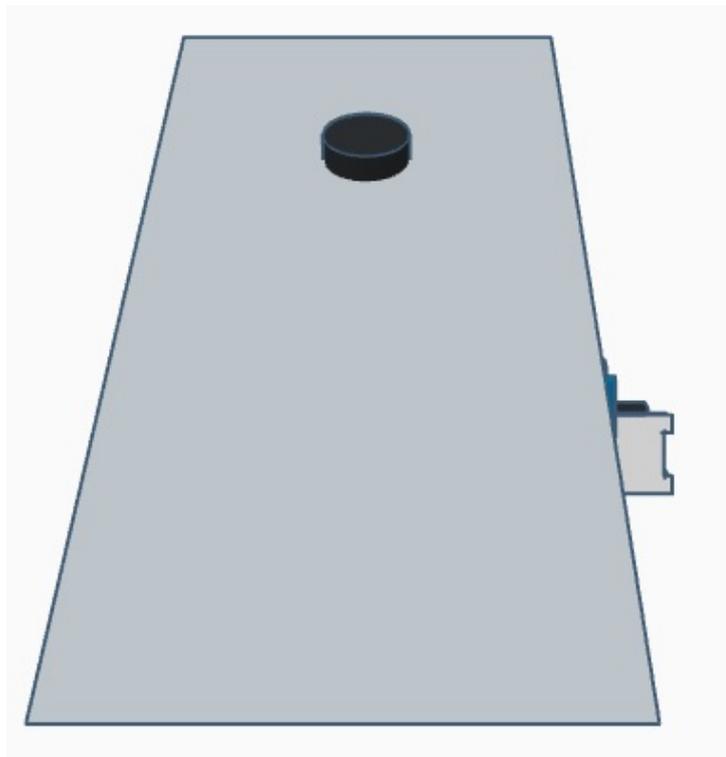


Figura 4.15: Vista Frontal Fonte: Própria

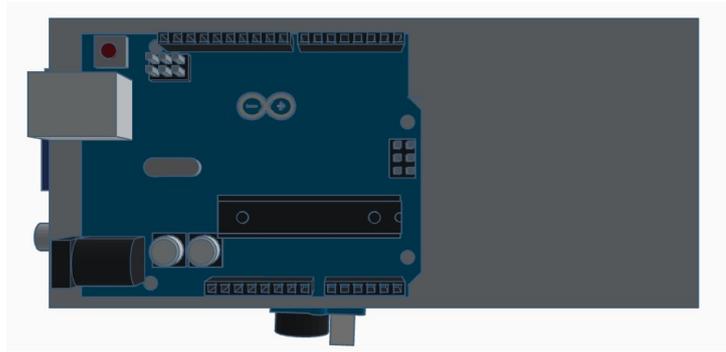


Figura 4.16: Vista Inferior Fonte: Própria

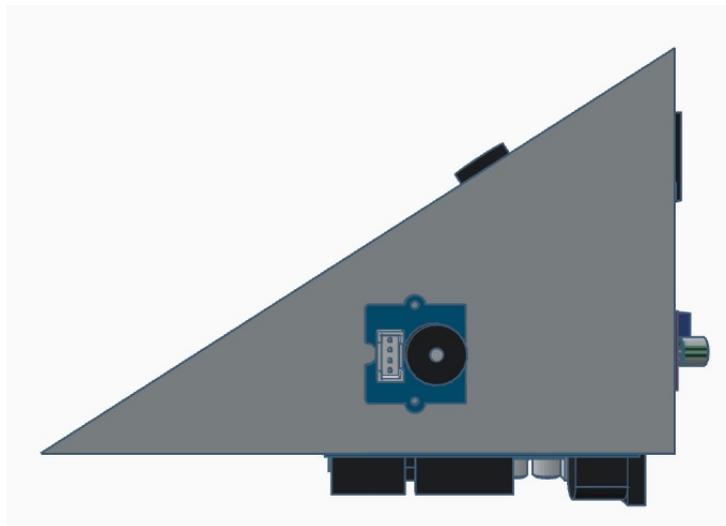


Figura 4.17: Vista Lateral Fonte: Própria



Figura 4.18: Vista Traseira Fonte: Própria

4.3.4 Orçamento

A Tabela 4.4 apresenta a estimativa de custos para a elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Item	Custo
Arduino UNO R3	Próprio
Módulo Detector de Som (2)	R\$24,00
Tela ST7735	Próprio
Buzzer	R\$12,90
Cabos	Próprio
Total	R\$36,90

Tabela 4.4: Orçamento do Projeto

Os recursos utilizados serão de responsabilidade do próprio autor.

Resultados e Discussões

Ao longo deste trabalho foi realizado um estudo aprofundado em várias camadas de conhecimento, passando desde os aspectos e tecnologias presentes no esporte, até temáticas ditas propriamente no ambiente da engenharia mecatrônica. A primeira parte dos objetivos específicos desse estudo estão dispostas no capítulo 4 - Desenvolvimento, logo esta seção tratará principalmente dos resultados finais do sistema como um todo.

5.1 Funcionamento do Sistema

Consolidando os testes parciais e a escolha de componentes detalhada neste estudo, estabeleceu-se uma nova representação da máquina de estados finitos do sistema final, conforme mostrado na Figura 5.1. Os primeiros status seguem conforme a mesma estrutura descrita na subseção 4.1.2 Projeto Lógico, porém foram acrescentados os quatro status finais definidos posteriormente.

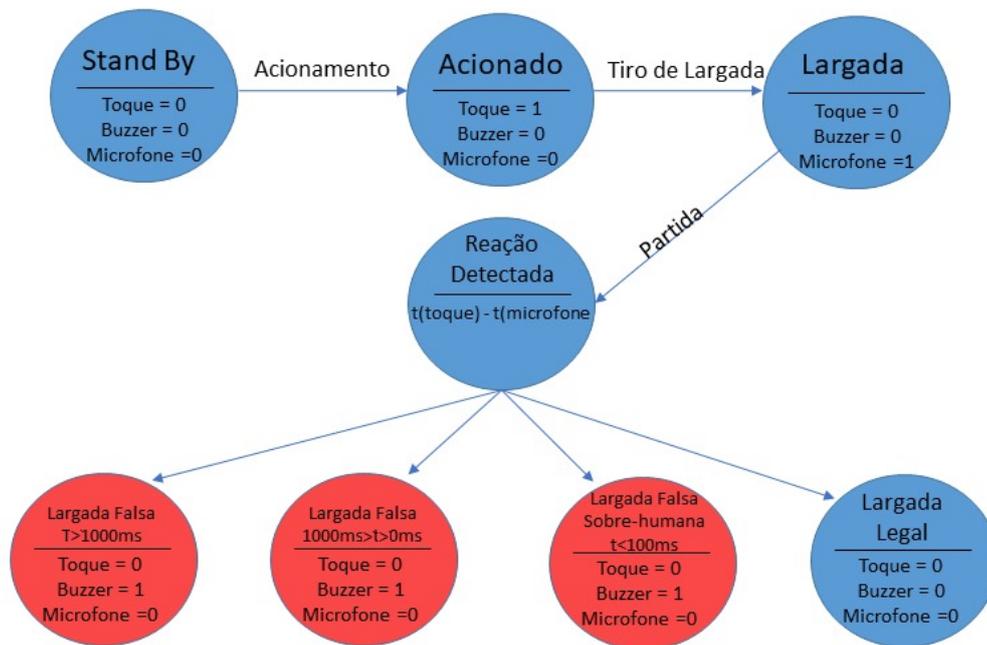


Figura 5.1: Máquina de estados finitos do sistema final : Própria

5.2 Verificação

A princípio, foi realizada uma rodada de testes finais visando validar o projeto e apresentar dados com evidências gráficas. Em posse do algoritmo final e o sistema microcontrolado mostrado na Figura 5.2, seguiu-se para a obtenção dos dados mostrados na Tabela 5.1.

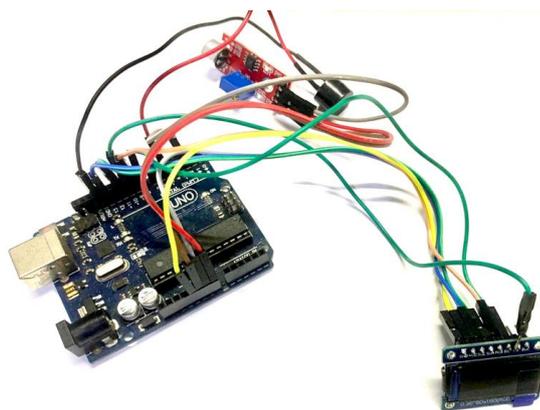


Figura 5.2: Montagem final do sistema utilizado : Própria

Teste	Resultado	Status
1	340ms	Largada Legal
2	125ms	Largada Legal
3	-345ms	Largada Falsa
4	>1000ms	Largada Falsa
5	56	Largada Falsa (Sobre-humana)
6	80	Largada Falsa (Sobre-humana)
7	105	Largada Legal
8	>1000	Largada Falsa
9	-700ms	Largada Falsa
10	>1000ms	Largada Falsa
11	>1000ms	Largada Falsa
12	16ms	Largada Falsa (Sobre-humana)
13	608ms	Largada Legal
14	-375ms	Largada Falsa
15	212ms	Largada Legal

Tabela 5.1: Teste Finais

Logo, foi realizada a aferição desses resultados utilizando um osciloscópio e comparando com os valores mostrados no display, os resultados para cada status são mostrados nas Figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10.

Os sinais representados nessas imagens, em amarelo e azul, representam respectivamente, o sinal do sensor de toque e do módulo detector de som, ou seja, quando o primeiro deles, sai do nível lógico 1 para o 0, representa a partida do atleta, já a mudança de nível lógico no espectro azul de 0 para 1, representa a captação do estímulo sonoro referente ao tiro de largada. Logo, o TR é dado pela diferença desses momentos no gráfico.

- Largada Falsa ($>1000\text{ms}$)



Figura 5.3: Largada Falsa ($>1000\text{ms}$) Fonte: Própria

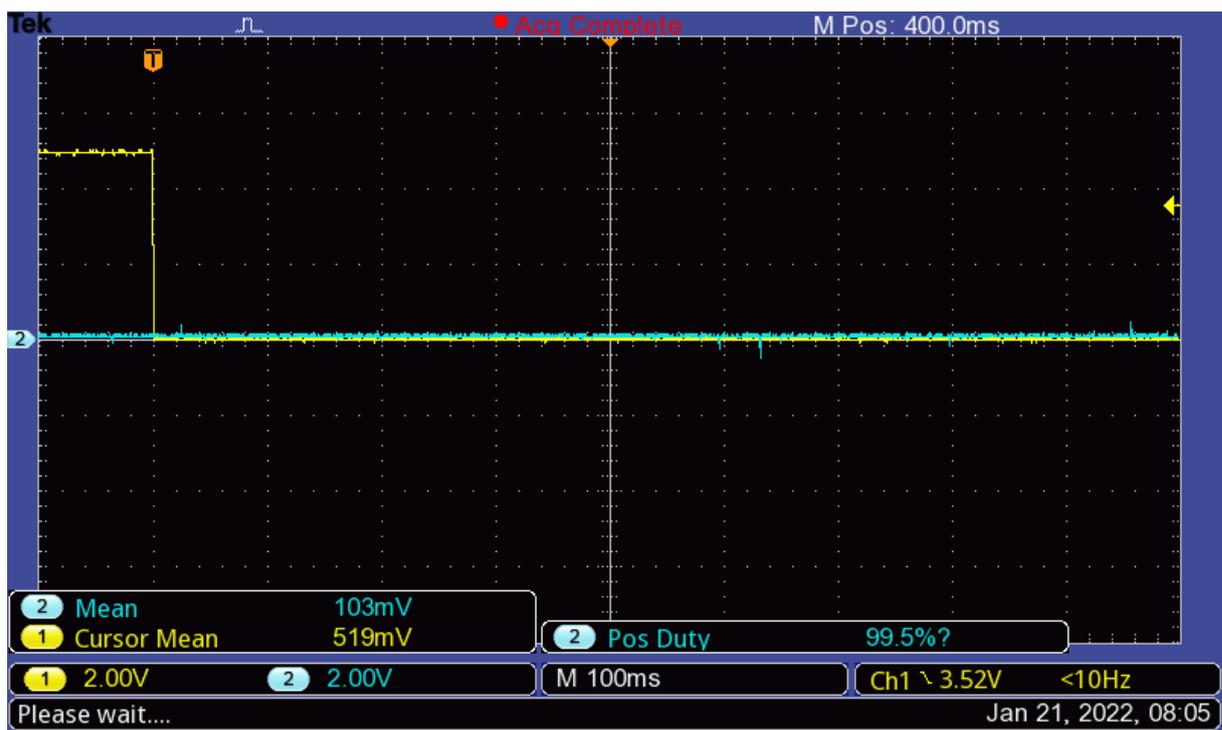


Figura 5.4: Largada Falsa ($>1000\text{ms}$) - Osciloscópio Fonte: Própria

- Largada Falsa - 325ms



Figura 5.5: Largada Falsa : Própria

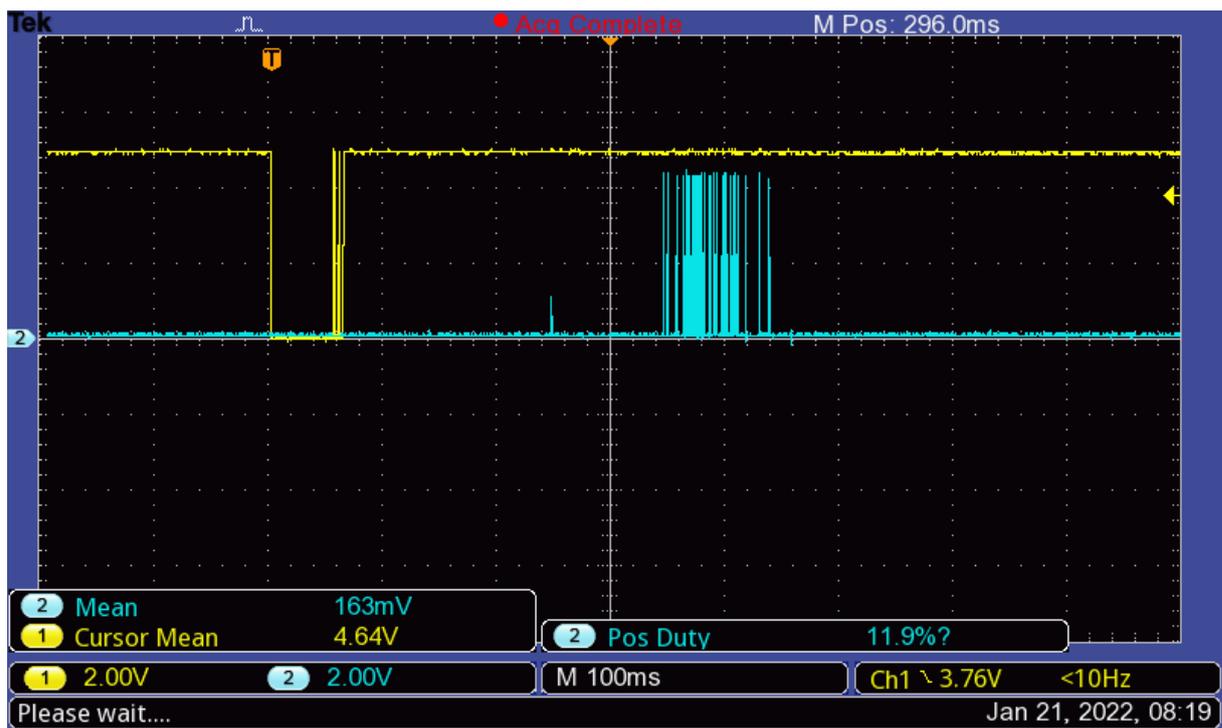


Figura 5.6: Largada Falsa - Osciloscópio Fonte: Própria

- Largada Falsa - Sobre-humana - 55ms



Figura 5.7: Largada Falsa - Sobre-humana: Própria

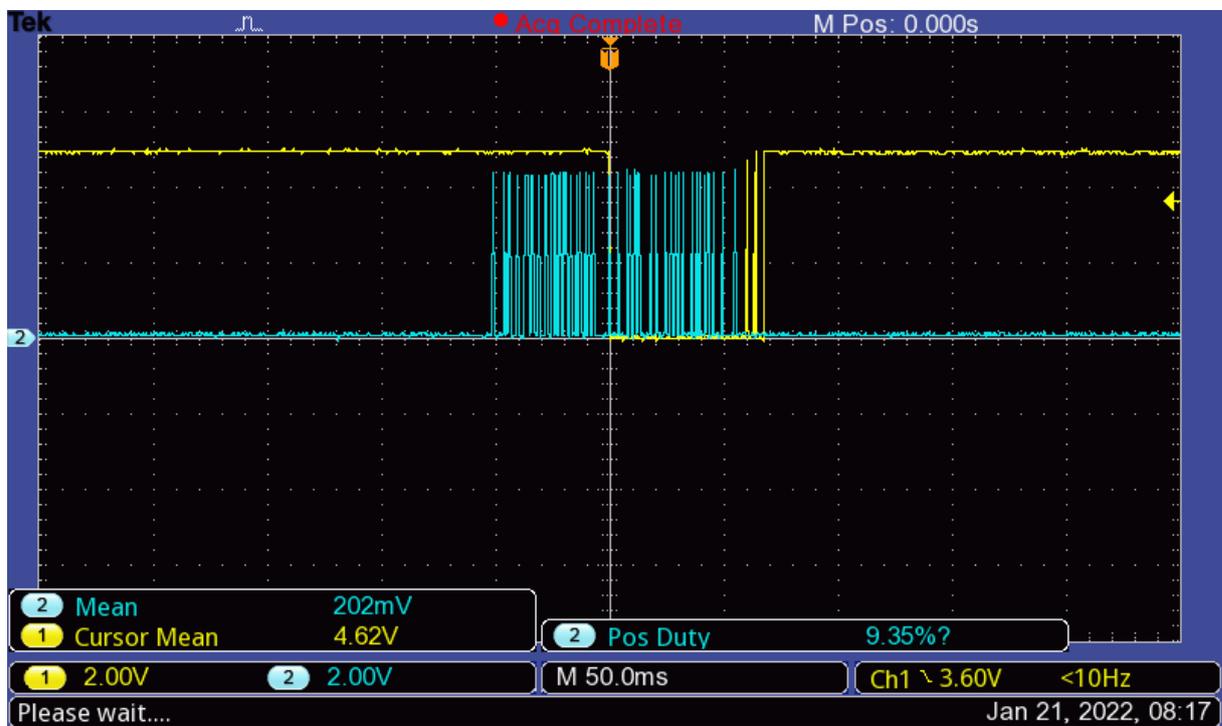


Figura 5.8: Largada Falsa - Sobrehumana - Osciloscópio Fonte: Própria

- Largada Legal - 605ms



Figura 5.9: Largada Legal Fonte: Própria

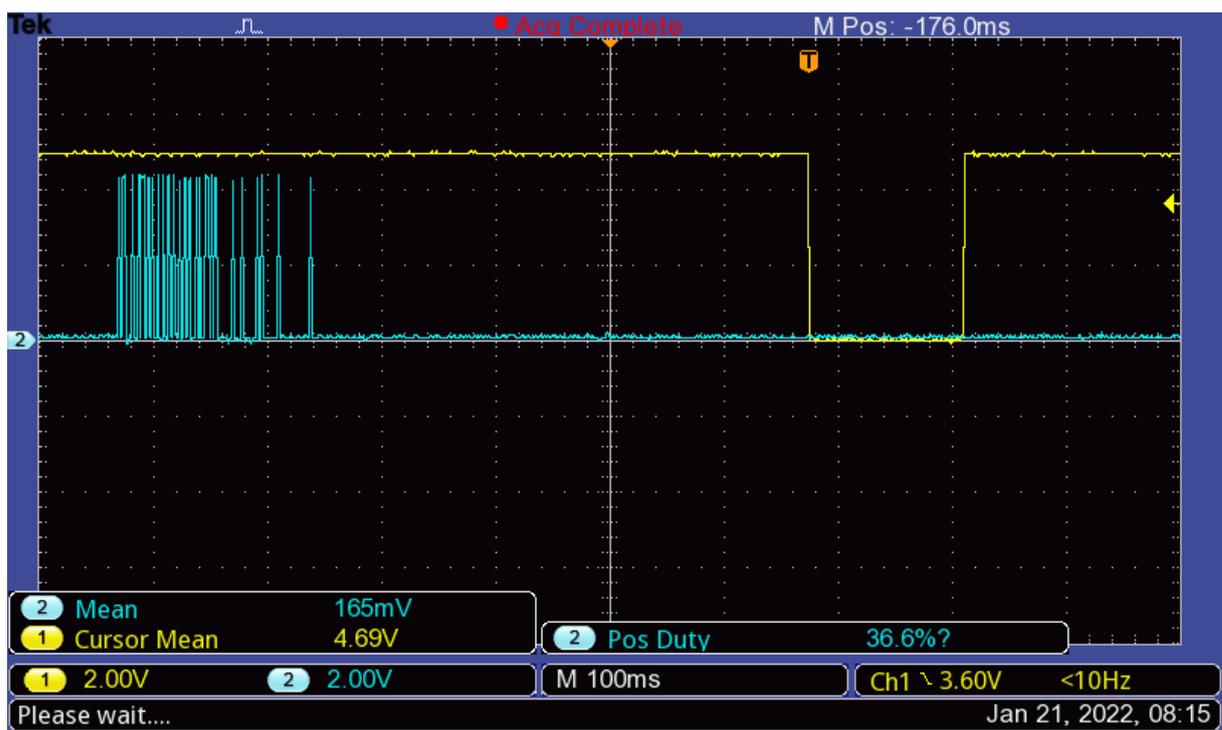


Figura 5.10: Largada Legal Fonte: Própria

De maneira a facilitar a interação de usuários com menor instrução de manuseio do equipamento, foi habilitada uma função utilizando o *Microsoft Excel*, fazendo com que os dados exibidos no display, fossem listados em uma planilha local, atualizando um *dashboard* em tempo real, de acordo com os testes executados. A disposição dos dados, assim como gráficos quantitativos e analíticos são mostrados na Figura 5.11.



Figura 5.11: Dashboard em tempo real Fonte: Própria

Logo, pode-se abstrair que as premissas definidas na etapa de projeto foram cumpridas, visto que a garantiu-se a precisão pretendida e o usuário tem fácil acesso aos resultados de cada largada.

Considerações Finais

Neste capítulo apresenta-se as observações realizadas ao longo do estudo, bem como propostas de continuidade do projeto.

6.1 Conclusões

O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para detecção de tempo de reação de atletas. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa de viabilidade, tanto no âmbito econômico quanto operacional, tendo como desfecho, a notória importância da realização desse trabalho, visto que trata-se de um equipamento de alto investimento, e que pode agregar de maneira significativa na formação de atletas em quaisquer níveis.

Em seguida, foram feitos estudos que guiarão a continuidade do projeto, principalmente no que tange à lógica e parâmetros de funcionamento do sistema. Entre eles, destaca-se o estudo do regras esportivas definidas pelas federações e a influência da utilização do bloco de partida em ambas modalidades. Também foi realizado estudo sobre a instrumentação que melhor se adequou ao intuito do projeto, tanto no sentido orçamentário, quanto de precisão dos resultados do processo, tendo sido definido os principais componentes que serão tratados até o final desse estudo.

Logo, realizou-se uma revisão bibliográfica, em que ao decorrer da mesma, buscou-se o estado da arte, que revelou um escasso investimento na popularização desses equipamentos, visto que as maiores empresas do ramo não revelam a tecnologia utilizada, e são poucos os esforços feitos em prol da tentativa de baratear a produção científica na área.

Na etapa seguinte, foram definidos à partir do projeto comportamental, quais etapas o processo de detecção o equipamento seguiria, e utilizando a ferramenta FMEA, definidos pontos de atenção e tentativas de amenizar as falhas categorizadas de acordo com a gravidade. Posto isso, foi realizado um estudo lógico do andamento do processo, utilizando a máquina de estados finitos, que mostra de maneira resumida, os *status* e o nível lógico

dos sensores em cada estado. Ainda nessa etapa, definiu-se os materiais e métodos que serão utilizados, e que foram escolhidos de maneira à atender o melhor funcionamento do sistema, tendo como opção, a utilização de módulo detector de som visando sintetizar a etapa de captação, amplificação e comparação. No que tange ao microcontrolador utilizado, optou-se pelo Arduino UNO R3, por características compatíveis com as premissas do projeto.

Posteriormente, seguiu-se para o desenvolvimento dos testes parciais utilizando os parâmetros e ambientes de simulação especificados no decorrer do texto, tendo como devolutiva, o sucesso da detecção diante de ruídos e distâncias relativamente seguras. Para fins analíticos, determinou-se a distinção dos então dois estados resultantes do projeto, em quatro novas categorias, fazendo necessário adequar no algoritmo, um novo retorno ao usuário. Ao final desse ajuste, o qual utilizou características como interrupção externa e função *Micros()*, seguiu-se para os resultados finais. Antes disso, ainda nesse capítulo, foi sugerido um modelo de protótipo, o qual dispôs os componentes do conjunto em um tipo de bloco de partida.

Já no capítulo de Resultados e Discussões foi apresentada a validação do modelo final obtido, exibindo tanto a resposta numérica do *Display*, quanto a análise gráfica, a qual corrobora com todos os pareceres em número, status e precisão.

Por fim, as atividades documentadas neste estudo, estão de comum acordo com o que foi proposto para o do trabalho de conclusão de curso. A lista a seguir, resume quais estágios foram concluídos:

- Realização de estudos sobre os regulamentos das modalidades;
- Realização de estudos sobre os circuitos eletrônicos e instrumentação a serem utilizados;
- Definição dos sensores e microcontroladores que serão utilizados;
- Definição dos custos do projeto;
- Definição dos critérios de projeto.
- Testar os sensores e o microcontrolador que atenda às especificações definidas;
- Validação do sistema eletrônico;
- Analisar a relação entre os períodos de tempo estudados;
- Validação do sistema conforme o desempenho pretendido;
- Análise dos resultados;

- Levantamento da bibliografia; e
- Escrita do Projeto;

6.2 Continuidade do Projeto

Ao final desse estudo, tem-se que os principais objetivos propostos foram cumpridos. Por outro lado, durante o desenvolvimento do mesmo, notou-se diversas oportunidades de aprimorar o sistema fruto desse conteúdo. Á seguir são listados algumas dessas possibilidades, sendo necessário analisar cada uma delas perante as modificações a serem realizadas para manutenção do desempenho atual.

- Integração da interface utilizada atualmente com uma aplicação *web*, conforme sugerida nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3, as quais descrevem funções e operações desejadas em soluções desse tipo.
- Substituição do microcontrolador pelo ESP32, de maneira a possibilitar a execução do primeiro item, e integrar mais de um dispositivo no mesmo sistema.
- Incorporação do equipamento bloco de partida na instrumentação já possuída, criando assim, um produto completo resumido em: bloco de partida instrumentado.

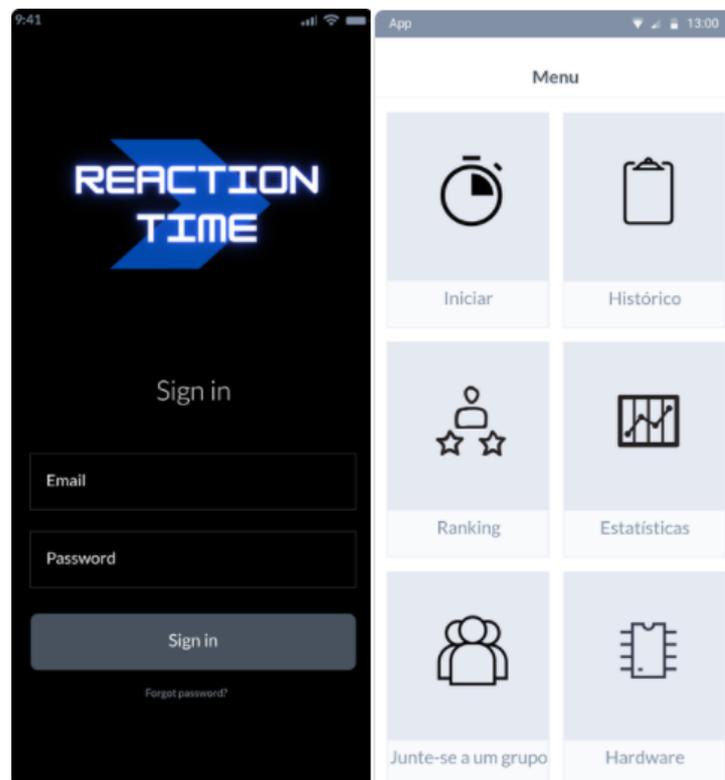


Figura 6.1: Tela Inicial e Menu Fonte: Própria

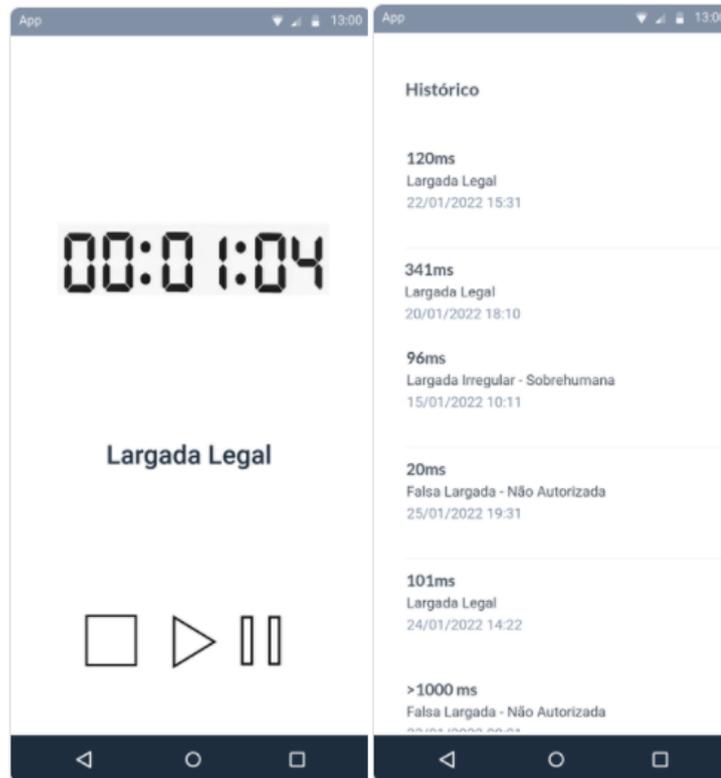


Figura 6.2: Contagem e Histórico Fonte: Própria

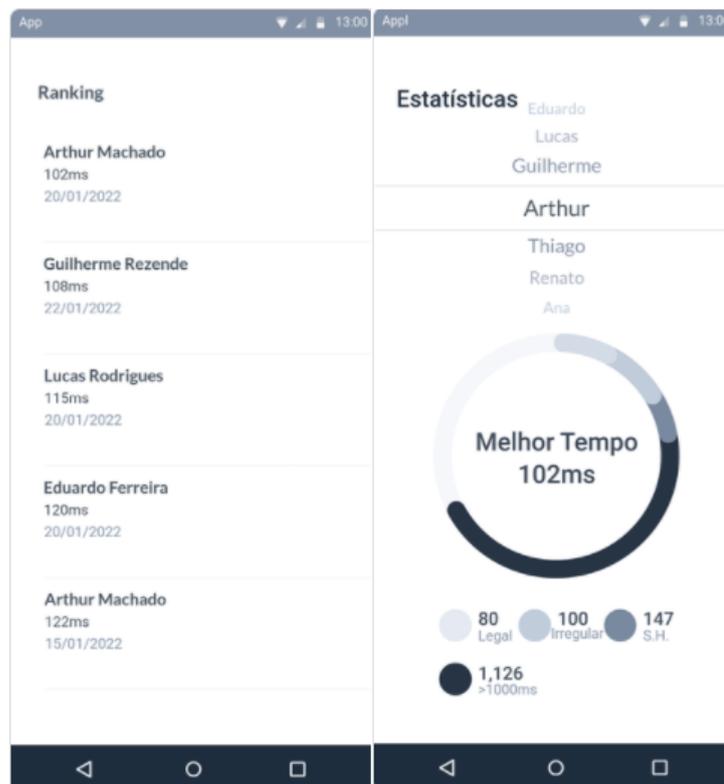


Figura 6.3: Ranking e Estatísticas Fonte: Própria

Apêndice **A**

Código

A.1 Arduino

```
1  #include <Adafruit_GFX.h>    // Core graphics library
2  #include <Adafruit_ST7735.h> // Hardware-specific library for ST7735
3
4  #define TFT_CS      10
5  #define TFT_RST     9 // Or set to -1 and connect to Arduino RESET pin
6  #define TFT_DC      8
7
8  Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(TFT_CS, TFT_DC, TFT_RST);
9
10
11 long int RuidoTimer=0, ToqueTimer=0, ReactionTimer=0;
12
13 bool Toque=false, LargadaFalsa=false, Ruido=false;
14
15 unsigned int ResetTimer=5; //tempo de reset após detecção
16
17 void setup(void) {
18
19     DDRB = DDRB | B00010000; //PORTAS 10 e 12 como saídas
20     DDRD = DDRD | B00100000;
21     PORTD = PORTD | B00001000; //PULL_UP pino3
22
23     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), microfone, RISING);
24
25     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), Sensor_Toque, FALLING);
```

```
26
27 Serial.begin(9600);
28
29 tft.initR(INITR_MINI160x80);
30
31
32 tft.invertDisplay(true);
33 tft.setTextWrap(false);
34 tft.setRotation(1);
35 tft.setTextSize(2);
36 tft.setTextColor(ST77XX_WHITE);
37
38 tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
39
40 tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
41 tft.setCursor(2, 5);
42 tft.println("AGUARDE");
43 for(int i=0;i<5;i++){
44     tft.print(".");
45     delay(1000);
46 }
47
48 tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
49 tft.setCursor(2, 5);
50 tft.println("PRONTO!");
51
52 }
53
54 void loop() {
55     linha++
56     if(Toque==true){
57
58         Wait();
59
60         ReactionTimer = (ToqueTimer-RuidoTimer)/1000;
61
62         if(!LargadaFalsa && ReactionTimer > 100){
```

```
63     Display(ReactionTimer);
64 }
65 else{
66     Warning(ReactionTimer, Ruido);
67 }
68
69     Toque=false;
70     Ruido=false;
71 }
72
73     if((micros()-RuidoTimer)>3000000){
74         Ruido=false;
75     }
76
77     delayMicroseconds(10);
78
79 }
80
81 void microfona(){
82     if(Ruido==false){
83         Ruido=true;
84         RuidoTimer=micros();
85     }
86 }
87
88 void Sensor_Toque(){
89
90     if(Toque==false){
91         Toque=true;
92         ToqueTimer=micros();
93         LargadaFalsa=!Ruido;
94     }
95 }
96
97 void Wait(){
98     while(Ruido==false && micros()-ToqueTimer<1000000){
99         delayMicroseconds(50);
```

```
100   }
101 }
102
103 void Display(long int Timer){
104
105     int TimerMs=Timer;
106
107     tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
108     tft.setCursor(2, 5);
109     tft.println("LARGADA LEGAL");
110     tft.setCursor(2, 30);
111     tft.print("TEMPO: ");
112
113     tft.print(TimerMs,1);
114     tft.println("ms");
115
116     delay((ResetTimer*1000));
117
118     tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
119     tft.setCursor(2, 5);
120     tft.println("AGUARDE");
121     for(int i=0;i<5;i++){
122         tft.print(".");
123         delay(1000);
124     }
125
126     tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
127     tft.setCursor(2, 5);
128     tft.println("PRONTO!");
129
130 }
131
132 void Warning(long int WarningTimer, bool Trigger){
133
134     tft.fillScreen(ST77XX_RED);
135     tft.setCursor(2, 5);
136
```

```
137 tft.println("LARGADA FALSA");
138 tft.setCursor(2, 30);
139 tft.print("TEMPO: ");
140
141 int TimerMs=WarningTimer;
142
143 if(WarningTimer>0 && Trigger ==true){
144     tft.print(TimerMs,1);
145     tft.println(" ms");
146     //tft.setTextSize(1);
147     tft.setCursor(5, 55);
148     tft.println("Sobre-humano");
149 }
150 else{
151     if(Trigger==false){
152         tft.println(">1000ms");
153     }
154     else{
155         tft.print(abs(TimerMs),1);
156         tft.println("ms");
157     }
158 }
159
160 for(int i=0;i<ResetTimer;i++){
161     PORTD = PORTD | B00100000;
162     delay(500);
163     PORTD = PORTD & B11011111;
164     delay(500);
165 }
166
167 tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
168 tft.setCursor(2, 5);
169 tft.println("AGUARDE");
170 for(int i=0;i<5;i++){
171     tft.print(".");
172     delay(1000);
173 }
```

```
174
175   tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);
176   tft.setCursor(2, 5);
177   tft.println("PRONTO!");
178 }
179
180 }
```

Referências

- AGUIRRE, L. *Fundamentos de Instrumentação*. 1.ed. São Paulo: Editora Pearson, 2013.
- BANZI, M. *Getting Start with Arduino*. 2.ed. [S.l.]: Sebastopol, 2011.
- BRAGA, N. C. *102 Circuitos*. 1.ed. São Paulo: Editora Newton C. Braga, 2016.
- CBA, C. B. A. . 1.ed. São Paulo: Phorte Editora, 2003. (Regras oficiais de Atletismo).
- ELETROGATE. *O que é Arduino: para que serve, vantagens e como utilizar?* Acessado: 07/08/2021, <https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/>.
- EMBARCADOS. *Alimentação da Placa Arduino*. Acessado: 23/12/2021, <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/#Alimentacao-da-placa-Arduino>.
- FILIFELOP. *Temporizador Shield Arduino*. Acessado: 02/01/2022, <https://www.filipeflop.com/blog/temporizador-shield-arduino-multifuncoes/>.
- FORTEZA. *Treinar para ganhar*. 1.ed. São Paulo: Phorte, 2004.
- GLIEL FLÁVIO, M. A. M. *Tutorial - Aplicações*. 1.ed. Curitiba: [s.n.], 2003. (Coletânea de Atividades de Educação Física para o Ensino Médio e Ensino Fundamental).
- HELMAN, H. *Análise de falhas: (aplicação dos métodos de fmea e fta)*. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, 1995.
- JOYIT. *KY-037 Microphone sensor module (high sensitivity)*. Acessado: 11/01/2022, <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1402047/Joy-IT/KY-037/1>.
- JÚNIOR, A. P. *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos*. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- LIMA, E. Estudo da correlação entre velocidade de reação motora e o lactato sanguíneo, em diferentes tempos de luta no judô. *Rev Bras Med Esporte*, [S.l.], 2004.

LUCE, R. *Response Times: their role in inferring elementary mental*. 1.ed. New York: Oxford University Press, 1986.

MAGILL, R. *Aprendizagem motora conceitos e aplicações*. 1.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. (Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental).

MASON, J. C. B. Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. *Proceedings of XIX Symposium on Biomechanics in Sports*, [S.l.], 2001.

MSSELETRÔNICA. *Display LCD TFT 128x160 1.8"colorido SPI ST7735*. Acessado: 10/01/2022, <https://www.msseletronica.com.br/detalhes/display-lcd-tft-128x160-1-8-colorido-spi-st7735-com-slot-para-cartao-sd-exemplo-pid1434.html>.

SCHMIDT; WRISBERG. *Aprendizagem e Performance Motora: uma abordagem da aprendizagem baseada no problema*. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2001.

SHIRIFF, K. *The Surprising Story of the First Microprocessors*. Acessado: 08/01/2022, <https://hackaday.com/2016/09/15/the-surprising-story-of-the-first-microprocessors/>.

SILVA, A. J. A importância da abordagem científica no treino e competição de nadadores de alto nível na natação pura desportiva: exemplo do salto de partida. motricidade. , [S.l.], 2007.

TEXASINSTRUMENTS. *LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier*. Acessado: 14/01/2022, <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>.

VIDADESILÍCIO. *Arduino Entradas e saídas digitais*. Acessado: 07/01/2022, <https://portal.vidadesilicio.com.br/entradas-e-saidas-digitais>.