

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Júlio de Mesquita Filho - Campus de Ilha Solteira - SP

MARIA LUZIA QUEIROZ BARBOZA DOS SANTOS

**Protótipo de Sistema de Segurança automatizado para Arena de Testes de Robôs de
Combate**

Ilha Solteira - SP

2026

Maria Luzia Queiroz Barboza dos Santos

Protótipo de Sistema de Segurança automatizado para Arena de Testes de Robôs de Combate

Trabalho de Graduação, apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira - SP, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof^o Dr. Marcelo Augusto Assunção Sanches

Ilha Solteira - SP
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237p Santos, Maria Luzia Queiroz Barboza dos.
Protótipo de sistema de segurança automatizado para arena de testes de robôs de combate / Maria Luzia Queiroz Barboza dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
42 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

Orientador: Marcelo Augusto Assunção Sanches

Inclui bibliografia

1. Robôs de combate. 2. Segurança operacional. 3. Reed switch. 4. Arduino.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

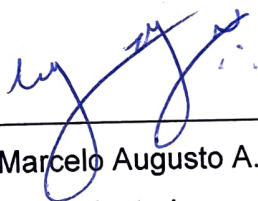
Com este trabalho espera-se contribuir para a promoção da segurança em ambientes acadêmicos por meio do desenvolvimento de uma arena didática, estruturada para simular situações reais de risco de forma controlada e segura. O sistema proposto une conceitos de engenharia elétrica e práticas de segurança, promovendo a possibilidade de ser replicado em demais instituições com baixo custo.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Through this work, it is expected to contribute to the promotion of safety in academic environments through the development of an educational arena, designed to simulate real risk situations in a controlled and safe manner. The proposed system integrates concepts of electrical engineering, sustainability, and safety practices, promoting the possibility of replication in other institutions at a low cost.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos dezenove dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e seis, a discente Maria Luzia Queiroz Barboza dos Santos, matriculado sob o nº 181051303, tendo como banca examinadora o seu orientador, o *Prof. Dr. Marcelo Augusto Assunção Sanches*, o MSc. Leonardo Xavier do Nascimento e o *Doutorando Edinaldo Serra Cardoso Júnior*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "**Protótipo de Sistema de Segurança automatizado para Arena de Testes de Robôs de Combate**", obtendo a nota **8.5** (Oito e meio) e conceito **Aprovado**.



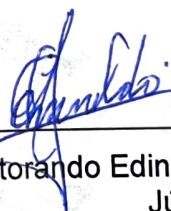
Prof. Dr. Marcelo Augusto A. Sanches
- Orientador -



Maria Luzia Queiroz Barboza dos Santos
- Discente -



MSc. Leonardo Xavier do Nascimento
- Membro da Banca -



Doutorando Edinaldo Serra Cardoso
Júnior
- Membro da Banca -

AGRADECIMENTOS

Finalizar a graduação representa a conquista de um objetivo que abrirá muitas portas em minha vida, possibilitando a realização de sonhos cultivados há muitos anos por mim e por minha família. A entrega deste trabalho de graduação simboliza a concretização de uma importante etapa dessa trajetória. Por isso, agradeço primeiramente a Deus pela saúde, pela força, pelas pessoas que colocou em meu caminho e por iluminar minha jornada, tornando este momento possível.

Ao meu pai, Claudio, à minha mãe, Eliane, ao meu irmão mais velho, Bruno, e ao meu irmão mais novo, Miguel, agradeço por serem os pilares não apenas da minha graduação, mas de toda a minha vida. Cada conquista minha também pertence a vocês, pois esta caminhada sempre foi construída em conjunto. Nada disso teria sido possível sem o apoio, os ensinamentos e os sacrifícios de vocês ao longo de toda essa jornada.

Ao meu namorado, Gustavo, a personificação da palavra força. Sua dedicação, apoio e exemplo me inspiram diariamente a ser uma pessoa melhor, e isso foi essencial para que eu chegasse até aqui.

Aos meus colegas de turma e amigos, agradeço por tornarem essa jornada mais leve e inesquecível.

Aos meus colegas de estágio, meu muito obrigada por contribuírem para minha formação profissional e pessoal. Levarei comigo todos os ensinamentos, a paciência, o apoio e os momentos compartilhados. Este trabalho também carrega um pouco de cada um de vocês.

Aos meus professores, em especial ao meu orientador, Marcelo Sanches, agradeço pela parceria, pelos ensinamentos, pelo incentivo e pelo apoio desde quando este trabalho era apenas uma ideia.

À equipe TERA, que foi minha segunda casa desde o início da graduação, e que também faz parte deste trabalho, deixo meus mais sinceros agradecimentos.

*“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”
— Eclesiastes 3:1*

RESUMO

Os testes de robôs de combate envolvem riscos associados à operação de componentes mecânicos em movimento e à possibilidade de falhas durante o desenvolvimento dos sistemas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de sistema eletrônico de segurança automatizado para monitoramento da porta de uma arena destinada à realização de testes de robôs de combate. O sistema foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino Uno, sensor magnético do tipo *reed switch*, sinalização visual por LEDs, sinalização sonora por *buzzer* e display LCD para comunicação com o operador. Inicialmente, foi elaborado um protótipo virtual do circuito eletrônico por meio da plataforma Wokwi, permitindo a validação da lógica de funcionamento antes da montagem física. Em seguida, foi construído um protótipo físico do sistema eletrônico e uma estrutura representativa da arena de testes, incorporando um mecanismo de detecção do estado da porta. O sistema desenvolvido foi capaz de identificar as condições de abertura e fechamento da porta, bloquear o início dos testes quando a arena se encontrava em condição insegura e realizar uma contagem regressiva para controle do tempo de operação. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade do protótipo desenvolvido para aumentar a segurança durante atividades de desenvolvimento e validação de robôs de combate, além de evidenciar o potencial de aplicação de sistemas embarcados de baixo custo em procedimentos de segurança operacional.

Palavras-Chave: robôs de combate; segurança operacional; reed switch; Arduino.

ABSTRACT

Combat robot testing involves risks associated with the operation of moving mechanical components and the possibility of failures during system development. In this context, this study aimed to develop a prototype of an automated safety system for monitoring the access door of an arena designed for combat robot testing. The system was developed using an Arduino Uno platform, a reed switch magnetic sensor, LED visual indicators, an audible buzzer alarm, and an LCD display for operator communication. Initially, a virtual prototype of the electronic circuit was developed using the Wokwi platform, allowing the validation of the operating logic before physical assembly. Subsequently, a physical prototype of the electronic system and a representative test arena structure were built, incorporating a door status detection mechanism. The developed system was able to identify whether the door was open or closed, prevent the start of tests when unsafe conditions were detected, and perform a countdown to control the test duration. The obtained results demonstrated the feasibility of the developed prototype for improving safety during combat robot development and validation activities, while also highlighting the potential application of low-cost embedded systems in operational safety procedures.

Keywords: combat robots; operational safety; reed switch; Arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Arena de Combate: Hobbyweight, Featherweight e Lightweight	18
Figura 2	Arena de Combate: Fairyweight, Antweight e Beetleweight	19
Figura 3	Fluxograma: Lógica de funcionamento do circuito	22
Figura 4	Protótipo do circuito no Wokwi	23
Figura 5	Estado de porta aberta	23
Figura 6	Sistema habilitado para teste	24
Figura 7	Teste em execução	24
Figura 8	Tempo esgotado	25
Figura 9	Estados de funcionamento do protótipo	26
Figura 10	Modelagem 3D da arena de testes	27
Figura 11	Modelagem 3D da arena de testes em três vistas	27
Figura 12	Mecanismo de abertura da porta	28
Figura 13	Localização do sensor no encaixe inferior	28
Figura 14	Protótipo físico da arena	30
Figura 15	Detalhes do material	30
Figura 16	Localização do Sensor	31
Figura 17	Porta fechada e start off	32
Figura 18	Porta fechada e contagem regressiva	33
Figura 19	Porta fechada e teste em curso	33
Figura 20	Porta aberta	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de Classes	15
Tabela 2 – Tabela de dimensões da arena por classe	18
Tabela 3 – Estimativa de custos para construção do protótipo	35
Tabela 4 – Estimativa de custos para implementação da arena proposta	35
Tabela 5 – Estimativa de custos do protótipo físico desenvolvido	39
Tabela 6 – Estimativa de custos para construção da arena proposta	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED	Light Emitting Diode
LCD	Liquid Crystal Display
IDE	Integrated Development Environment

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral	13
1.2	Objetivos Específicos	13
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1	Proposição	14
2.2	Revisão da Literatura	14
2.2.1	Competições de Robótica e Robôs de combate	14
2.2.2	Desenvolvimento e testes de robôs de combate	15
2.2.2.1	Teste dos motores	15
2.2.2.2	Teste dos sistemas	16
2.2.3	Riscos à Segurança	16
2.2.3.1	Riscos Mecânicos	16
2.2.3.2	Riscos Elétricos	17
2.2.3.3	Riscos Térmicos	17
2.2.4	Arenas de Combate	18
2.2.5	Sensor magnético de proximidade do tipo Reed Switch	20
2.2.6	Aplicação do Arduino	20
2.3	Material e Método	20
2.3.1	Sistema Eletrônico	21
2.3.1.1	Lógica de funcionamento	21
2.3.1.2	Protótipo virtual do sistema eletrônico	22
2.3.1.3	Protótipo físico do sistema eletrônico	25
2.3.2	Estrutura da Arena	26
2.3.2.1	Projeto virtual da arena	26
2.3.2.2	Protótipo físico da arena	29
2.4	Resultado e Discussão	31
2.4.1	Validação do Sistema Eletrônico	31
2.4.2	Validação da Estrutura Proposta	34
2.4.3	Estimativa de custos da solução proposta	35
2.4.4	Limitações e trabalhos futuros	35
3	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38

APÊNDICE A – CUSTOS DO PROTÓTIPO	39
APÊNDICE B – ESTIMATIVA DE CUSTOS DA ARENA PROPOSTA	40

1 INTRODUÇÃO

A utilização de robôs de combate em ambientes acadêmicos tem crescido como ferramenta para o desenvolvimento de conhecimentos em mecânica, eletrônica, programação e sistemas embarcados. Durante o processo de desenvolvimento desses robôs, a realização de testes é indispensável para validar projetos, identificar falhas e aprimorar o desempenho das soluções desenvolvidas.

Entretanto, os testes envolvem riscos associados à movimentação de componentes mecânicos, à utilização de sistemas elétricos e ao emprego de sistemas ofensivos, tornando necessária a adoção de medidas que contribuam para a segurança dos operadores e das pessoas presentes no ambiente.

Nesse contexto, a equipe de robótica TERA da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Ilha Solteira, atuante em competições nacionais como a *Winter Challenge* e a *Robocore Experience*, desenvolve projetos na área de robótica de combate, nos quais a etapa de testes é parte fundamental do processo de desenvolvimento dos robôs.

Diante desse cenário, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de atender às necessidades da equipe de robótica TERA da UNESP de Ilha Solteira, participante de competições nacionais como a *Winter Challenge* e a *Robocore Experience*, por meio do desenvolvimento de um protótipo de sistema de segurança automatizado para monitoramento da porta de uma arena destinada à realização de testes de robôs de combate.

Optou-se pela utilização do termo protótipo porque a solução foi validada em uma estrutura construída em escala reduzida e com materiais alternativos, tendo como objetivo demonstrar a viabilidade técnica da proposta, sem a realização de ensaios com robôs de combate em condições reais de operação.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver o projeto de um sistema eletrônico de segurança para monitoramento da porta de uma arena destinada à realização de testes de robôs de combate.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver o projeto de um circuito eletrônico com sinalizações visuais, sonoras e interface de comunicação com o operador para auxiliar na segurança durante os testes;
- Desenvolver o projeto de uma arena de testes em escala apropriada para utilização por equipes de robótica;
- Desenvolver um protótipo integrando a arena de testes ao sistema eletrônico proposto.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 PROPOSIÇÃO

Visando mitigar os riscos envolvendo os testes de robôs de combate pela equipe de robótica TERA, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de sistema de segurança automatizado aplicado a uma arena de testes de robôs de combate.

A proposta surgiu a partir da observação das necessidades enfrentadas pela equipe durante a realização de testes. Embora as competições disponham de arenas projetadas para conter impactos e estilhaços, muitas atividades de desenvolvimento são realizadas fora desses ambientes, aumentando os riscos associados a operação dos robôs.

O projeto consiste na construção de uma estrutura cúbica com dimensões aproximadas de 1m, composta por uma base metálica e paredes de policarbonato translúcido. A arena será equipada com um sistema de monitoramento eletrônico com Arduino, responsável por verificar as condições de segurança antes da realização de testes.

O sistema eletrônico desenvolvido tem como função monitorar o estado da porta de acesso à arena e fornecer sinalização visual e sonora ao controlador do robô. O acionamento dos testes somente poderá ocorrer quando a porta estiver devidamente fechada, reduzindo a possibilidade de exposição dos usuários aos riscos gerados pela movimentação dos robôs.

O projeto busca utilizar materiais reaproveitados sempre que possível, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e redução da geração de resíduos eletrônicos.

2.2 REVISÃO DA LITERATURA

2.2.1 Competições de Robótica e Robôs de combate

O início dos anos 2000 trouxe ao Brasil as primeiras competições de robótica, como a *Winter Challenge* e a *Robocup*, eventos que incentivam o estudo de engenharia e tecnologia em aplicações em projetos de robótica.

Universidades e instituições de ensino de todo o Brasil são representadas em competições por meio de equipes de robótica formadas por alunos e professores de ensino fundamental, médio, técnico e superior, como a Uairrior da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e a Rio Botz da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), duas das maiores equipes de competição do Brasil, com histórico de participação em campeonatos nacionais e internacionais.

No ano de 2016 fundou-se, por iniciativa de alunos e professores de graduação em Engenharia Elétrica da UNESP de Ilha Solteira, um grupo de estudos em Robótica nomeado como TERA. Uma vez motivado pelas competições organizadas pela empresa Robocore, TERA se tornou uma equipe de competição. O planejamento e execução de seus projetos se dão nas imediações da universidade, quase completamente desenvolvidos pelos membros da mesma, envolvendo

algumas categorias de projetos de competição. O foco deste trabalho se concentra na categoria de Combate.

Nas olimpíadas e competições de robótica, a categoria "combate" consiste no embate entre dois ou mais robôs, dentro de uma arena, de forma que ganhe aquele que causar mais danos dentro de 3 (três) minutos ou que levar o(s) adversário(s) à paralisação ou perda total. É dividida em classes distintas, determinadas pela massa dos robôs, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de Classes

Nome da classe	Massa Máxima [kg]
Fairyweight	0,150
Antweight	0,454
Beetleweight	1,360
Hobbyweight	5,440
Featherweight	13,600
Lightweight	27,200

Fonte: (RoboCore, 2023a)

Os projetos desta categoria contam com sistemas eletrônicos, mecânicos e de controle, organizados em uma estrutura projetada para suportar os esforços dinâmicos da competição e atender aos limites de massa estabelecidos para cada classe.

2.2.2 Desenvolvimento e testes de robôs de combate

Na prática de desenvolvimento de robôs de combate, a etapa de testes é essencial para a validação de sistemas mecânicos, eletrônicos e de controle, sendo realizada de forma progressiva antes da integração completa do robô.

Esses testes envolvem a verificação do funcionamento de subsistemas individuais, como motores, controladores eletrônicos e sistemas de locomoção, além da avaliação do comportamento do robô em condições operacionais semelhantes às de competição.

Em muitos casos, durante essas etapas, são utilizados componentes energizados e sistemas em alta rotação, o que pode representar riscos ao ambiente e aos operadores envolvidos, exigindo a adoção de medidas adequadas de segurança.

2.2.2.1 Teste dos motores

Motores elétricos são comumente testados com alimentação proveniente de baterias Li-Po ou de fontes de corrente contínua. Os motores devem ser conectados ao sistema de controle por rádio, permitindo a avaliação de seu comportamento em diferentes condições operativas.

Esses ensaios podem ter como objetivo a obtenção de parâmetros elétricos e mecânicos do sistema, bem como a análise do desempenho dos motores sob diferentes condições de carga

e velocidade. Também é importante verificar aspectos relacionados ao sentido de rotação, à resposta aos comandos de controle e à correta conexão dos componentes elétricos.

2.2.2.2 Teste dos sistemas

O sistema de locomoção pode ser avaliado tanto durante as etapas intermediárias de montagem quanto após a conclusão da estrutura completa do robô. Esses testes permitem que o operador adquira familiaridade com os comandos de controle, além de possibilitar a avaliação da velocidade, da capacidade de tração e da força desenvolvida pelo sistema.

Também podem ser realizados ensaios específicos para verificar a capacidade do robô de empurrar obstáculos ou recuperar sua posição após ser invertido. Tais procedimentos auxiliam na validação do desempenho do sistema de locomoção em situações semelhantes às encontradas em competições.

Durante os testes dos sistemas ofensivos, especialmente daqueles que empregam armas rotativas, podem ocorrer vibrações excessivas, desprendimento de componentes ou projeção de fragmentos. Dessa forma, torna-se indispensável a adoção de medidas adicionais de contenção e proteção, garantindo a segurança dos operadores e das pessoas presentes no ambiente de testes.

2.2.3 Riscos à Segurança

A realização dos testes utilizando componentes como motores, baterias e estruturas metálicas envolve riscos específicos que devem ser considerados durante a operação e desenvolvimento dos robôs de combate. Os riscos associados aos testes podem ser classificados em riscos mecânicos, riscos elétricos e riscos térmicos.

2.2.3.1 Riscos Mecânicos

Durante os testes e combates, os robôs são frequentemente submetidos a movimentos imprevisíveis, rotações de alta velocidade e choques intensos. Esses fatores geram a possibilidade de arremesso de peças mal fixadas e de fragmentos gerados por impactos, criando risco significativo para o ambiente e para as pessoas ao redor. Além disso, falhas no sistema de controle, interferências ou erros de programação podem resultar em movimentação desgovernada, o que também representa um perigo considerável, dependendo da situação, da velocidade e da força de impacto do robô.

Robôs que utilizam sistemas ofensivos como armas giratórias, lâminas e martelos apresentam uma fonte adicional de perigo, pois podem gerar forças elevadas e danos severos. Segundo (Vilela, 2000), equipamentos que possuem partes móveis podem expor operadores a zonas de perigo, tornando necessária a adoção de medidas de proteção capazes de restringir o acesso a essas regiões. Em robôs de combate, tais riscos podem ser potencializados pela elevada velocidade de rotação de motores, rodas e sistemas de armas, além da possibilidade de desprendimento de componentes durante a operação. Dessa forma, falhas mecânicas podem resultar na projeção de

fragmentos e no lançamento de peças, oferecendo riscos tanto aos operadores quanto aos demais indivíduos presentes no ambiente de testes.

Reconhecendo esses perigos, competições e atividades de desenvolvimento de robôs de combate adotam procedimentos específicos de segurança. De acordo com (RoboCore, 2023a), a utilização de arenas de contenção constitui uma medida fundamental para a proteção de operadores, equipes e espectadores contra os riscos decorrentes da operação dos robôs. De forma complementar (RoboCore, 2023b) estabelecem orientações relacionadas ao transporte, energização, manutenção e testes dos robôs, buscando minimizar a ocorrência de acidentes durante as atividades de desenvolvimento.

2.2.3.2 Riscos Elétricos

Os riscos elétricos decorrem da utilização de baterias, motores, controladores eletrônicos e demais dispositivos energizados. Falhas de isolamento, curtos-circuitos, conexões inadequadas ou erros durante procedimentos de montagem e manutenção podem causar danos aos equipamentos e comprometer a segurança dos operadores. Dessa forma, torna-se importante a adoção de práticas seguras de instalação, inspeção e operação dos sistemas elétricos e eletrônicos dos robôs.

2.2.3.3 Riscos Térmicos

É comum a utilização de baterias do tipo LiPo (Polímero de Lítio) em robôs de combate, devido à sua elevada densidade energética e ao seu baixo peso. Esse tipo de bateria é amplamente empregado em projetos de robótica por oferecer maior flexibilidade em formato e tamanho quando comparado a outras tecnologias.

Ao sofrerem curto-circuito, sobrecarga ou danos físicos, as baterias LiPo podem entrar em fuga térmica, um processo autoacelerado de aquecimento que libera gases inflamáveis e, potencialmente, leva à combustão ou explosão. Segundo (Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2021), baterias de lítio podem apresentar aquecimento excessivo, emissão de fumaça e até mesmo incêndio quando submetidas a condições inadequadas de operação, danos mecânicos ou falhas elétricas. Dessa forma, a adoção de medidas de proteção, procedimentos operacionais e sistemas de monitoramento contribui para a redução dos riscos associados à realização de testes com robôs de combate.

Durante os eventos de competição é proibida a conexão das baterias aos robôs fora dos momentos de combate ou de teste. Baterias LiPo devem permanecer a todo momento dentro de sacos especiais contra explosões (*LiPo Sacks*), inclusive quando estiverem acopladas ao carregador. Essas baterias somente podem ser removidas desses recipientes quando forem instaladas em robôs que serão utilizados em competições ou testes (RoboCore, 2023b).

2.2.4 Arenas de Combate

As arenas onde acontecem os embates dos robôs da categoria Combate são conhecidas como "Arenas de Combate". As dimensões e características das arenas variam conforme a categoria dos robôs, de forma a garantir as condições adequadas de segurança para participantes e espectadores, sendo que os robôs de menor peso competem nas arenas de menores dimensões e os robôs de maior peso competem nas arenas de maiores dimensões. A Tabela 2 apresenta as dimensões mínimas das arenas e a espessura do policarbonato, definidas pelas regras da competição. A variação ocorre conforme a energia potencial dos impactos esperados para cada categoria.

Tabela 2 – Tabela de dimensões da arena por classe

Classe	Espessura Mínima do Policarbonato	Área Mínima	Altura Mínima
Fairyweight	2 mm	1 m ²	1 m
Antweight	3 mm	2,25 m ²	1 m
Beetleweight	4 mm	4 m ²	1 m
Hobbyweight	6 mm	16 m ²	2 m
Featherweight	8 mm	36 m ²	2 m
Lightweight	9,5 mm	49 m ²	2 m

Fonte: (RoboCore, 2023a)

O material utilizado para as paredes das arenas é o policarbonato translúcido, que proporciona resistência e ainda assim possibilita plena visão de fora para dentro da arena. A Figura 1 e Figura 2 mostram as arenas que foram montadas na competição Robocore Experience 2024, que possuem faixas metálicas para conexão das paredes entre si e um piso de aço. Não são expostos nas regras (RoboCore, 2023a) e (RoboCore, 2023b) mais detalhes referentes a essas partes da estrutura e também não foi encontrada nenhuma outra fonte confiável com essas informações.

Figura 1 – Arena de Combate: Hobbyweight, Featherweight e Lightweight



Fonte: (RoboCore, 2025)

Figura 2 – Arena de Combate: Fairyweight, Antweight e Beetleweight



Fonte: (Pinotti, 2024)

Além das barreiras físicas utilizadas para contenção dos robôs, sistemas eletrônicos de monitoramento podem contribuir para aumentar a segurança durante a realização de testes. Sensores, dispositivos de sinalização e sistemas de controle permitem identificar condições inseguras de operação e alertar os usuários antes do início dos ensaios. Nesse contexto, torna-se relevante o desenvolvimento de soluções de baixo custo capazes de auxiliar na prevenção de acidentes durante atividades de desenvolvimento e validação de robôs de combate.

A utilização de barreiras físicas constitui uma das principais medidas de proteção contra riscos mecânicos em máquinas e equipamentos. Segundo (Vilela, 2000) barreiras de proteção têm como finalidade impedir o acesso de operadores às zonas de perigo, reduzindo a exposição a componentes em movimento e à projeção de fragmentos decorrentes de falhas durante a operação. Essas estruturas devem ser projetadas de modo a resistir aos impactos esperados e restringir o contato com áreas potencialmente perigosas. Nesse contexto, arenas para testes de robôs de combate desempenham função semelhante, atuando como uma barreira de contenção destinada à proteção dos operadores e demais pessoas presentes no ambiente de testes.

A escolha do policarbonato para a estrutura transparente da arena está relacionada às propriedades mecânicas e ópticas desse material. Segundo (Balsamo; Cabral; Sanfelice, 2019), o policarbonato apresenta transparência semelhante à do vidro, permitindo a visualização do ambiente interno, além de possuir elevada resistência ao impacto. Essas características tornam o material adequado para aplicações que demandam simultaneamente visibilidade e proteção mecânica, como estruturas de contenção utilizadas em ambientes sujeitos à projeção de fragmentos e impactos.

Além disso, o policarbonato é amplamente empregado em aplicações de engenharia devido à sua elevada resistência mecânica, estabilidade dimensional e capacidade de suportar esforços sem sofrer ruptura frágil (Covestro, 2025). Tais propriedades reforçam sua adequação para

utilização em estruturas destinadas à proteção de operadores durante a realização de testes com robôs de combate.

2.2.5 Sensor magnético de proximidade do tipo Reed Switch

A chave magnética, também conhecida como *reed switch*, é um dispositivo eletromecânico acionado pela presença de um campo magnético. Seu funcionamento baseia-se em dois contatos metálicos ferromagnéticos encapsulados em uma ampola de vidro. Na configuração normalmente aberta, os contatos permanecem separados na ausência de um campo magnético e se aproximam quando expostos a um ímã, permitindo a condução de corrente elétrica (Patsko, 2006).

Devido à sua simplicidade, baixo custo e confiabilidade, sensores do tipo *reed switch* são amplamente utilizados em sistemas de detecção de abertura e fechamento de portas, janelas e dispositivos de segurança. Nesses sistemas, o sensor é instalado próximo a um ímã fixado na parte móvel da estrutura. Quando ambos se encontram próximos, o campo magnético altera o estado elétrico do sensor, permitindo identificar a posição do elemento monitorado (Last Minute Engineers, 2022).

2.2.6 Aplicação do Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software de fácil utilização, amplamente empregada no desenvolvimento de protótipos eletrônicos e sistemas automatizados. Sua arquitetura permite a integração com sensores, atuadores e dispositivos de comunicação, possibilitando a implementação de sistemas de monitoramento e controle de forma simplificada (Felisardo; Santos; Galvão, 2023).

A popularidade da plataforma está associada à sua facilidade de programação, baixo custo e ampla disponibilidade de módulos compatíveis. Essas características tornam o Arduino uma alternativa adequada para aplicações acadêmicas, educacionais e de prototipagem, permitindo o desenvolvimento e a validação de soluções antes da implementação de versões definitivas do sistema (Felisardo; Santos; Galvão, 2023; Fonseca et al., 2020).

Dentre os diferentes modelos disponíveis, o Arduino Uno destaca-se por sua ampla utilização em projetos de automação e sistemas embarcados. A placa possui entradas e saídas digitais e analógicas que permitem a aquisição de dados provenientes de sensores e o acionamento de dispositivos externos, como LEDs, buzzer e displays, recursos explorados no desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho (Fonseca et al., 2020).

2.3 MATERIAL E MÉTODO

O desenvolvimento do projeto foi dividido em três etapas principais: desenvolvimento do sistema eletrônico, estrutura da arena e construção do protótipo físico.

2.3.1 Sistema Eletrônico

O sistema eletrônico foi projetado para monitorar o estado da porta de acesso da arena e fornecer informações ao controlador por sinalização visual e sonora. Os componentes empregados no desenvolvimento do sistema foram:

- 2 LEDs vermelhos
- 2 LEDs verdes
- 4 resistores $1k\Omega$
- 1 buzzer ativo 5V
- 1 sensor reed switch
- 1 display LCD I2C 16x2
- 1 protoboard 830 pontos
- 1 Arduino Uno
- 1 kit de jumpers macho/macho
- 1 kit de jumpers macho/fêmea
- 1 microchave de fim de curso

2.3.1.1 Lógica de funcionamento

A lógica de funcionamento do circuito foi baseada na verificação contínua do estado da porta da arena, objeto principal para isolamento do robô na arena de policarbonato, possibilitando um teste seguro. Quando a porta permanece aberta, o sistema bloqueia o início dos testes, aciona sinalização visual através dos LEDs vermelhos e emite alertas sonoros por meio do buzzer. Nessa condição, o display informa ao controlador a necessidade de fechamento da porta.

Após o fechamento da porta, o sistema habilita a realização dos testes e passa a indicar a condição segura de operação por meio dos LEDs verdes. A partir da seleção da chave de acionamento, inicia-se a contagem regressiva do tempo de teste de 3 minutos, exibida no display LCD.

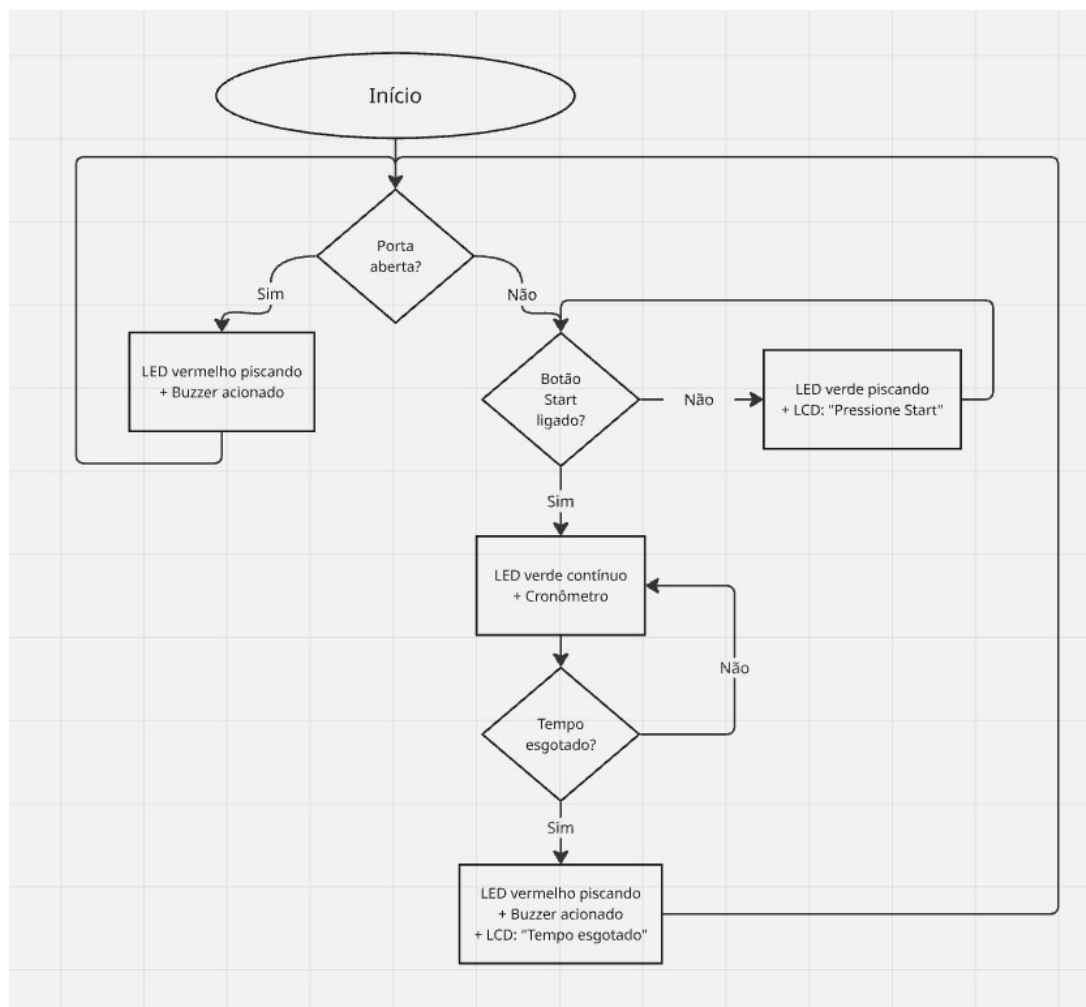
Ao finalizar o tempo, é emitido um curto alerta sonoro, e os LEDs verdes voltam a piscar, indicando que o sistema está apto para o início de um novo teste.

A lógica implementada foi desenvolvida na linguagem de programação C++, utilizando a plataforma Arduino IDE. O fluxograma de funcionamento do sistema é apresentado na Figura 3.

Para a identificação do estado da porta, foi escolhido um sensor magnético do tipo *reed switch*, instalado na estrutura da arena e acionado pelo fechamento da porta. Esse sensor teria a

função de identificar se a porta se encontra aberta ou fechada, permitindo ao sistema eletrônico liberar ou bloquear o início dos testes.

Figura 3 – Fluxograma: Lógica de funcionamento do circuito



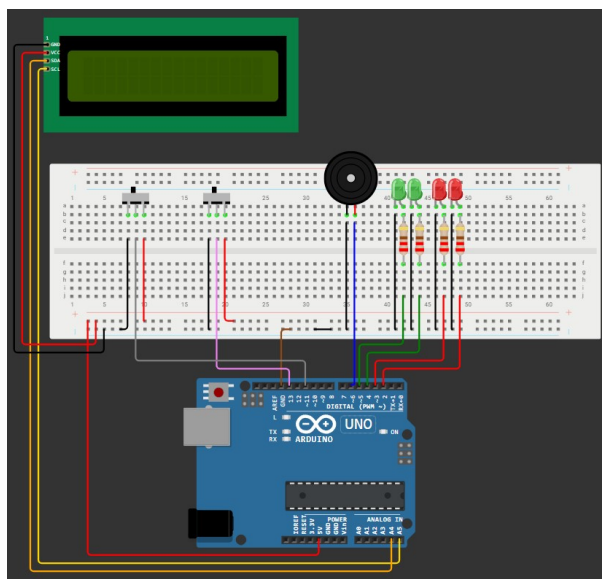
Fonte: Próprio autor

2.3.1.2 Protótipo virtual do sistema eletrônico

Inicialmente foi desenvolvido um protótipo virtual do sistema eletrônico, utilizando a plataforma Wokwi. O uso da simulação possibilitou a validação prévia da lógica de funcionamento dos componentes.

Como a plataforma Wokwi não disponibiliza um modelo virtual do sensor reed switch utilizado neste trabalho, foi empregada uma chave de acionamento para representar seu comportamento lógico. Dessa forma, foi possível simular as condições de abertura e fechamento da porta da arena e validar a lógica de funcionamento do sistema eletrônico. A Figura 4 apresenta o protótipo virtual desenvolvido na plataforma Wokwi.

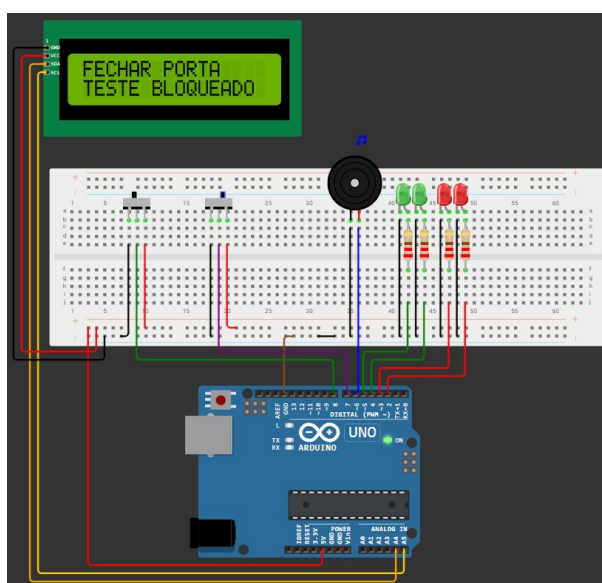
Figura 4 – Protótipo do circuito no Wokwi



Fonte: Próprio autor

A Figura 5 apresenta o sistema em condição de porta aberta. Nessa situação, os LEDs vermelhos são acionados de forma intermitente e o buzzer emite alertas sonoros periódicos, indicando que os testes estão bloqueados por questões de segurança. No display LCD é exibida a mensagem "FECHAR PORTA", orientando o operador quanto à condição necessária para habilitação do sistema.

Figura 5 – Estado de porta aberta

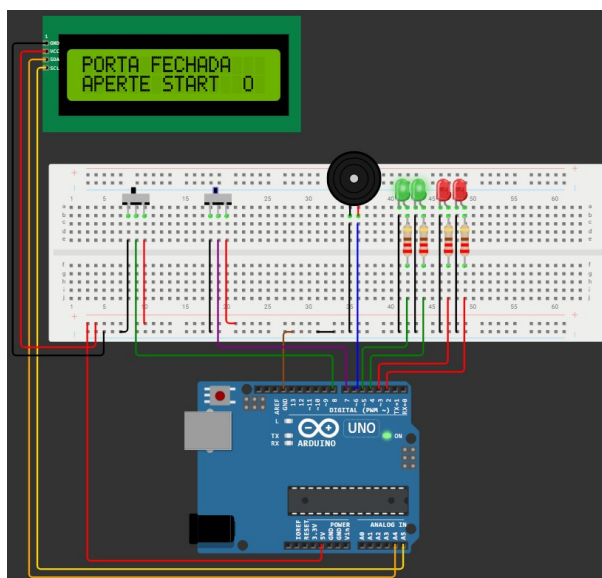


Fonte: Próprio autor

A Figura 6 apresenta o sistema após o fechamento da porta. Nessa condição, os LEDs verdes passam a indicar o estado seguro de operação e o display exibe a mensagem "APERTE START",

sinalizando que o sistema está pronto para iniciar o procedimento de teste.

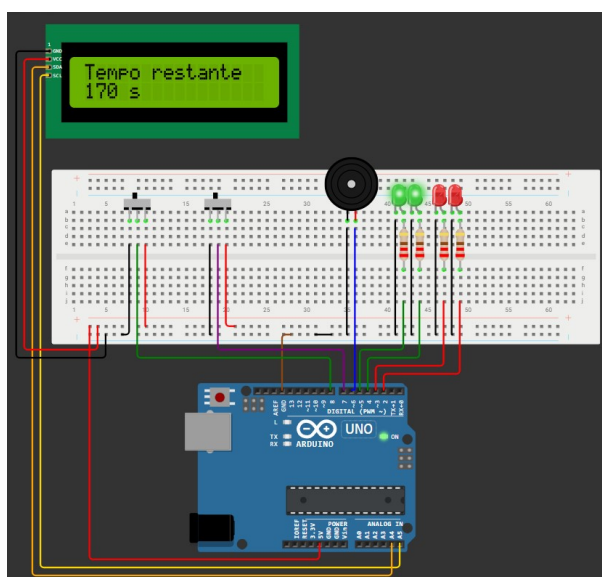
Figura 6 – Sistema habilitado para teste



Fonte: Próprio autor

A Figura 7 mostra o sistema durante a execução do teste. Após o acionamento do botão de início, o temporizador inicia a contagem regressiva do tempo configurado, exibindo no display o tempo restante para conclusão do ensaio.

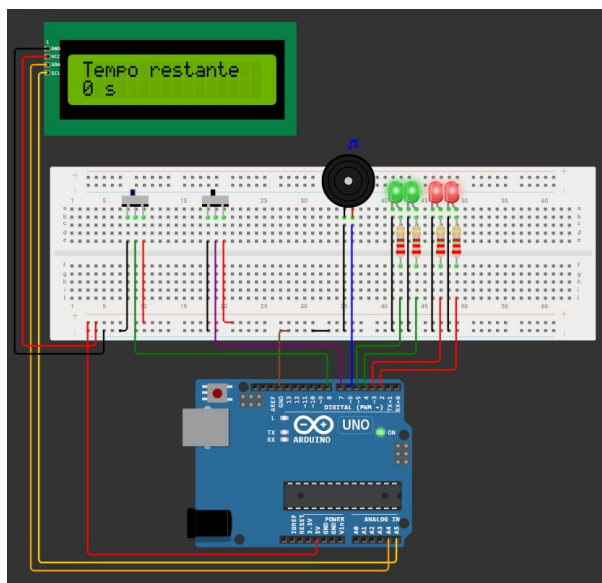
Figura 7 – Teste em execução



Fonte: Próprio autor

A Figura 8 apresenta a condição de encerramento automático do teste. Quando o tempo programado é atingido, o sistema aciona os LEDs vermelhos e o buzzer como forma de alerta ao operador, informando o término do período de teste.

Figura 8 – Tempo esgotado



Fonte: Próprio autor

Após a condição de encerramento, o sistema retorna à condição da Figura 6, indicando que outro teste pode ser iniciado.

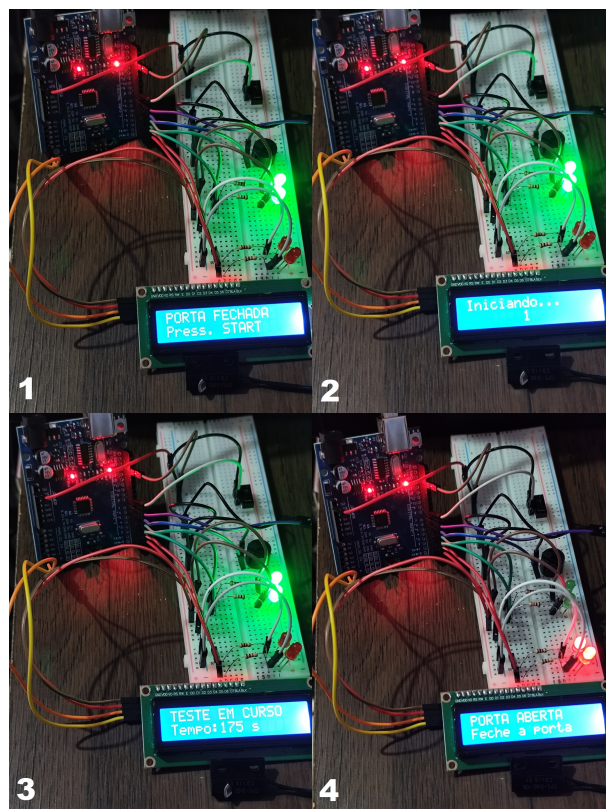
2.3.1.3 Protótipo físico do sistema eletrônico

Após a validação do circuito em ambiente virtual, foi realizada a montagem física do protótipo eletrônico utilizando os componentes previamente simulados, para realização dos testes experimentais.

Os componentes foram organizados em protoboard para permitir ajustes e correções sem a necessidade de soldagem permanente. Em seguida, foram realizadas as conexões elétricas entre Arduino, LEDs, resistores, buzzer, microchave, sensor e display LCD, seguindo o esquema elaborado durante a fase de projeto.

A Figura 9 apresenta a montagem completa do protótipo eletrônico desenvolvido, ilustrando as diferentes condições de operação do sistema, incluindo os estados de porta aberta e fechada (4 e 1, respectivamente), bem como a etapa de contagem regressiva executada antes do início dos testes (2) e a contagem de 180s de teste (3).

Figura 9 – Estados de funcionamento do protótipo



Fonte: Próprio autor

Os testes experimentais tiveram como objetivo verificar o correto funcionamento do sistema de monitoramento da porta, das sinalizações visuais e sonoras e da comunicação com o operador por meio do display LCD.

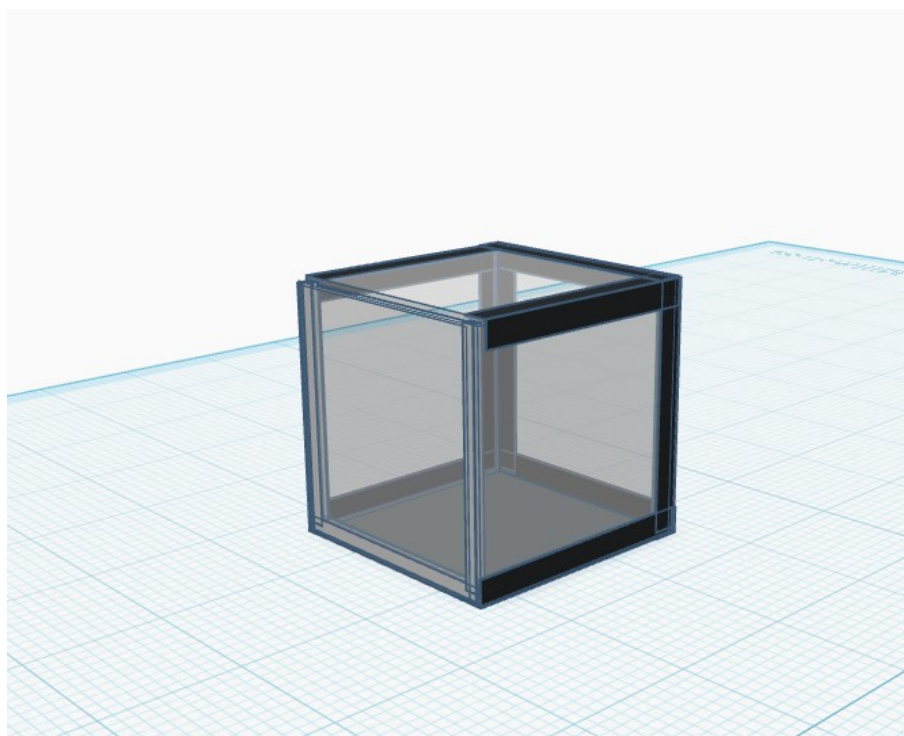
2.3.2 Estrutura da Arena

2.3.2.1 Projeto virtual da arena

Paralelamente ao desenvolvimento do protótipo eletrônico, foi realizada a modelagem tridimensional da arena utilizando a ferramenta de modelagem disponível na plataforma Tinkercad. O objetivo desta foi a definição das dimensões gerais da estrutura, a disposição dos elementos construtivos.

A arena foi projetada em formato cúbico, com dimensões aproximadas de $1m \times 1m \times 1m$. A estrutura é composta por uma base metálica e cinco faces em policarbonato translúcido. O mecanismo de abertura da arena envolve uma porta verticalmente removível, posicionada em uma das faces laterais.

Figura 10 – Modelagem 3D da arena de testes

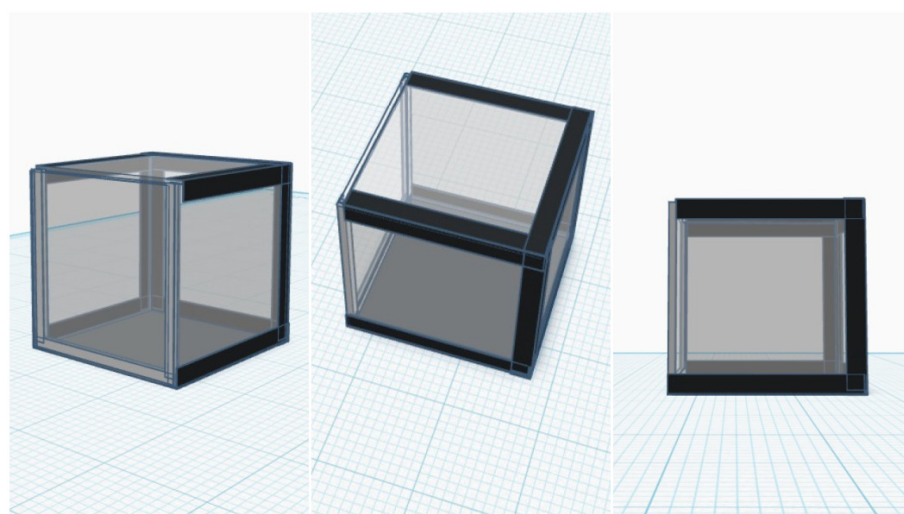


Fonte: Próprio autor

Também foram inclusos na modelagem cantoneiras em alumínio, para junção das placas de policarbonato, possibilitando posterior fixação utilizando barra roscada. As cantoneiras, em preto, podem ser observadas na Figura 10.

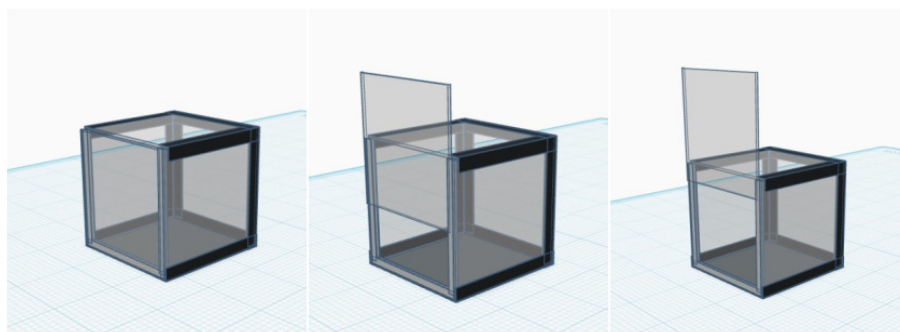
A Figura 11 representa a modelagem tridimensional completa da arena, em três vistas diferentes. A Figura 12 ilustra o procedimento de abertura da porta.

Figura 11 – Modelagem 3D da arena de testes em três vistas



Fonte: Próprio autor

Figura 12 – Mecanismo de abertura da porta



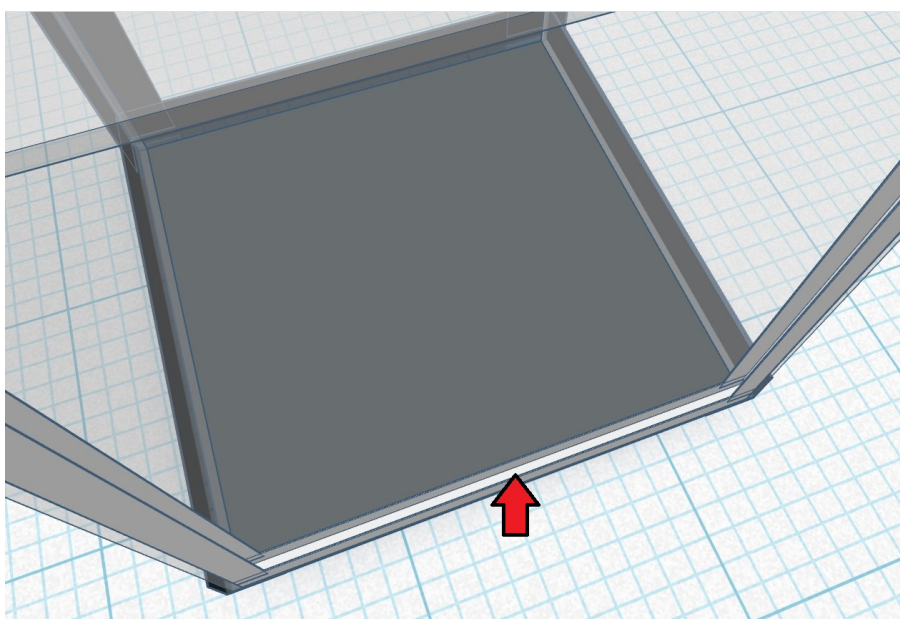
Fonte: Próprio autor

Para possibilitar o monitoramento do estado da porta da arena, foi previsto o uso de um sensor magnético do tipo reed switch instalado na estrutura fixa da arena. O funcionamento desse sensor depende da aproximação de um ímã permanente, fixado na parte móvel da porta.

Quando a porta permanece fechada, o ímã aproxima-se do sensor, alterando o estado do contato elétrico e permitindo que o sistema eletrônico identifique a condição segura para realização dos testes. Quando a porta é aberta, o afastamento do ímã faz com que o sensor retorne ao seu estado original, bloqueando a execução dos testes e acionando os alertas de segurança previstos na lógica de controle.

A localização do sensor e do ímã foi definida de forma a garantir seu alinhamento durante o fechamento da porta, assegurando a correta detecção da posição da mesma. O encaixe inferior da porta foi projetado de modo que possa ser fixado ao sensor. Na Figura 13, é indicado o local onde é prevista esta fixação.

Figura 13 – Localização do sensor no encaixe inferior



Fonte: Próprio autor

2.3.2.2 Protótipo físico da arena

Com base no projeto virtual desenvolvido, foi elaborado um protótipo físico da arena com o objetivo de representar a estrutura proposta e validar a aplicação do sistema de monitoramento da porta. O protótipo foi construído em escala reduzida, preservando os principais conceitos de funcionamento previstos para uma futura implementação em tamanho real.

Para a construção do protótipo, foram utilizados os seguintes materiais:

- 4 tábuas de madeira;
- 5 ripas de madeira;
- 1 placa de acrílico transparente;
- 1 placa de vidro;
- tinta preta para madeira;
- parafusos;
- fragmento de ímã permanente;
- guia deslizante reaproveitada de móvel.

As laterais e a base da arena foram confeccionadas utilizando quatro tábuas de madeira com dimensões aproximadas de $30 \times 30 \text{ cm}$ e espessura de $2,5 \text{ cm}$. Para sustentação da parte superior e inferior da estrutura, foram utilizadas cinco ripas de madeira com aproximadamente 5 cm de largura e espessura de $2,5 \text{ cm}$, sendo quatro delas com cerca de 35 cm de comprimento e uma com aproximadamente 30 cm .

A porta foi construída com uma placa de acrílico transparente, permitindo a visualização do interior da arena e representando, em escala reduzida, a aplicação do policarbonato prevista para a versão final da estrutura. Na parte superior da arena foi instalada uma placa de vidro, também transparente, possibilitando a visualização interna durante os testes.

Para permitir o movimento vertical da porta, foi utilizada uma guia deslizante reaproveitada de um móvel, funcionando como canaleta para condução da placa de acrílico durante a abertura e o fechamento da arena.

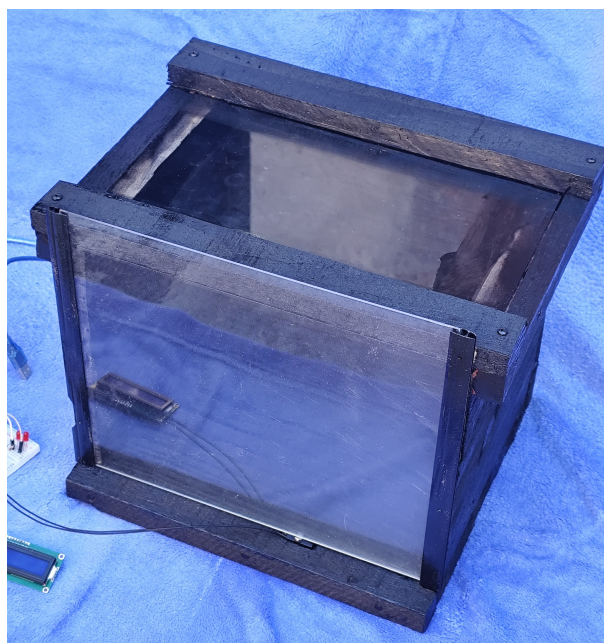
A montagem da estrutura foi realizada exclusivamente por meio de fixações mecânicas com parafusos. Após a conclusão da montagem, todas as peças de madeira receberam pintura na cor preta para melhorar o acabamento do protótipo.

Para a implementação do sistema de monitoramento da porta, foi instalado um sensor magnético do tipo *reed switch* na estrutura fixa da arena e um fragmento de ímã permanente na porta móvel. Dessa forma, a aproximação entre o sensor e o ímã indica a condição de porta fechada, enquanto seu afastamento permite identificar a abertura da arena. Essa configuração

permite detectar o estado da porta sem interferir em sua movimentação, promovendo a integração entre a estrutura física e o sistema eletrônico de segurança proposto.

As Figuras 14 e 15 apresentam o protótipo físico desenvolvido e seus principais elementos construtivos. A Figura 16 apresenta o posicionamento do sensor magnético do tipo reed switch na estrutura fixa da arena, bem como o ímã permanente instalado na porta móvel.

Figura 14 – Protótipo físico da arena



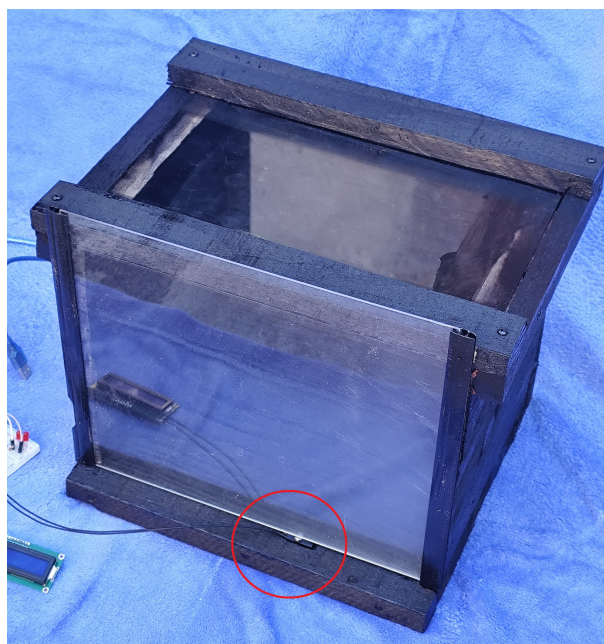
Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Detalhes do material



Fonte: Próprio autor

Figura 16 – Localização do Sensor



Fonte: Próprio autor

2.4 RESULTADO E DISCUSSÃO

2.4.1 Validação do Sistema Eletrônico

Após a montagem do protótipo físico, foram realizados testes com o objetivo de verificar o funcionamento do sistema eletrônico desenvolvido. Inicialmente, os componentes foram avaliados individualmente, incluindo o sensor magnético, os LEDs indicadores, o buzzer e o botão de acionamento. Posteriormente, foram realizados testes integrados para validação da lógica de funcionamento proposta.

Os ensaios demonstraram que o sensor magnético foi capaz de identificar corretamente as condições de abertura e fechamento da porta da arena. Quando o ímã permaneceu próximo ao sensor, o sistema reconheceu a condição de porta fechada, habilitando a realização dos testes. Por outro lado, o afastamento do ímã foi corretamente interpretado como abertura da porta, bloqueando imediatamente o início ou continuidade dos ensaios.

A sinalização visual apresentou comportamento compatível com a lógica estabelecida. Na condição de porta aberta, os LEDs vermelhos foram acionados de forma intermitente, alertando o operador sobre a condição insegura. Após o fechamento da porta, os LEDs verdes passaram a indicar a condição segura de operação.

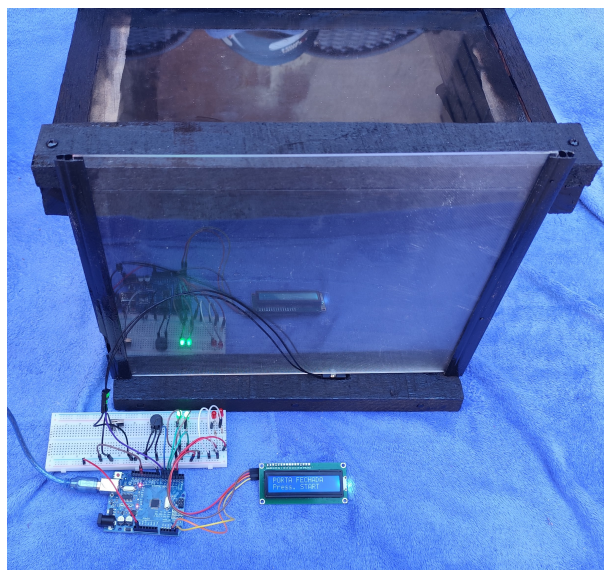
O sistema de alerta sonoro também apresentou funcionamento adequado, emitindo sinais periódicos sempre que a porta permaneceu aberta. Esse recurso contribui para aumentar a percepção do operador sobre possíveis condições de risco durante a utilização da arena.

O botão de acionamento foi utilizado para iniciar o temporizador de testes. Após um único

acionamento, o sistema iniciou corretamente a contagem regressiva programada, sem necessidade de manter o botão pressionado. Durante os testes, verificou-se ainda que a abertura da porta durante a contagem resultava na interrupção imediata do procedimento, conforme previsto na lógica de segurança desenvolvida.

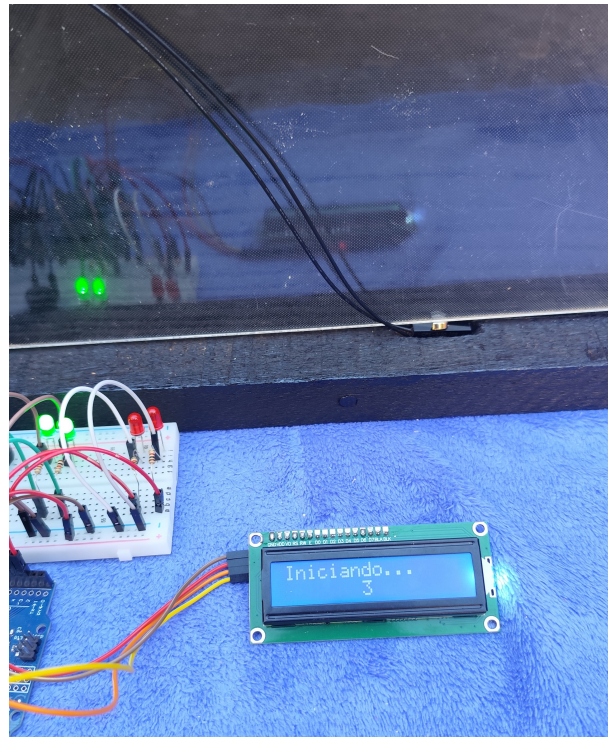
As Figuras 17 a 20 apresentam os principais estados de operação observados durante os testes do sistema eletrônico.

Figura 17 – Porta fechada e start off



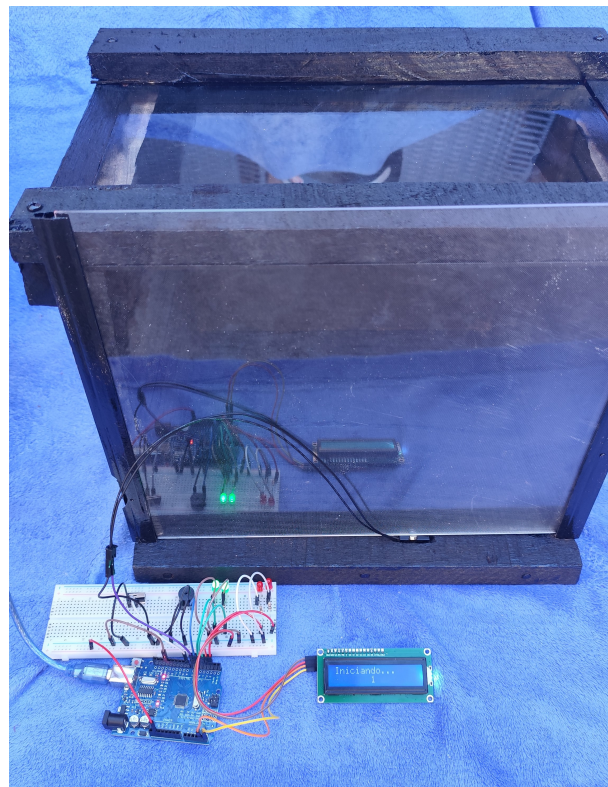
Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Porta fechada e contagem regressiva



Fonte: Próprio autor

Figura 19 – Porta fechada e teste em curso



Fonte: Próprio autor

Figura 20 – Porta aberta



Fonte: Próprio autor

2.4.2 Validação da Estrutura Proposta

O protótipo físico da arena permitiu demonstrar a aplicação prática do sistema de monitoramento desenvolvido. A estrutura construída reproduziu os principais elementos previstos no projeto virtual, incluindo a porta móvel e o sistema de detecção baseado em sensor magnético e ímã permanente. O mecanismo de deslizamento da porta, implementado por meio de uma guia reaproveitada de um móvel, permitiu reproduzir adequadamente o movimento previsto no projeto virtual.

Os testes realizados evidenciaram a viabilidade da solução proposta para monitoramento da porta da arena. O posicionamento adotado para o sensor e para o ímã permitiu a identificação adequada das condições de abertura e fechamento, possibilitando a integração com o sistema eletrônico de segurança.

Embora o protótipo tenha sido construído em escala reduzida e com materiais alternativos aos previstos para a versão final, sua utilização mostrou-se suficiente para validar o conceito proposto e demonstrar o funcionamento do sistema de monitoramento aplicado a arenas de testes para robôs de combate.

2.4.3 Estimativa de custos da solução proposta

Embora diversos materiais utilizados na construção do protótipo tenham sido reaproveitados, realizou-se um levantamento de preços de mercado para estimar o custo de fabricação do sistema caso todos os componentes fossem adquiridos especificamente para este projeto. Também foi elaborada uma estimativa de custos para a construção da arena proposta no projeto virtual, considerando os materiais especificados durante sua concepção. Dessa forma, buscou-se avaliar a viabilidade econômica da solução proposta, tanto na implementação do protótipo físico quanto em uma futura construção da arena em escala real. As Tabelas 3 e 4 apresentam um resumo dos custos estimados, enquanto o detalhamento dos valores levantados é apresentado nos Apêndices A e B.

Tabela 3 – Estimativa de custos para construção do protótipo

Item	Valor (R\$)
Sistema eletrônico	151,69
Estrutura da arena	275,58
Elementos de fixação	5,00
Total estimado	432,27

Fonte: Próprio autor.

Tabela 4 – Estimativa de custos para implementação da arena proposta

Item	Valor (R\$)
Sistema eletrônico	151,69
Estrutura da arena	3.454,40
Elementos de fixação e acionamento	38,00
Total estimado	3.644,09

Fonte: Próprio autor.

Observa-se que o custo do sistema eletrônico representa aproximadamente 4% do custo total estimado da arena proposta, indicando que a maior parcela do investimento está concentrada nos materiais estruturais, principalmente nas chapas de policarbonato e nos perfis metálicos utilizados na construção da arena. Destaca-se ainda que o sistema eletrônico considerado na estimativa de custos é o mesmo utilizado no protótipo desenvolvido neste trabalho, uma vez que seu objetivo foi validar o conceito de funcionamento da solução proposta. Em uma implementação definitiva, entretanto, o circuito eletrônico poderá ser aprimorado.

2.4.4 Limitações e trabalhos futuros

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e validar um sistema eletrônico para monitoramento da porta de uma arena destinada a testes de robôs de combate. Entretanto,

algumas limitações foram identificadas ao longo do desenvolvimento do projeto.

A principal limitação está relacionada à construção da estrutura da arena. Embora o projeto virtual tenha sido desenvolvido considerando uma estrutura metálica com paredes de policarbonato, o protótipo físico foi construído em escala reduzida e com materiais alternativos, visando reduzir custos e viabilizar a demonstração do conceito proposto. Dessa forma, não foi possível avaliar aspectos estruturais relacionados à resistência mecânica da arena frente aos impactos gerados por robôs de combate.

Outra limitação refere-se à validação do sistema em condições reais de operação. Os testes realizados concentraram-se na verificação do funcionamento do sensor magnético, dos dispositivos de sinalização e da lógica de controle implementada, não sendo realizados ensaios com robôs de combate em operação dentro da estrutura proposta.

Além disso, o sistema desenvolvido possui caráter informativo e preventivo, atuando por meio de sinalizações visuais e sonoras. Não foram implementados mecanismos de intertravamento capazes de interromper automaticamente a alimentação elétrica dos robôs ou impedir seu acionamento em condições inseguras.

Como trabalhos futuros, sugere-se a construção da arena em escala real utilizando os materiais previstos no projeto, possibilitando a avaliação de seu desempenho estrutural e da sua aplicação em ambientes de desenvolvimento de robôs de combate. Também recomenda-se a implementação de sistemas de intertravamento elétrico, capazes de bloquear o acionamento dos robôs quando a porta estiver aberta.

Considerando os riscos térmicos associados à utilização de baterias de lítio, recomenda-se também o desenvolvimento de sistemas auxiliares de monitoramento e mitigação de falhas térmicas. Entre as possibilidades destacam-se a implementação de sensores de temperatura, detectores de fumaça e sistemas de exaustão para remoção de gases e fumaça gerados em situações de superaquecimento ou falha dos componentes energizados.

Adicionalmente, podem ser estudadas funcionalidades complementares, como o registro automático de eventos, monitoramento remoto, integração com sistemas de parada de emergência e utilização de sensores industriais para aumentar a robustez e a confiabilidade do sistema. Também recomenda-se a investigação do uso de sensores redundantes para monitoramento da porta, bem como a avaliação da substituição do sensor magnético do tipo *reed switch* por sensores de fim de curso ou outros dispositivos de detecção de posição, buscando aumentar a confiabilidade da identificação dos estados de abertura e fechamento da arena.

3 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo propor e desenvolver um sistema eletrônico de segurança para monitoramento da porta de uma arena destinada à realização de testes de robôs de combate. Para isso, foi projetado um sistema baseado na plataforma Arduino Uno, utilizando um sensor magnético do tipo *reed switch*, sinalizações visuais e sonoras e um display LCD para comunicação com o operador.

Inicialmente, foi desenvolvido um protótipo virtual do sistema eletrônico, possibilitando a validação da lógica de funcionamento e a realização de ajustes antes da construção física. Em seguida, foi realizada a montagem do protótipo eletrônico e da estrutura representativa da arena, permitindo a integração dos componentes e a execução dos testes experimentais.

Os resultados obtidos demonstraram que o sistema foi capaz de identificar corretamente os estados de abertura e fechamento da porta, fornecer informações ao operador por meio do display LCD e impedir o início dos testes quando a arena se encontrava em condição insegura. Além disso, a implementação da contagem regressiva contribuiu para aumentar o controle operacional durante a realização dos testes. A integração entre o sistema eletrônico e o protótipo físico da arena permitiu demonstrar a aplicação prática da solução proposta.

Dessa forma, considera-se que os objetivos propostos foram alcançados, evidenciando a viabilidade da utilização de sistemas embarcados de baixo custo como ferramenta de apoio à segurança em atividades de desenvolvimento e validação de robôs de combate. Espera-se que o trabalho possa servir como base para futuras implementações e aprimoramentos voltados ao aumento da segurança operacional em ambientes de teste.

REFERÊNCIAS

- BALSAMO, A. C. R.; CABRAL, B. V.; SANFELICE, R. C. **Estudo Comparativo entre Materiais à Base de Vidro e Policarbonato em Projetos de Superfícies Transparentes**. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, 2019. Disponível em: <http://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/view/3904>.
- Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Estudo Técnico nº 03/2021 – DINVI: Ensaio de Baterias de Lítio**. Departamento de Segurança Contra Incêndio – Diretoria de Investigação de Incêndio, 2021. Disponível em: <https://segurancacontra incendio.cbm.df.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/Estudo-Tecnico-no-03-2021-Ensaio-de-Baterias-de-Litio-CBMDF-2.pdf>.
- Covestro. **Makrolon® 3103 Polycarbonate**. Covestro, 2025. Disponível em: https://sujiawuxing.com/polymer_Covestro-Makrolon-3103-Polycarbonate.php.
- FELISARDO, R. J. A.; SANTOS, G. N. dos; GALRÃO, D. G. **Uso do Arduino como Ferramenta de Prototipagem para Desenvolvimento de Dispositivos Automáticos: Uma Revisão**. Caderno de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2023. Disponível em: <https://periodicos.grupotiradentes.com/cadernoexatas/article/view/11325/5269>.
- FONSECA, L. M. B. et al. **Automação de Casas e Estabelecimentos Comerciais através de Microcontroladores: Uma Revisão da Aplicabilidade do Arduino**. Revista Tecnológica da Fatec Americana, 2020. Disponível em: <https://www.fatec.edu.br/revista/index.php/RTecFatecAM/article/view/245/273>.
- Last Minute Engineers. **Reed Switch – How it Works, Interfacing with Arduino**. Last Minute Engineers, 2022. Disponível em: <https://lastminuteengineers.com/reed-switch-arduino-tutorial>.
- PATSKO, L. F. **Tutorial: Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Maxwell Bohr, 2006. Disponível em: https://www.academia.edu/download/61542650/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores20191217-81336-1vhqger.pdf.
- PINOTTI, F. **Robôs Batalham, Lutam Sumô e até Jogam Futebol na Campus Party**. CNN Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/robos-batalham-lutam-sumo-e-ate-jogam-futebol-na-campus-party/>.
- RoboCore. **Combate de Robôs: Regras**. RoboCore, 2023. Disponível em: <https://robocore-eventos.s3.sa-east-1.amazonaws.com/public/Regras+-+Combate.pdf>.
- RoboCore. **Área de Boxes: Procedimentos**. RoboCore, 2023. Disponível em: <https://robocore-eventos.s3.sa-east-1.amazonaws.com/public/Procedimentos+-+Boxes.pdf>.
- RoboCore. **Combate de Robôs**. RoboCore, 2025. Disponível em: <https://www.combatederobos.com.br/>.
- VILELA, R. A. G. **Acidentes do Trabalho com Máquinas: Identificação de Riscos e Prevenção**. Prefeitura Municipal de Piracicaba, 2000. Disponível em: <http://www.cerest.piracicaba.sp.gov.br/site/images/caderno520segurancaem20maquin1.pdf>.

APÊNDICE A – CUSTOS DO PROTÓTIPO

Tabela 5 – Estimativa de custos do protótipo físico desenvolvido

Item	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Tábuas de madeira pinus (30 cm)	1	87,36	87,36
Ripas de madeira	1	31,00	31,00
Tinta para madeira	1	55,00	55,00
Placa de vidro	1	38,02	38,02
Placa de acrílico	1	64,20	64,20
Parafusos	20	0,25	5,00
Arduino Uno	1	59,90	59,90
Kit sensor magnético tipo <i>reed switch</i>	1	27,08	27,08
Display LCD 16×2 I2C	1	16,05	16,05
LED vermelho	1	2,00	2,00
LED verde	1	2,00	2,00
Buzzer piezoelétrico 5 V	2	5,90	11,80
Resistores	1	0,71	0,71
Protoboard	1	10,35	10,35
Kit de jumpers (40 unidades)	1	7,90	7,90
Fonte de alimentação 5 V / 1 A	1	13,90	13,90
Total			432,27

Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE B – ESTIMATIVA DE CUSTOS DA ARENA PROPOSTA

Tabela 6 – Estimativa de custos para construção da arena proposta

Item	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Chapa de policarbonato 6 mm (1,0 m × 2,0 m)	3	759,00	2.277,00
Chapa de aço/alumínio 3 mm (1,0 m × 2,0 m)	1	860,00	860,00
Perfil de alumínio em U (1 m)	4	30,00	120,00
Cantoneira de alumínio 20 mm × 20 mm × 2,0 m	6	32,90	197,40
Arduino Uno	1	59,90	59,90
Kit sensor magnético do tipo <i>reed switch</i>	1	27,08	27,08
Display LCD 16×2 I2C	1	16,05	16,05
LED vermelho	1	2,00	2,00
LED verde	1	2,00	2,00
Buzzer piezoelétrico 5 V	2	5,90	11,80
Resistores	1	0,71	0,71
Protoboard	1	10,35	10,35
Kit de jumpers (40 unidades)	1	7,90	7,90
Fonte de alimentação 5 V / 1 A	1	13,90	13,90
Kit de barras roscadas (3 unidades, 1 m, 8 mm)	1	38,00	38,00
Total			3.644,09

Fonte: Próprio autor.