



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**BRUNO JOÃO BATISTA CARVALHO**

**PROJETO DE ROBÔ PARA FUTEBOL DE ROBÔS DE BAIXO CUSTO**

**TUCURUÍ-PA  
2025**

**BRUNO JOÃO BATISTA CARVALHO**

**PROJETO DE ROBÔ PARA FUTEBOL DE ROBÔS DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Computação, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Marco José de Sousa.

**TUCURUÍ-PA**

**2025**

**BRUNO JOÃO BATISTA CARVALHO**

**PROJETO DE ROBÔ PARA FUTEBOL DE ROBÔS DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Computação, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Data da Defesa: 28 de Março de 2025

Conceito:

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr(a). Marco José de Sousa**

Faculdade de Eng. Computação – UFPA

Orientador

---

**Prof. Dr. Daniel da Conceição Pinheiro**

Faculdade de Eng. Computação – UFPA

Membro da Banca

---

**Prof. Dr. Renato Luz Cavalcante**

Faculdade de Eng. Computação – UFPA

Membro da Banca

**TUCURUÍ-PA**

**2025**

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô de categoria VSSS (Very Small Size Soccer) de baixo custo, utilizando componentes acessíveis e fabricação por impressão 3D. O projeto visa proporcionar uma alternativa econômica para equipes que desejam participar de competições de futebol de robôs sem comprometer o desempenho. Para isso, foram projetados um chassi e uma carcaça compatíveis com qualquer impressora 3D, além de um sistema eletrônico eficiente e um software de controle para validar sua funcionalidade. O desenvolvimento seguiu as especificações da categoria VSSS, garantindo conformidade com as competições da RoboCore. O resultado é um protótipo funcional, com estrutura otimizada e componentes de fácil obtenção, demonstrando a viabilidade técnica e econômica da solução proposta. A abordagem empregada possibilita maior inclusão de equipes em torneios de robótica, reduzindo barreiras financeiras e incentivando a inovação no desenvolvimento de robôs autônomos.

**Palavras-chave:** VSSS, futebol de robôs, baixo custo, impressão 3D, robótica.

## ABSTRACT

This paper presents the development of a low-cost robot in the VSSS (Very Small Size Soccer) category, using affordable components and 3D printing techniques. The project aims to provide an economical alternative for teams that wish to participate in robot soccer competitions without compromising performance. To this end, a chassis and housing compatible with any 3D printer were developed, along with an efficient electronic system and control software to validate its functionality. The development aligns with the VSSS category specifications, ensuring compliance with RoboCore competitions. The outcome is a functional prototype featuring an optimized structure and easily accessible components, demonstrating the technical feasibility and cost-effectiveness of the proposed solution. The approach adopted facilitates greater inclusion of teams in robotics tournaments, reducing financial barriers and encouraging innovation in the development of autonomous robots.

**Keywords:** VSSS, robot soccer, low-cost, 3D printing, robotics

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1— Estrutura e funcionamento da categoria SSL- RoboCup .....	12
Figura 2— Estrutura e funcionamento da categoria VSS - RoboCore.....	12
Figura 3 — Campo e Robôs da categoria VSS .....	13
Figura 4 — Estrutura Eletrônica do Robô .....	15
Figura 5 — Segunda Forma de Conexão dos Componentes .....	15
Figura 6 — Célula de Lítio.....	16
Figura 7 — Motor DC 3-6 V com Caixa de Redução e Eixo Duplo.....	16
Figura 8 — Mini Ponte H Dupla, modelo MX1616.....	17
Figura 9 — Roda com pneu.....	17
Figura 10 — Regulador / Conversor Dc Dc Buck Boost XL6019 .....	18
Figura 11 — Módulo carregador .....	18
Figura 12 — Módulo NodeMcu Amica ESP-12E.....	19
Figura 13 — Micro Motor com caixa de redução 6 V e 500 RPM .....	19
Figura 14 — Bateria de LiPo 7,4 V e 250mAh 20C. ....	20
Figura 15 — Estrutura do Robô .....	21
Figura 16 — Dimensões do Robô .....	21
Figura 17— Desenho virtual da placa na interface do Software.....	22
Figura 18 — Desenho da Placa Produzida no KiCad.....	22
Figura 19 — mostra o NodeMcu conectado na placa. ....	23
Figura 20 — Área de trabalho do software Solid Works. ....	24
Figura 21— Área de Trabalho do XYZWARE.....	25
Figura 22 — Impressora XYZprinting 3D PLA - da Vinci 3 in 1 Pro .....	26
Figura 23— Material PLA (Ácido Poliláctico). ....	26
Figura 24 — Montagem e Teste do Circuito Eletrônico do Robô.....	27
Figura 25— Robô Montado com a parte Eletrônica e Mecânica. ....	28
Figura 26 — Vista Frontal com o Robô aberto. ....	28
Figura 27 — Pode-se observar o robô montado, com a visão da parte frontal e vista lateral. .	29

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 OBJETIVO .....</b>	<b>8</b>
2.1 GERAL: .....	8
2.2 ESPECÍFICOS: .....	8
<b>3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>9</b>
<b>4 FUTEBOL DE ROBÔS .....</b>	<b>10</b>
<b>5 PROPOSTA DO ROBÔ VSS E ELETRÔNICA EMBARCADA .....</b>	<b>14</b>
5.1 ELETRÔNICA EMBARCADA.....	14
5.1.1 Viabilidade técnica .....	19
5.1.2 Comparação de custos .....	19
5.1.3 Arquitetura proposta .....	20
<b>6 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO .....</b>	<b>22</b>
<b>7 IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DO ROBÔ VSS.....</b>	<b>24</b>
<b>8 MONTAGEM, TESTE E CUSTOS DO ROBÔ .....</b>	<b>27</b>
8.1 TESTE ELETRÔNICO .....	27
8.2 CUSTOS .....	29
<b>9 DISPONIBILIZAÇÃO DE CONTEÚDO E REPRODUTIBILIDADE DO PROJETO.....</b>	<b>30</b>
9.1 DISPONIBILIZAÇÃO DO CONTEÚDO .....	30
9.2 REPRODUTIBILIDADE DO PROJETO .....	30
<b>10 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>31</b>
<b>11 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A robótica, especialmente aplicada a competições estudantis e tecnológicas, tem se expandido significativamente, proporcionando uma plataforma valiosa para o desenvolvimento acadêmico e prático de habilidades em diversas áreas da engenharia e da tecnologia. Com isso, surgem organizações responsáveis por promover competições de robótica no Brasil. Uma das organizações que se destacam nesse cenário é a *RoboCore*, uma loja virtual de componentes eletrônicos, desenvolvedora e fabricante de placas e kits de robótica, destacando-se com categorias como VSSS (*Very Small Size Soccer*), RC (*Radio-Controlled*) e autônomo. (ROBOCORE TECNOLOGIA, 2005).

O Brasil possui também a *RoboCup* Brasil, ela é a edição nacional da *RoboCup*, uma iniciativa científica internacional que visa promover o avanço da inteligência artificial e da robótica inteligente. No Brasil, a competição é conhecida como Competição Brasileira de Robótica e ocorre anualmente, reunindo equipes de diversas instituições para disputar em diversas categorias, como *RoboCup Soccer*, *RoboCup @Home*, *RoboCup @Work* e *RoboCup Junior*. (ROBOCUP BRASIL, 2024). Essas competições desafiam as equipes a desenvolverem robôs com características específicas, como precisão no controle remoto, autonomia e de partidas de futebol em pequena escala.

No contexto da categoria *Very Small Size Soccer* ou somente *Very Small Size* (VSS) trata-se de uma das formas de disputa de futebol de robôs. Assim como no futebol clássico, têm-se o mesmo objetivo que é de vencer a partida através das marcações de gols. Na VSS duas equipes de 3 robôs de até  $7,5 \times 7,5 \times 7,5$  cm jogam a partida. (EVENTS ROBOCORE, 2024). Contudo, o custo dos componentes eletrônicos e de construção do robô tem sido um dos maiores desafios, dificultando a participação em tais competições para muitas equipes, especialmente aquelas com recursos limitados.

Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo de robô VSS de baixo custo, utilizando peças acessíveis, potencialmente sem comprometer a performance necessária para competir. A proposta busca fornecer uma alternativa viável para equipes iniciantes e instituições educacionais. Esse modelo pretende ser uma solução econômica, permitindo que mais equipes possam desenvolver robôs competitivos e participar ativamente das competições promovidas pela *RoboCore*, *RoboCup* ou outras competições similares.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 GERAL:**

Desenvolver um robô para futebol mini de baixo custo e utilizando componentes de fácil acesso.

### **2.2 ESPECÍFICOS:**

- Desenvolver um modelo de chassi e carcaça que possa ser impresso em qualquer impressora 3D;
- Desenvolver um projeto eletrônico compatível com a proposta do robô para campeonatos de futebol.
- Desenvolver um software para demonstrar a viabilidade do projeto proposto.

### **3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho de conclusão de curso está dividido por capítulos. O Capítulo 1, futebol de robôs, discute como funciona a natureza de futebol de robôs de algumas competições. O Capítulo 2, Proposta do Robô VSS, apresenta o desenvolvimento de um modelo de robô compacto e acessível, visando atender às dimensões regulamentadas e reduzir os custos de produção para ampliar o acesso às competições. O Capítulo 3, Componentes e Configurações do Robô VSS, descreve os componentes e a eletrônica embarcada no robô, incluindo o diagrama de conexão entre os componentes, e realiza uma análise de viabilidade técnica e de custo-benefício.

O Capítulo 4, Placa de Circuito Impresso, aborda o design e a fabricação da PCB do robô, mostra o software utilizado para confeccionar a placa. Nela são detalhadas as funcionalidades do software, como a criação de esquemas, layout de PCB e renderização 3D e outros. Já o Capítulo 5, A impressão 3D Na Fabricação de Componentes Estruturais do robô, evidencia também a ferramenta de modelagem tridimensional utilizada no projeto. O Capítulo 6, retrata a montagem, testes realizados e o custo do projeto. Capítulo 7, Disponibilização do conteúdo e Reprodutibilidade do Projeto. Capítulo 8, Conclusão e trabalhos futuros.

## 4 FUTEBOL DE ROBÔS

O futebol de robôs é uma modalidade que combina diversas disciplinas da engenharia, incluindo inteligência artificial e estratégia, em um ambiente competitivo. Essa área tem ganhado destaque como uma ferramenta educacional e de pesquisa, promovendo o avanço de tecnologias voltadas para robótica autônoma, visão computacional e sistemas de controle. A dinâmica do futebol de robôs simula, em escala reduzida, os desafios presentes em esportes reais, como coordenação em equipe, tomada de decisões em tempo real e precisão de movimentos.

No Brasil, duas instituições se destacam na organização e promoção dessas competições: a *RoboCup* Brasil e a *RoboCore*. A *RoboCup* Brasil é o braço nacional da renomada *RoboCup*, uma iniciativa internacional que busca fomentar a pesquisa em inteligência artificial e robótica por meio de competições desafiadoras. Com categorias como *Soccer League* e *Rescue League*, a *RoboCup* Brasil reúne anualmente equipes de diversas universidades e centros de pesquisa, incentivando a troca de conhecimentos e o desenvolvimento científico. (ROBOCUP BRASIL, 2024)

Por sua vez, a *RoboCore* é conhecida por suas competições de robótica inovadoras, incluindo o Futebol Mini, uma modalidade de robôs pequenos e acessíveis. Focada em promover o aprendizado prático e o desenvolvimento tecnológico, a *RoboCore* atrai participantes de diferentes níveis, desde iniciantes até equipes experientes, em um ambiente que valoriza a criatividade e o espírito de equipe. (ROBOCORE, 2025).

Essas instituições desempenham um papel fundamental no cenário nacional, criando oportunidades para que estudantes, pesquisadores e entusiastas explorem os limites da robótica e da inteligência artificial. Por meio de suas competições, a *RoboCup Brasil* e a *RoboCore* não apenas incentivam a inovação tecnológica, mas também contribuem para a formação de profissionais capacitados a enfrentar os desafios de um futuro cada vez mais tecnológico.

A Competição Brasileira de Robótica (CBR), organizada pela *RoboCup* Brasil, contempla uma variedade de categorias que estimulam o desenvolvimento de robôs autônomos em múltiplos contextos, desde simulações virtuais até aplicações industriais e domésticas. Entre as modalidades mais representativas está o futebol de robôs, que se consolidou como uma das principais frentes da competição por sua complexidade técnica e valor pedagógico. A seguir, são apresentadas as modalidades da *RoboCup* e da *RoboCore*, bem como uma comparação entre suas categorias mais relevantes: a *Small Size League (SSL)* e a *Very Small Size Soccer (VSS)*.

As principais modalidades que são ofertadas pela RoboCup e RoboCore

#### Modalidades da RoboCup

- Simulação 2D e 3D: Futebol virtual com ênfase em estratégias de IA, sem uso de hardware físico.
- Liga Humanoide: Robôs que imitam estrutura humana, realizando partidas de futebol.
- Robocup @Casa: Robôs assistentes executando tarefas domésticas em ambientes interativos.
- Liga de Robôs Voadores: Drones demonstrando habilidades em navegação e inspeção industrial.
- Robocup @Trabalho: Robôs industriais organizando e transportando objetos em ambientes simulados.
- Robocup Resgate: Robôs em simulações de busca e resgate em cenários de desastre.

#### Modalidades da RoboCore

- Combate de Robôs: Lutas entre robôs divididos por categorias de peso, até nocaute.
- Hockey de Robôs: Partidas de hockey entre equipes com três robôs cada.
- Sumô de Robôs: Robôs competindo para empurrar adversários para fora do ringue.
- Seguidor de Linha: Robôs autônomos seguindo rapidamente uma linha determinada.
- Trekking: Navegação autônoma de robôs por pontos definidos, evitando obstáculos.

Além das categorias apresentadas, tanto a RoboCup quanto a RoboCore também possuem modalidades de futebol de robôs: a SSL, no caso da RoboCup, e a Mini VSS, oferecida pela RoboCore.

SSL (Small Size League): Equipes com até 11 robôs autônomos, jogando em campo de 6,75 m x 4,50 m, com bola de 43 mm. Podemos observar o funcionamento da categoria SSL na figura 1.

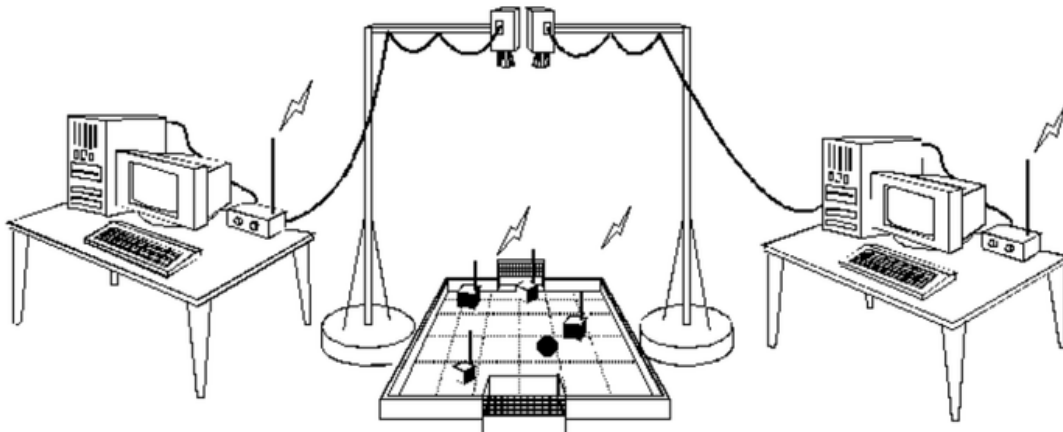
Figura 1— Estrutura e funcionamento da categoria SSL- RoboCup



Fonte: (RoboCup, 2022).

Futebol de Robôs da RoboCore: Três robôs por equipe, com até 7,5 x 7,5 x 7,5 cm, em campo de 1,5 m x 1,3 m.

Figura 2— Estrutura e funcionamento da categoria VSS - RoboCore



Fonte: IEEE (2008).

Cada categoria apresenta um desafio específico, na VSS, em especial, demanda um design eficiente e compacto. As restrições rígidas quanto ao tamanho do robô e os requisitos estruturais tornam o processo de construção desafiador, exigindo soluções inteligentes para otimizar o espaço interno sem comprometer a funcionalidade. A figura 3 mostra por outro ângulo o campo e os robôs da categoria VSS.

Figura 3 — Campo e Robôs da categoria VSS



Fonte: (PENA *et al.*, 2020).

#### Comparativo entre SSL e VSS

A categoria SSL da RoboCup utiliza campos amplos, robôs maiores (com até 90 cm) e estruturas sofisticadas, exigindo maior investimento e conhecimento técnico. Já a VSS, da RoboCore, adota robôs pequenos (até 7,5 cm) e um campo reduzido, favorecendo projetos educacionais de baixo custo. Ambas as categorias são autônomas, mas a VSS se destaca por sua acessibilidade, simplicidade e viabilidade para iniciantes.

A tecnologia adotada na VSS é ilustrada na Figura 2, que mostra o uso de visão computacional por meio de câmeras suspensas, processamento de imagem em tempo real e envio de comandos aos robôs por redes sem fio, como Wi-Fi ou Bluetooth. Esse sistema permite que os robôs atuem de forma coordenada, sem intervenção humana direta, tornando a experiência mais próxima da robótica autônoma competitiva.

Cada categoria apresenta desafios específicos. Na VSS, em especial, as restrições rígidas quanto ao tamanho e estrutura dos robôs exigem soluções inteligentes para otimizar o espaço interno, garantindo funcionalidade mesmo com design compacto.

Diante das modalidades supracitadas, optou-se pelo futebol VSS da RoboCore devido ao seu potencial de baixo custo e à estrutura de campo reduzida. A competição da RoboCup, por sua vez, demanda campos com dimensões similares às de uma quadra de futsal real, além de robôs mais pesados e complexos, frequentemente com partes metálicas e atuadores de chute. Em contrapartida, as exigências da RoboCore estão em plena consonância com os objetivos e limitações deste projeto.

## 5 PROPOSTA DO ROBÔ VSS E ELETRÔNICA EMBARCADA

A construção de um robô VSS apresenta desafios significativos, principalmente no que se refere ao *design* compacto e à integração de componentes eletrônicos e mecânicos dentro das dimensões regulamentadas pelas competições promovidas pela *RoboCore*. De acordo com as especificações da competição, o robô deve ter no máximo 75 mm de diâmetro e 75 mm de altura. Essa limitação de tamanho exige um planejamento cuidadoso e eficiente na escolha dos componentes e na disposição interna do robô (MOURA *et al.*, 2019).

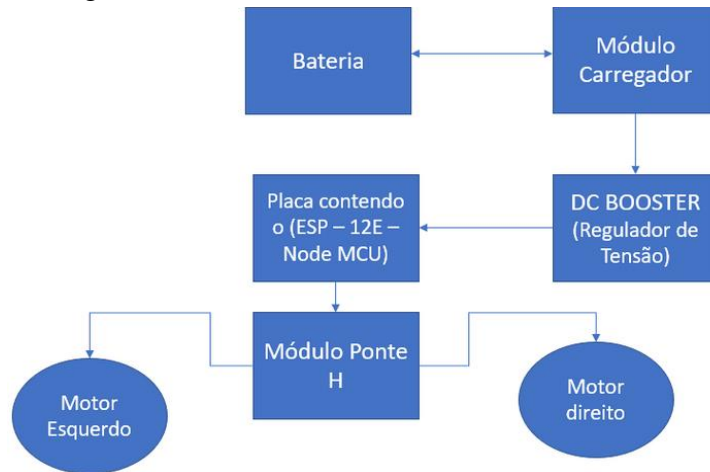
Atualmente, algumas peças podem ser encontradas até mesmo em mercado local, enquanto outras só podem ser obtidas por importação, especialmente controladores e Baterias de LiPo, que normalmente são obtidas através de importação por não possuírem a pronta entrega no mercado nacional.

Esses custos elevados e a dificuldade de encontrar alguns componentes, representam um obstáculo para muitas equipes, limitando a participação em competições e a disseminação do aprendizado em robótica (SILVA, 2021). Portanto, a proposta deste trabalho é desenvolver um modelo de robô VSS com peças de fácil acesso, que contribua para a popularização das competições com robôs, e atenuar as limitações financeiras das instituições envolvidas, possibilitando a utilização de peças mais fáceis de encontrar, sem comprometer o desempenho e a competitividade do robô.

### 5.1 ELETRÔNICA EMBARCADA

Foram utilizados os seguintes componentes no projeto: uma bateria de lítio, dois motores com caixa de redução, um regulador de tensão, um módulo carregador de bateria, um módulo NodeMCU, duas Roda com Pneu – 4x40mm, mini Ponte H Dupla MX1616 e uma esfera Deslizante 3/8. Optou-se pelo uso desses componentes por possui um baixo custo, comparado aos componentes comumente utilizados e por serem fácil de encontrar. A figura 4 ilustra como cada componente foi conectado:

Figura 4 — Estrutura Eletrônica do Robô

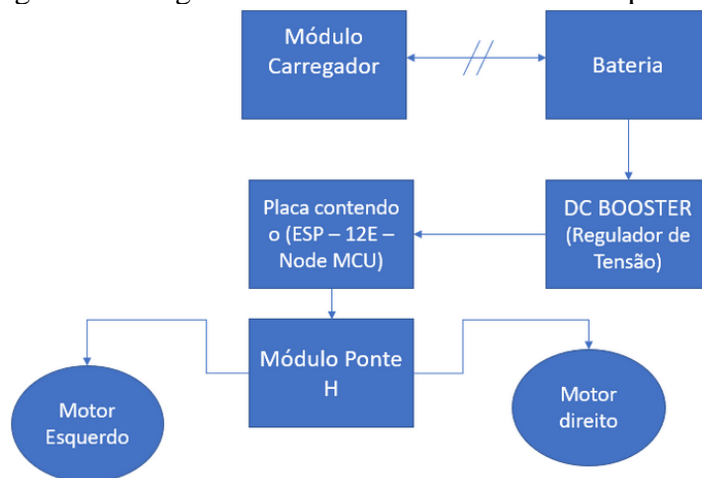


Fonte: Autoria Própria, 2025.

Existem duas maneiras de fazer a conexão geral, a primeira é mostrada na figura 4, a Célula está ligada de maneira bidirecional ao módulo carregador, por sua vez, está conectado ao DC booster ou (modulo regulador de tensão), ele está conectado ao ESP – 12E ou (microcontrolador) que comanda a ponte h, para que ela envie sinais de acionamentos para os motores.

A segunda forma seria colocando um modulo de carregador externo, como mostrado na figura 5. Dessa forma, reduzindo a necessidade de espaço ocupado pela eletrônica e reduzindo o peso do robô. A única desvantagem seria a ausência de controle de descarga.

Figura 5 — Segunda Forma de Conexão dos Componentes



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Fonte de energia: A célula utilizada como fonte de energia foi do padrão 18650 de 3,7 V, 2500 mAh. A figura 6, mostra a imagem da bateria. A escolha desse modelo se justifica pelo

baixo custo e disponibilidade, pois é amplamente utilizada em diversos dispositivos eletrônicos e projetos de engenharia. Além disso, possui capacidade suficiente para operar os motores do robô por mais de 3 horas continuamente. (RoboCore tecnologia, [sd]).

Figura 6 — Célula de Lítio.



Fonte: RoboCore Tecnologia, [sd].

**Motor com Caixa de Redução:** Como mostrado na figura 7, trata-se de um motor DC compacto, ideal para robôs e pequenos projetos. Parte do motor é o próprio motor DC (parte metálica superior). Sistema de engrenagem (parte amarela), engrenagens que reduzem a rotação e aumentam o torque. Funciona com tensão de 3-6 V, oferecendo rotação de até 210 RPM a 6 V. A escolha desse motor se dá pelo seu custo-benefício e pela ampla disponibilidade. (RoboCore Tecnologia, sd]).

Figura 7 — Motor DC 3-6 V com Caixa de Redução e Eixo Duplo.

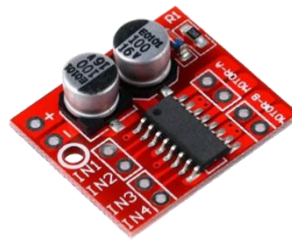


Fonte: RoboCore Tecnologia, [sd].

Para realizar o acionamento dos motores, foi utilizado a Mini Ponte H Dupla baseada no circuito integrado MX1616, mostrada na figura 10. Essa placa foi escolhida pelo seu

tamanho reduzido e a sua capacidade de potência suficiente para o acionamento dos motores escolhidos. (RoboCore Tecnologia, [sd]).

Figura 8 — Mini Ponte H Dupla, modelo MX1616.



Fonte: RoboCore Tecnologia, [sd].

Roda com Pneu – 4x40mm: mostrada na figura 9, é uma roda plástica de 40mm de diâmetro, com pneu de borracha maciça. Possui encaixes para motores DC com caixa de redução. Ressalta-se que o chassi da proposta do robô desenvolvido requer um conjunto de rodas estreitas, pelo fato do robô possuir tamanho limitado. Esse modelo é amplamente disponível e de baixo custo. (CASA DA ROBÓTICA, [sd]).

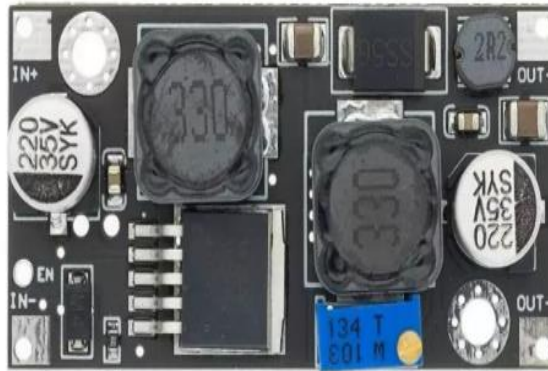
Figura 9 — Roda com pneu.



Fonte: Casa da Robótica, [sd].

Regulador de Tensão XL6019: mostrado na figura 10, é ideal para alimentação de motores, microcontroladores ou outros circuitos elétricos que operem dentro das faixas de tensões e correntes especificadas. A preferência por esse componente se deu por ele ser compacto suficiente para a proposta desse trabalho. ((ROBOCORE TECNOLOGIA, [sd])).

Figura 10 — Regulador / Conversor Dc Dc Buck Boost XL6019



Fonte: Mercado Livre, [sd].

Módulo-Carregador de Baterias de Lítio TP4056: mostrado na figura 11, possui LED indicador de carga e fácil conexão por cabo micro usb, possibilitando que as baterias sejam recarregadas sem a necessidade de removê-las do circuito. Ele é indicado para utilização em robôs, drones e outros equipamentos, conta com a facilidade de recarga no próprio aparelho. Foi escolhido para o projeto pela ampla disponibilidade e baixo custo.

Figura 11 — Módulo carregador



Fonte: Instituto Digital [sd].

Módulo NodeMCU: é um ESP-12E, mostrado na figura 12. É uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266, uma interface usb-serial e um regulador de tensão 3,3 V. A programação pode ser feita usando LUA ou a IDE do Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb. Este módulo foi escolhido em função do seu tamanho reduzido, da sua ampla disponibilidade e pelo baixo custo (INSTITUTO DIGITAL, 2024).

Figura 12 — Módulo NodeMcu Amica ESP-12E



Fonte: Casa da Robótica [sd].

### 5.1.1 Viabilidade técnica

A proposta técnica visa otimizar o uso do espaço interno do robô, permitindo que todos os componentes sejam embarcados dentro das dimensões limitadas pela competição. A utilização de componentes acessíveis e a abordagem de design otimizado são estratégias que não apenas reduzem o custo total de produção, mas também tornam o projeto mais flexível, possibilitando ajustes rápidos. (Shapiro, 2015).

### 5.1.2 Comparação de custos

Tipicamente, a opção das equipes para construção dos seus robôs VSS é utilizando um micro motor 6V 500RPM figura 15 e Bateria de LiPo figura 16. Pois, são componentes médios, compactos e de alta performance.

Figura 13 — Micro Motor com caixa de redução 6 V e 500 RPM



Fonte: RoboCore,2005.

Figura 14 — Bateria de LiPo 7,4 V e 250mAh 20C.



Fonte: RoboCore, 2005.

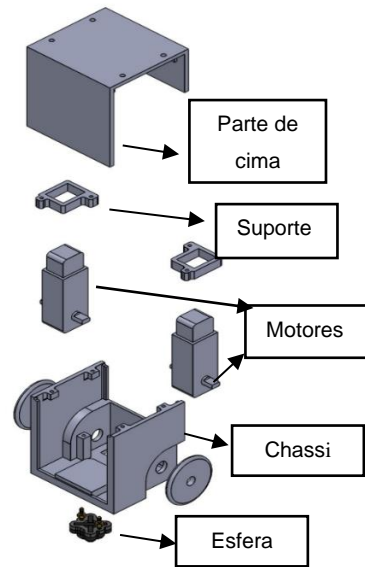
Entretanto, nessa aplicação em particular, optou-se pelos componentes listados no Capítulo 3. Considerou-se o custo e o fato de não ser uma aplicação de alta performance. Os componentes adotados tornam a solução mais acessível, uma vez que, o Micro Motor com Caixa de Redução 6 V 500 RPM da figura 13 tem um custo de três vezes maior, comparado ao Motor DC 3-6 V com Caixa de Redução e Eixo Duplo da figura 7. A Bateria LiPo 7,4V 250 mAh 20C mostrada na figura 14, é cinco vezes mais cara que a Bateria Li-Íon 3,7V 18650 2500mAh, comumente utilizada para a confecção de Robôs VSS. A comparação de custos foi realizada integralmente na loja virtual da RoboCore, visto que no dia da pesquisa, todos os componentes estavam disponíveis em estoque. RoboCore Tecnologia, 2025. Optou-se por utilizar esses componentes com um excelente custo benefício, sendo ideal para equipes com orçamentos limitados, especialmente em contextos educacionais.

### 5.1.3 Arquitetura proposta

A proposta de *design* deste robô busca atender às exigências da competição, mantendo as dimensões e funcionalidades previstas.

Estrutura: A estrutura do robô foi projetada para ser compacta, leve e resistente, atendendo às restrições de tamanho e peso. Sendo fabricada por meio de métodos de baixo custo, como a impressão 3D, permitindo flexibilidade no design e redução significativa de custos, sem comprometer a qualidade da construção (Bártolo *et al.*, 2017). Para acomodar todas as peças foram modeladas para garantir encaixes precisos e a otimização do espaço interno, acomodando todos os componentes necessários dentro das dimensões regulamentadas.

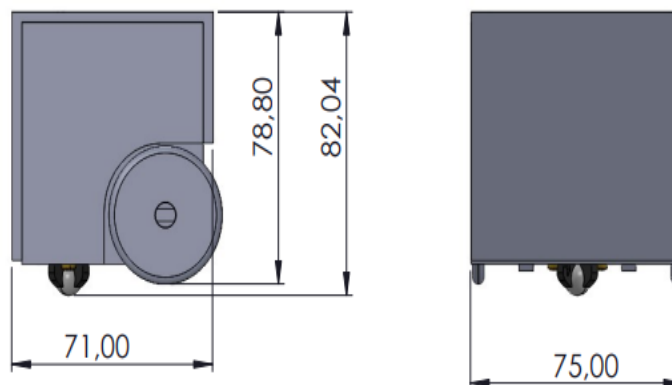
Figura 15 — Estrutura do Robô



Fonte: O autor (2025).

Como mostrado na figura 15, a vista expandida mostra como o robô é constituído, duas partes principais, o chassi do robô, onde é comportado a parte eletrônica, motores e rodas e a parte de cima, confeccionada de maneira estratégica para facilitar a sua manutenção, as dimensões abaixo são dadas em milímetros.

Figura 16 — Dimensões do Robô



Fonte: Autoria Própria, 2025.

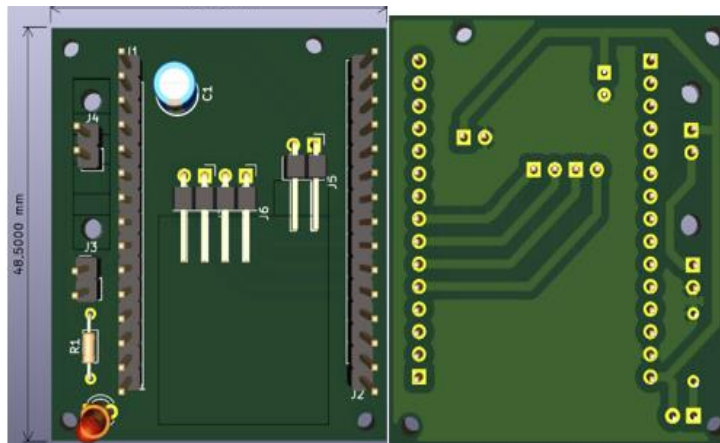
Na figura 16, mostra em outro ângulo, a parte lateral o aspecto do robô e as suas dimensões, que são, 75 mm na vista frontal e 71 mm de vista lateral, com altura de 82 mm, medidas dadas em centímetros. A vista expandida com todas as dimensões da estrutura está disponível no (APÊNDICE A).

## 6 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

A placa de circuito impresso (PCI) foi projetada especificamente para atender às demandas de espaço reduzido e integração eficiente dos componentes eletrônicos exigidos na categoria VSS. A PCI foi desenvolvida utilizando o software KiCad, KICAD. KiCad EDA - Software de captura esquemática e design de PCI.

A PCI projetada, mostra a figura 17 integra os componentes necessários ao funcionamento do robô da categoria VSS. Ela possui um layout compacto e otimizado, acomodando subsistemas como controle de motores, comunicação sem fio entre os componentes, enquanto mantém dimensões adequadas ao espaço limitado do robô. KICAD (2018-2020).

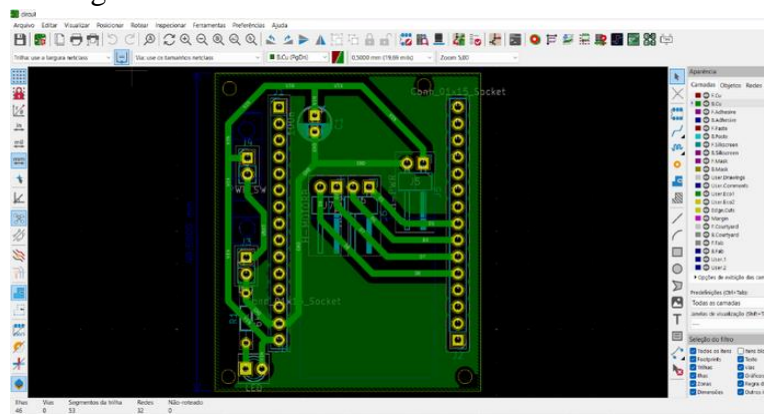
Figura 17— Desenho virtual da placa na interface do Software



Fonte: Autoria própria, 2025.

Após finalizar o desenho virtual da placa na interface do Software utilizado, é possível ver a projeção 3D na figura 20, com vista de frente e verso, o próprio KiCad disponibiliza a renderização após a conclusão. O esquemático da placa é encontrado no (APÊNDICE B).

Figura 18 — Desenho da Placa Produzida no KiCad.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 19 — mostra o NodeMcu conectado na placa.



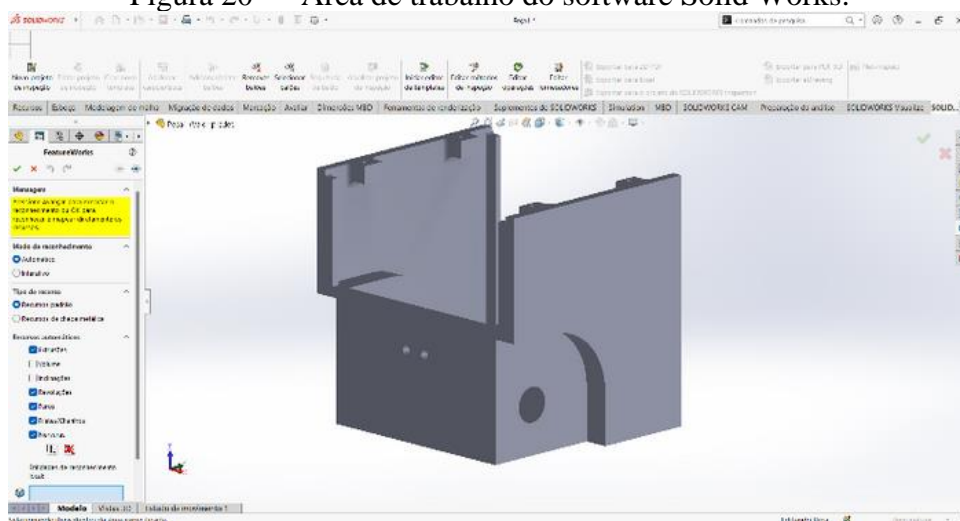
Fonte: Autoria própria, 2025.

## 7 IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DO ROBÔ VSS

A impressão 3D tem se consolidado como uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento de projetos inovadores, especialmente em áreas como a robótica e a engenharia. Essa tecnologia permite a criação de componentes complexos a partir de modelos digitais, oferecendo liberdade no design e a possibilidade de otimizações que seriam inviáveis por meio de métodos convencionais de fabricação (GEBHARDT, 2016).

Design do Robô: O design do robô foi desenvolvido utilizando o software SolidWorks, uma ferramenta robusta para modelagem tridimensional. Através dele, foi possível planejar cada detalhe estrutural do robô, simulando encaixes, verificando tolerâncias e garantindo que todas as partes fossem compatíveis. O uso de software CAD, como o SolidWorks, não apenas agiliza o processo de prototipagem, mas também permite revisões e ajustes contínuos ao longo do desenvolvimento.

Figura 20 — Área de trabalho do software Solid Works.

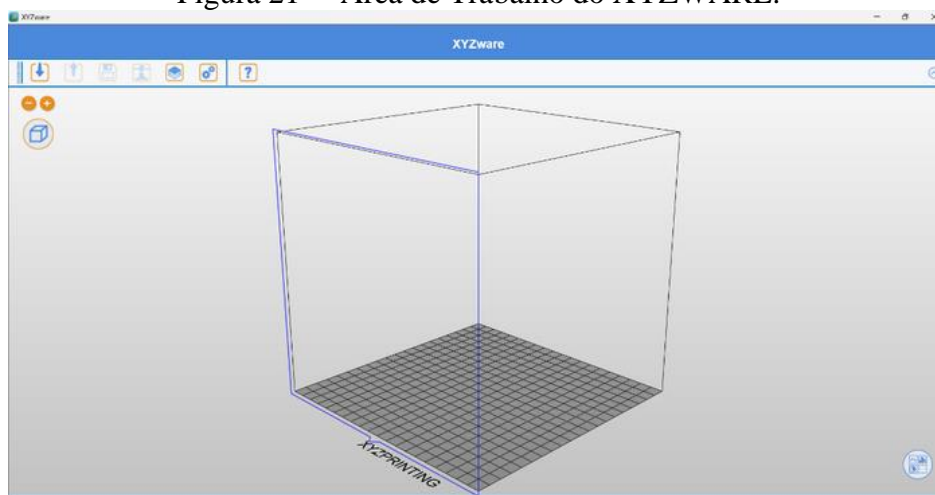


Fonte: Autoria própria, 2025.

A ferramenta é amplamente utilizada em projetos de engenharia e design industrial. O SolidWorks permite a criação de modelos tridimensionais com alta precisão, possibilitando que as peças sejam desenhadas de forma a atender aos requisitos de desempenho e às restrições de tamanho impostas pela competição. A escolha pelo SolidWorks foi baseada na sua capacidade de gerar desenhos técnicos detalhados e em 3D, com a facilidade de integrar as diversas partes do robô em um único sistema, o que facilita a visualização do conjunto completo e a verificação da compatibilidade das peças (DASSAULT SYSTÈMES, 2020).

O software utilizado para preparação e impressão foi o XYZware, a figura 21 mostra sua área de trabalho. O software é desenvolvido pela XYZprinting para suas impressoras 3D.

Figura 21— Área de Trabalho do XYZWARE.



Fonte: Autoria própria, 2025.

O *XYZware*, permite importar arquivos no formato STL e convertê-los em comandos G-code, que a impressora interpreta para fabricar o objeto desejado. (IMPRESSÃO XYZ, 2015).

Uma das principais funções do *XYZware* é o fatiamento (*slicing*), que divide o modelo 3D em camadas horizontais. Durante esse processo, o software também pode gerar estruturas de suporte temporário para sustentar partes do modelo que não possuem base direta na plataforma de impressão. Esses suportes são essenciais para garantir a integridade dimensional e a qualidade da peça final. (IMPRESSÃO XYZ, 2015).

Além disso, o *XYZware* oferece recursos como ajuste de configurações de impressão (por exemplo, temperatura da extrusora e velocidade de impressão) e visualização prévia do modelo fatiado, permitindo ao usuário otimizar o processo de fabricação de acordo com as especificações desejadas. (IMPRESSÃO XYZ, 2015). É importante destacar que apesar de apresentar algumas configurações básicas, a ferramenta é muito limitada e foi utilizada por ser um software proprietário da fabricante da impressora.

Durante o processo de impressão, foi utilizada a impressora XYZprinting 3D – da Vinci 3 in 1 Pro, cujo modelo está representado na Figura 22. Esse equipamento possui um volume de impressão de 200 x 200 x 190 mm, possibilitando a fabricação de objetos de porte médio com boa resolução, sendo ideal para a produção de protótipos funcionais e peças com nível satisfatório de detalhamento (XYZPRINTING, 2015).

Figura 22 — Impressora XYZprinting 3D PLA - da Vinci 3 in 1 Pro



Fonte: *IMPRESSÃO XYZ* (2015).

Além disso, foi utilizado o material PLA (Ácido Polilático) para a impressão das peças foi estratégica. A figura 23 mostra a imagem do PLA. Esse termoplástico é amplamente utilizado na impressão 3D devido à sua leveza, resistência e sustentabilidade, já que é biodegradável e produzido a partir de fontes renováveis. Suas propriedades mecânicas foram ideais para garantir a rigidez necessária ao chassi do robô.

Figura 23— Material PLA (Ácido Polilático).



Fonte: *MOUSTA FILAMENTO* (2015).

Essa abordagem demonstra como a impressão 3D não apenas facilita o processo de fabricação, mas também contribui para a democratização do desenvolvimento de robôs, ao tornar a produção mais acessível e adaptável às necessidades específicas de cada projeto.

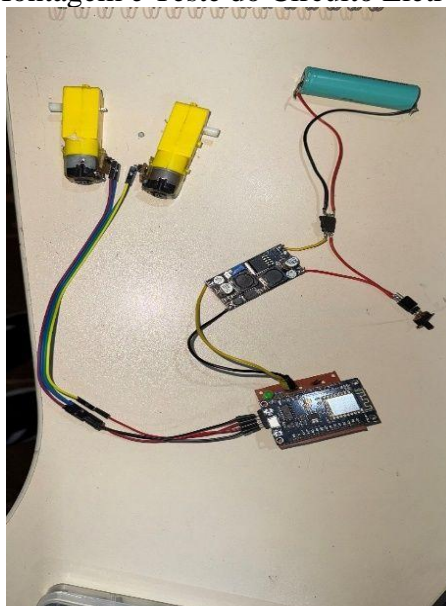
## 8 MONTAGEM, TESTE E CUSTOS DO ROBÔ

Esse capítulo compreende as seguintes etapas, montagem do circuito eletrônico de forma isolada e montagem dos componentes eletrônicos no chassi. O robô compreende a parte eletrônica e a parte mecânica, a parte mecânica que envolve o chassi e estruturas impressas em 3D, rodas e a esfera deslizante.

### 8.1 TESTE ELETRÔNICO

Para a realização do teste eletrônico, foi montada a placa de circuito impresso, como mostrado na figura 17, primeiramente foi utilizado um regulador de tensão MT3608, porém todas as unidades testadas estavam com defeito, não era possível ajustar a tensão, ele fornecia a mesma tensão de entrada na saída, como solução foi adotado o regulador XL6019 e com ele obtivemos êxito no teste da parte eletrônica. Além disso, foi utilizado o código mostrado no (APÊNDICE C), o código realiza as seguintes operações, ele envia comandos básicos para o robô, simulando as operações que seriam realizadas pelo usuário.

Figura 24 — Montagem e Teste do Circuito Eletrônico do Robô.

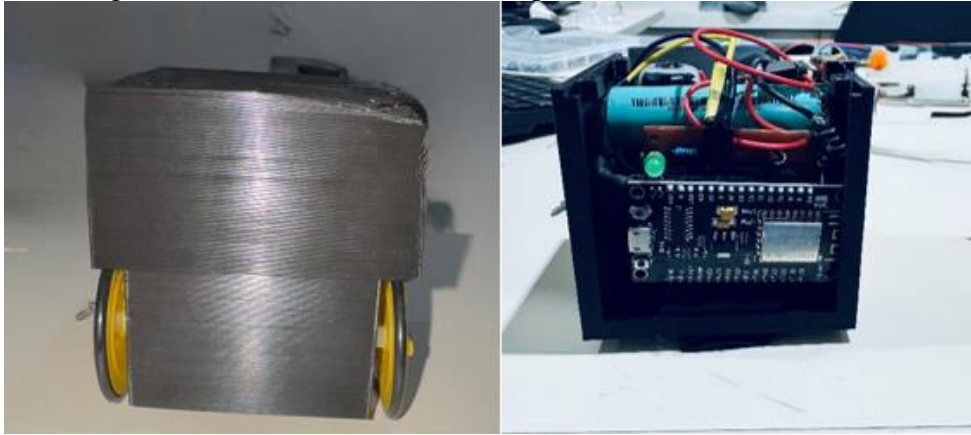


Fonte: Autoria própria, 2025.

A última etapa é embarcar a parte eletrônica no chassi do robô. Dessa forma, verificando se as dimensões da parte mecânica suportam todas as peças eletrônicas. Conforme ilustrado na Figura 24, toda parte eletrônica foi embarcada na parte estrutural do robô, depois disso foi

realizado um teste final para validação da parte eletrônica e mecânica do robô, onde tivemos êxito.

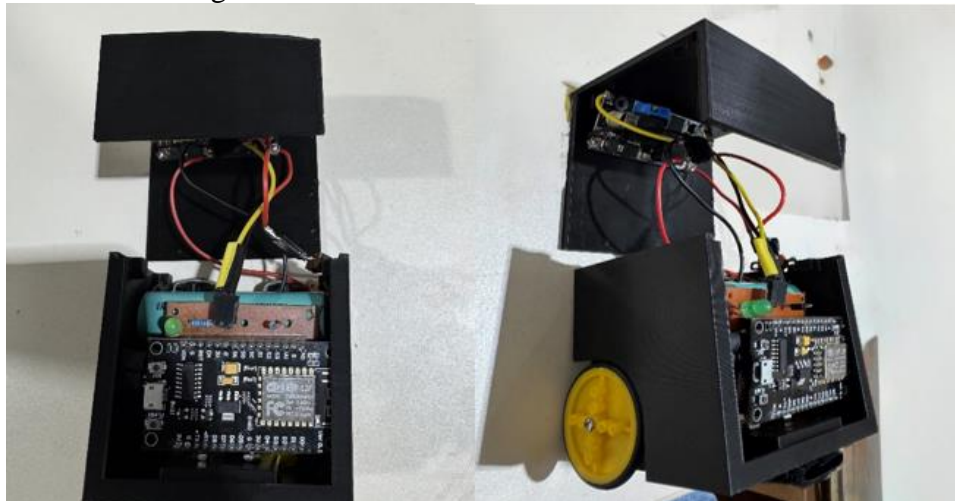
Figura 25— Robô Montado com a parte Eletrônica e Mecânica.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

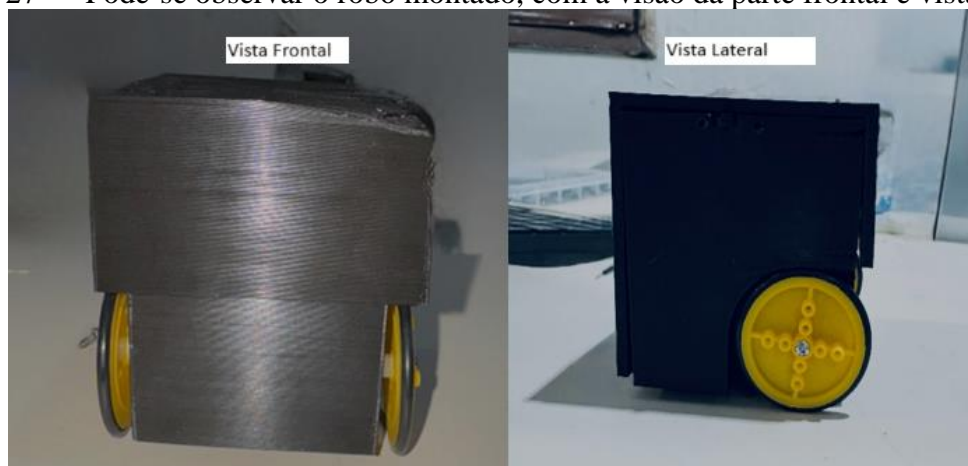
Verificou-se que os componentes eletrônicos são compatíveis com as dimensões da carcaça, como podemos observar na figura 25. Mais detalhes da parte eletrônica e mecânica podem ser vistos na figura 26.

Figura 26 — Vista Frontal com o Robô aberto.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

Figura 27 — Pode-se observar o robô montado, com a visão da parte frontal e vista lateral.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

## 8.2 CUSTOS

A análise dos custos do projeto foi realizada no site da RoboCore em 21 de fevereiro de 2025, considerando os preços atualizados dos componentes necessários para a montagem do robô VSS.

O custo total para a aquisição dos componentes padrão utilizados em robôs VSS atualmente gira em torno de R\$ 209,00. No entanto, com a adoção das soluções propostas neste projeto, como a substituição de componentes específicos, como os motores e o sistema de alimentação por células de lítio, foi possível reduzir o custo total para aproximadamente R\$ 127,00. Essa redução representa uma alternativa viável para tornar o desenvolvimento de robôs VSS mais acessível, incentivando a participação de novas equipes em competições de futebol de robôs.

## **9 DISPONIBILIZAÇÃO DE CONTEÚDO E REPRODUTIBILIDADE DO PROJETO**

### **9.1 DISPONIBILIZAÇÃO DO CONTEÚDO**

Os arquivos referentes às estruturas do robô, incluindo os modelos em formato STL para impressão 3D e o código de teste utilizado no projeto foram disponibilizados no GitHub (Carvalho, 2025). Essa disponibilização tem como objetivo facilitar a reprodução do projeto por outras equipes e pesquisadores interessados, incentivando a colaboração e o desenvolvimento de melhorias na área de robótica aplicada ao futebol de robôs Mini VSS.

### **9.2 REPRODUTIBILIDADE DO PROJETO**

O projeto desenvolvido pode ser reproduzido em diferentes contextos, atendendo tanto a competições acadêmicas quanto a eventos particulares voltados à robótica. Dentre as principais aplicações, destacam-se:

**Competições estudantis:** O robô Mini VSS pode ser utilizado em torneios universitários e escolares de futebol de robôs, servindo como uma alternativa acessível para equipes que desejam participar dessas competições.

**Eventos particulares:** O projeto também pode ser implementado em eventos de tecnologia e inovação, servindo como base para demonstrações, pesquisas e desenvolvimento de novas soluções na área de robótica.

A viabilidade de reprodução é ampliada pela disponibilização dos arquivos estruturais do robô em um repositório público, garantindo que outras equipes e pesquisadores possam utilizar e aprimorar o projeto conforme suas necessidades.

## 10 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A robótica, robótica, como abordado ao longo deste trabalho, representa uma ferramenta significativa para o desenvolvimento de habilidades tecnológicas e para a promoção da inclusão em competições educacionais e científicas. A proposta do robô da categoria Very Small Size Soccer (VSS) apresentada neste projeto destacou-se por sua abordagem de baixo custo e acessibilidade, demonstrando que é possível desenvolver soluções funcionais e compatíveis com os requisitos técnicos da competição, mesmo com recursos limitados.

A utilização de motores, baterias e reguladores de tensão de baixo custo, associada à fabricação por impressão 3D, possibilitou a construção de um protótipo funcional, dentro das dimensões exigidas pela categoria. O emprego de ferramentas como SolidWorks, XYZware e KiCad contribuiu para o planejamento estrutural e para a integração dos componentes eletrônicos, reforçando o caráter multidisciplinar do projeto.

Ainda que a adoção de componentes mais acessíveis possa afetar a durabilidade e o desempenho do robô quando comparado a soluções de maior custo, os resultados alcançados evidenciam que é viável democratizar o acesso à robótica. Isso não apenas incentiva a participação em competições como também contribui para a formação de profissionais capacitados na área de engenharia e tecnologia.

Para o aprimoramento do robô apresentado neste trabalho, são sugeridas as seguintes melhorias, que podem ser exploradas em versões futuras:

### 1. **Integração de células de lítio recarregáveis**

Substituir o sistema atual de alimentação que é composto por uma célula de lítio por duas células, com o objetivo de aumentar a autonomia energética do robô, reduzir a dependência de reguladores de tensão e melhorar a eficiência do conjunto. Essa alteração também contribuiria para a diminuição do peso total do sistema.

### 2. **Substituição da esfera deslizante inferior**

Trocar a esfera deslizante atualmente utilizada por uma peça fixa impressa em 3D, boleada e integrada ao chassi. Essa modificação visa reduzir o desgaste mecânico, melhorar a estabilidade do robô durante a movimentação e otimizar o uso do espaço interno.

### 3. **Adequação do projeto da carcaça para inclusão de chave liga/desliga**

Embora o robô já possua sistema de chaveamento, propõe-se a modificação da carcaça impressa em 3D para incluir abertura específica destinada à fixação e acesso de chave liga/desliga. Essa alteração busca facilitar a operação e a manutenção do robô,

especialmente durante o transporte e o processo de ligação/desligamento em ambiente de competição.

#### 4. **Desenvolvimento de uma placa eletrônica personalizada**

A criação de uma placa de circuito impresso (PCB) projetada especificamente para o robô permitirá a integração de diversos componentes eletrônicos em uma única estrutura. Isso reduzirá a complexidade da montagem, otimizará o espaço interno e facilitará futuras modificações e expansões do sistema.

## 11 REFERÊNCIAS

BÁRTOLO, A. P.; LOPES, H.; GOMES, L. A. **Impressão 3D: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Moderna, 2017.

CARVALHO, B. **Repositório com arquivos do TCC: Estruturas de robôs Mini VSS**. Disponível em: [https://github.com/brunocarvalhobt/repositorio\\_tcc\\_bruno\\_joao.git](https://github.com/brunocarvalhobt/repositorio_tcc_bruno_joao.git). Acesso em: 7 abr. 2025.

DASSAULT SYSTÈMES. **SolidWorks 2020: recursos e funcionalidades**. 2020. Disponível em: <https://www.solidworks.com>. Acesso em: 30 nov. 2024.

EVENTS ROBOCORE. **Regras da competição RCX CPBR14**. Disponível em: <https://events.robocore.net/rcx-cpbr14/rules/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

GEBHARDT, A. **Understanding additive manufacturing: rapid prototyping, rapid tooling, rapid manufacturing**. München: Hanser, 2016.

HOWARD, R.; MORGAN, D.; SMITH, J. Design and prototyping for robotics using CAD and 3D printing technologies. **Robotics Journal**, v. 12, n. 3, p. 156-172, 2018.

IMPRESSÃO XYZ. **Manual do usuário XYZware**. 3. ed. 2015. Disponível em: <https://www.xyzprinting.com>. Acesso em: 29 dez. 2024.

INSTITUTO DIGITAL. **Módulo NodeMcu Amica ESP-12E WiFi ESP8266**. 2001–2020. Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-amica-esp-12>. Acesso em: 30 nov. 2024.

KICAD EDA. **A cross platform and open source electronics design automation suite**. 2018–2020. Disponível em: <https://www.kicad.org/>. Acesso em: 29 dez. 2024.

MERCADO LIVRE. **Conversor DC-DC Buck Boost 2 em 1 Step Up e Down XL6019**. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/conversor-dc-dc-buck-boost-2-em-1-step-up-e-down-xl6019/p/MLB32491227>. Acesso em: 14 fev. 2025.

MOURA, J. F.; ALMEIDA, R. P.; COSTA, L. D. Robótica educacional: desafios e soluções para competições de baixo custo. **Revista Brasileira de Robótica**, v. 14, p. 45-58, 2019.

ROBOCORE TECNOLOGIA. **Combate de robôs**. 2005. Disponível em: [https://www.robocore.net/quem\\_somos](https://www.robocore.net/quem_somos). Acesso em: 19 dez. 2024.

ROBOCORE. **Mini VSS: robôs extremamente compactos**. RoboCore RCX – Campus Party Brasil 14, [s. d.]. Disponível em: <https://events.robocore.net/rcx-cpbr14/rules/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

ROBOCORE. **O maior portal sobre combate de robôs e outras competições de robótica**. 2005. Disponível em: <https://www.combatederobos.com.br/>. Acesso em: 21 dez. 2024.

ROBOCUP BRASIL. **Competição Brasileira de Robótica**. Disponível em: <https://cbr.robocup.org.br>. Acesso em: 19 dez. 2024.

ROBOCUP BRASIL. **Sobre a RoboCup Brasil**. Disponível em: <https://www.robocup.org.br/wp/>. Acesso em: 21 dez. 2024.

ROBOCUP. **Regras de futebol de tamanho muito pequeno**. 2024. Disponível em: <https://ssl.robocup.org/rules/>. Acesso em: 28 dez. 2024.

SHAPIRO, R. **Design for manufacturing: strategies for product development**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

SILVA, M. C. **Robôs Mini VSSS: desafios e oportunidades no contexto educacional**. Rio de Janeiro: Editora Robocore, 2021.

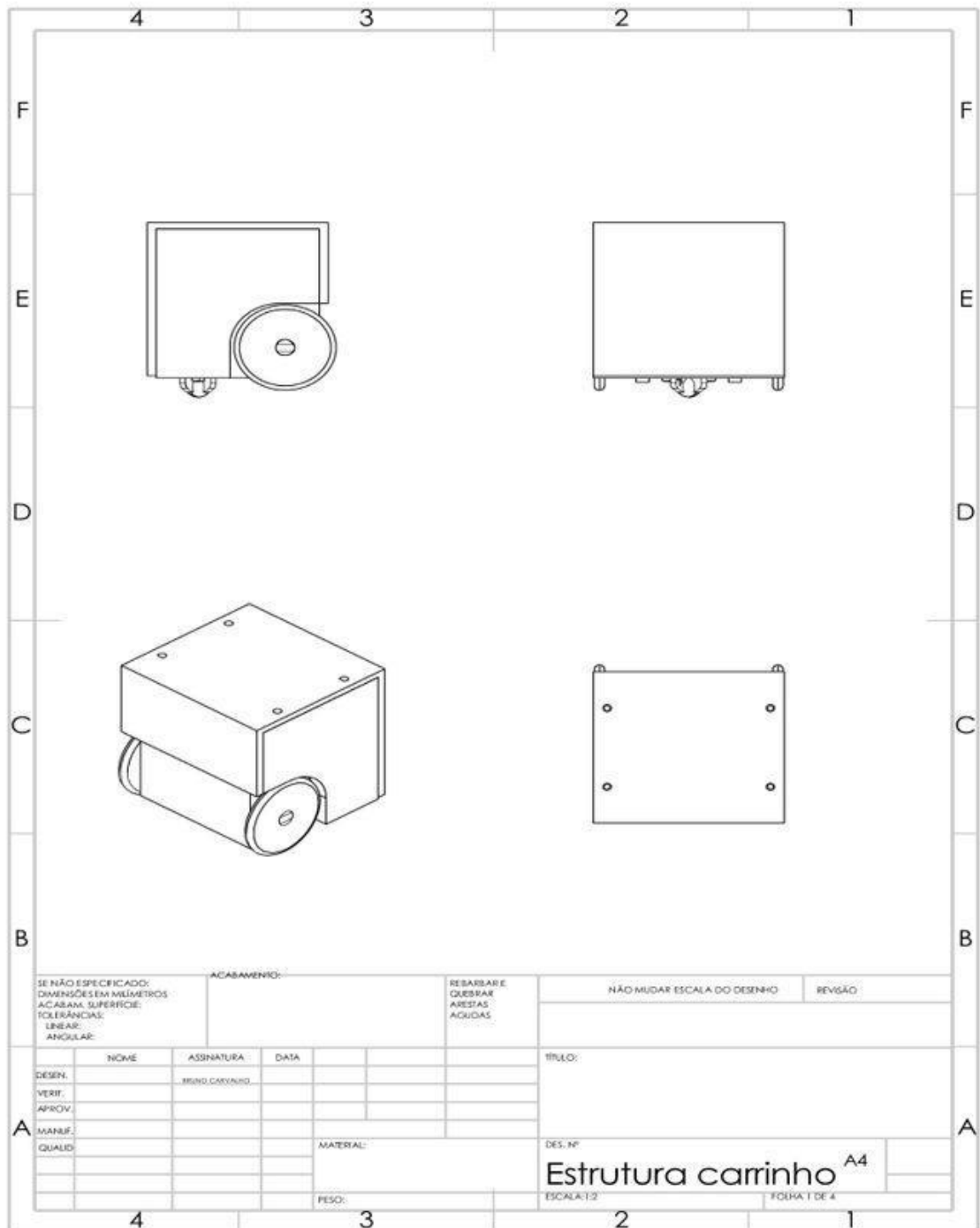
TECNOLOGIA ROBOCORE. **Bateria Li-Ion 18650 3,7V 2500mAh 2C**. 2005. Disponível em: <https://robocore.net/bateria/bateria-li-ion-18650-37v-2500>. Acesso em: 17 dez. 2024.

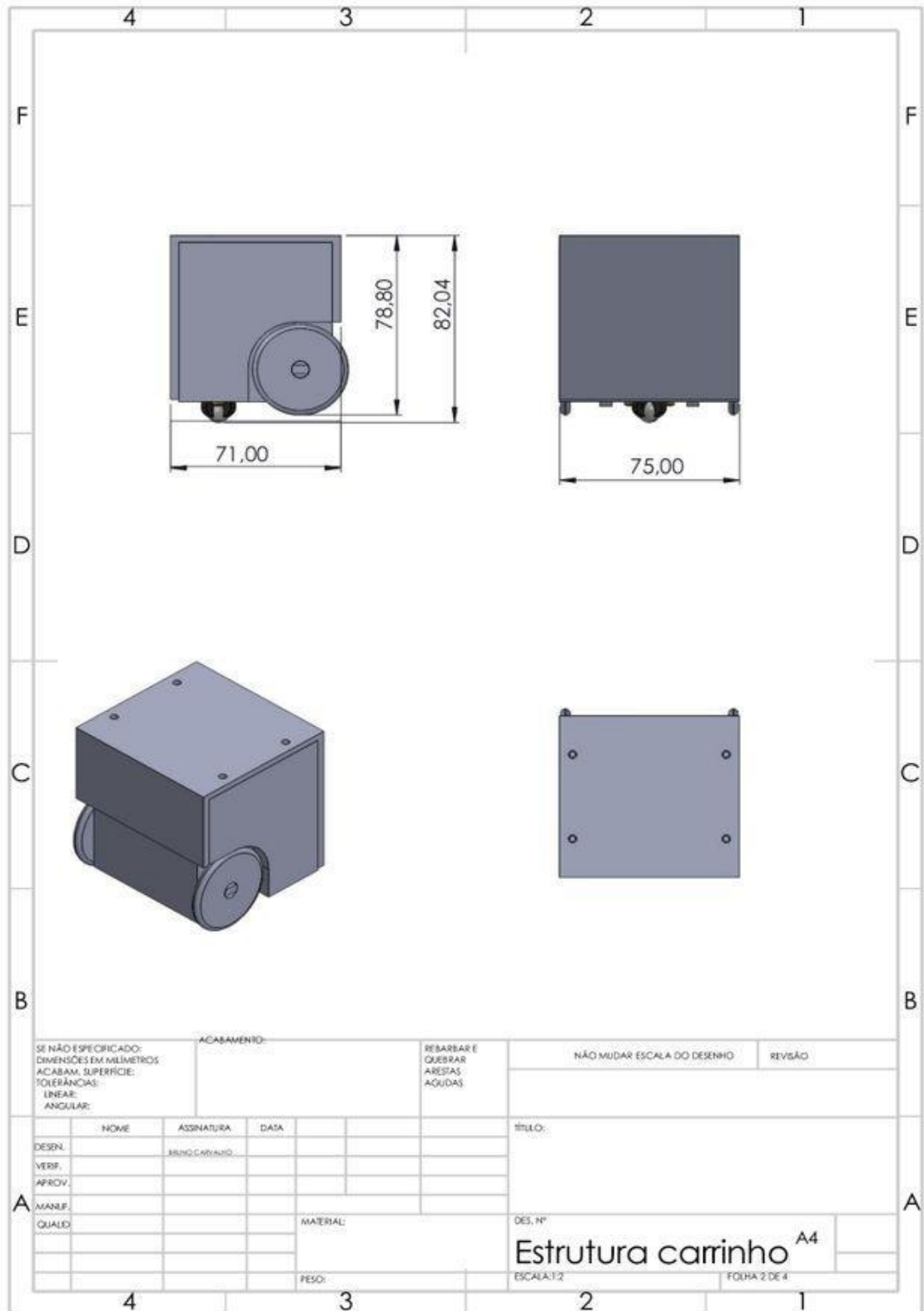
TECNOLOGIA ROBOCORE. **Mini Ponte H Dupla MX1616**. [s. d.]. Disponível em: <https://www.robocore.net/driver-motor/mini-ponte-h-dupla-mx1616>. Acesso em: 21 jan. 2024.

TECNOLOGIA ROBOCORE. **Motor DC 6V 210RPM**. 2005. Disponível em: <https://www.robocore.net/motor-motoredutor/motor-dc-3-6v-com-caixa-de-reducao-e-eixo-duplo>. Acesso em: 21 jan. 2024.

XYZPRINTING. **da Vinci 1.0 Pro 3-in-1 – Product Specifications**. 2015. Disponível em: <https://www.xyzprinting.com>. Acesso em: 15 abr. 2025.

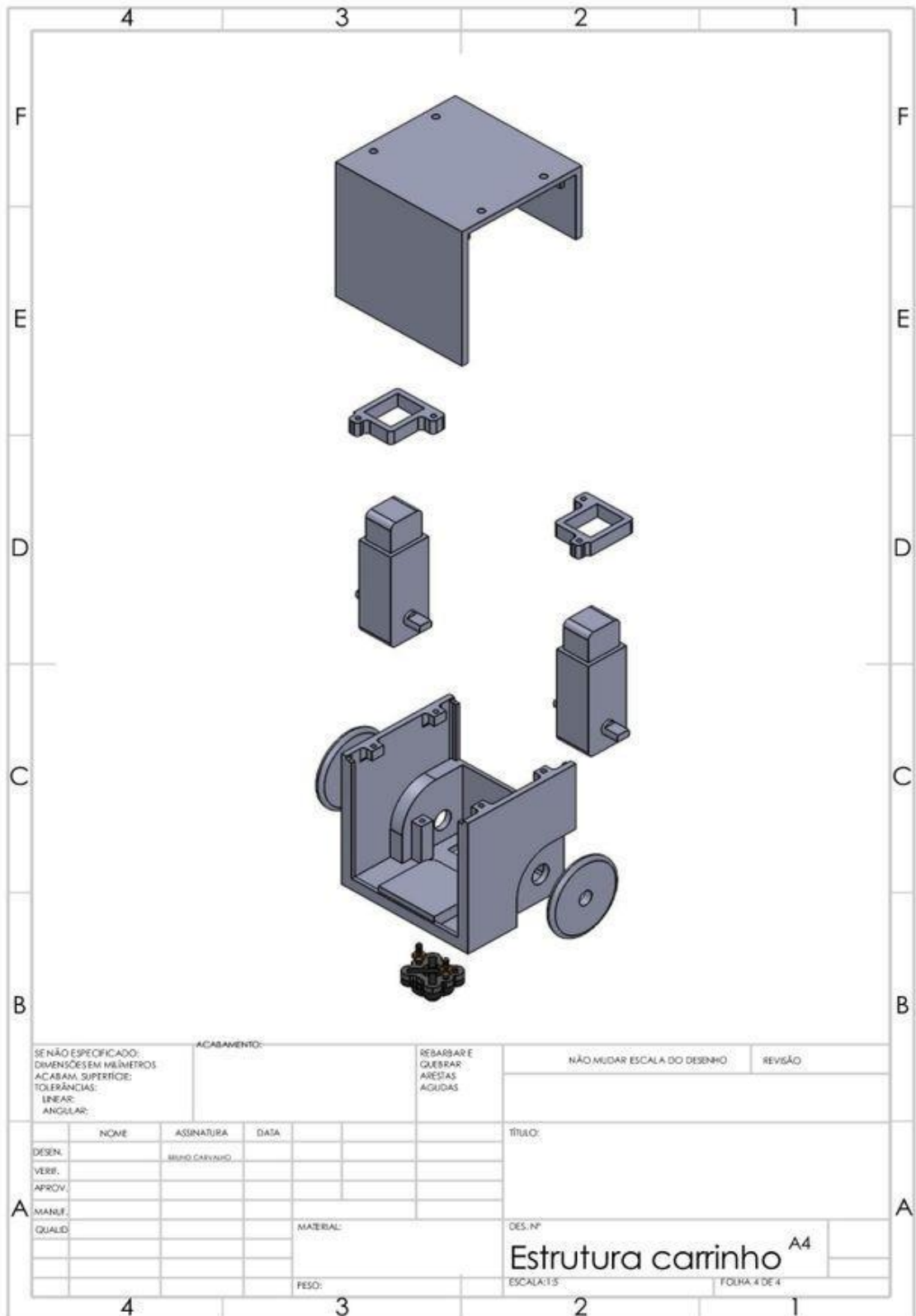
**APÊNDICE A – VISTA EXPANDIDA E DIMENSÕES DO ROBÔ.**





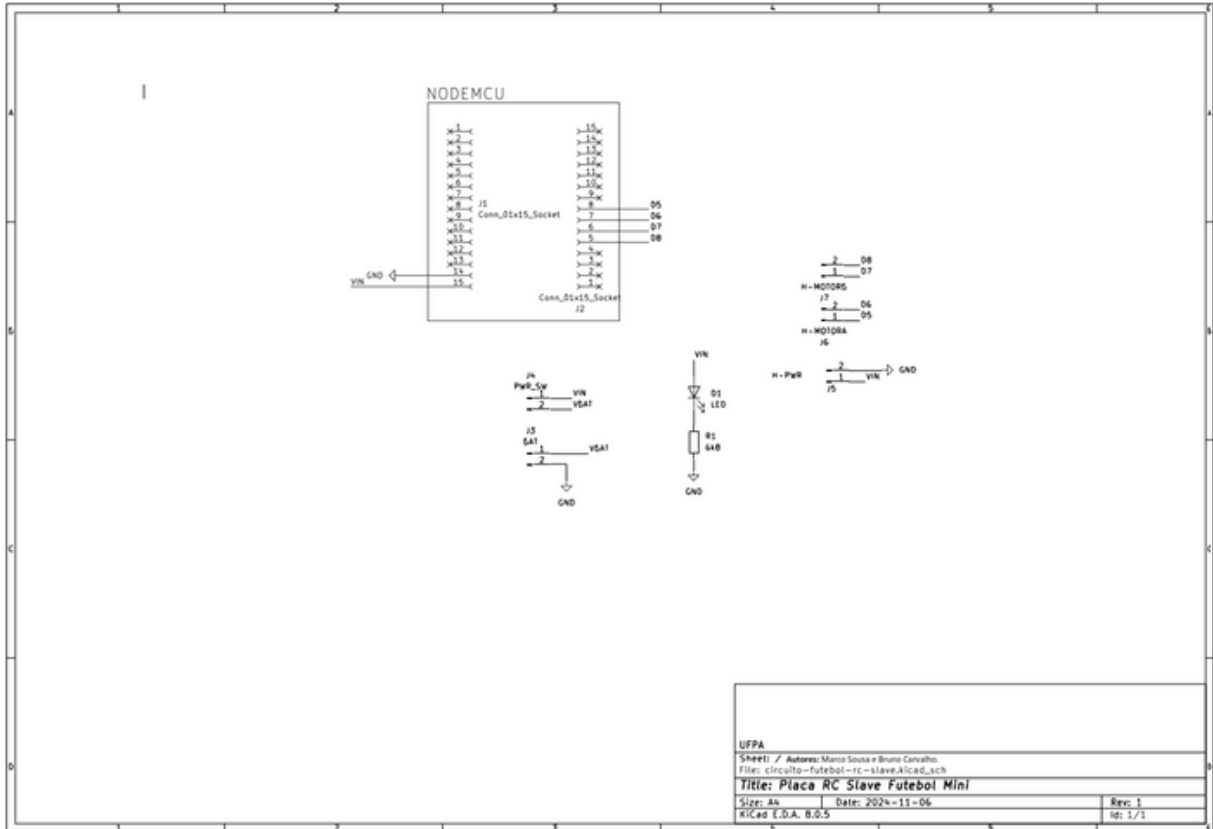
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
 ACABAMENTO: REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS  
 NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO REVISÃO

	NOME	ASSINATURA	DATA		TÍTULO:
DESEN.		BRUNO CARVALHO			
VERIF.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID.					
				MATERIAL:	DES. Nº
				PESO:	<b>Estrutura carinho</b> <sup>A4</sup>
					ESCALA: 1:2
					FOLHA 2 DE 4



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFICIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:	REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
NOVE	ASSINATURA	DATA		TÍTULO:	
DESEN.	MUNO CARRINHO				
VERB.					
APROV.					
MANUF.					
QUALID.			MATERIAL:	DES. Nº	
				<b>Estrutura carrinho</b> A4	
			PESO:	ESCALA: 1:3	FOLHA: 4 DE 4

## APÊNDICE B – DESENHO ESQUEMÁTICO DA PLACA PROJETADA PARA O ROBÔ.



## APÊNDICE C – CÓDIGO UTILIZADO PARA TESTES DO ROBÔ

```

#include "ESP32_NOW.h"

#include "WiFi.h"

#include <esp_mac.h> // For the MAC2STR and MACSTR macros

#include <math.h>

#define VERBOSE_MODE 1

#define CONTROLLER_0 32
#define CONTROLLER_1 33
#define CONTROLLER_2 25
#define CONTROLLER_3 26

/* Definitions */

#define ESPNOW_WIFI_CHANNEL 6

char data_to_send[17] = "1111111111111";

/* Classes */

// Creating a new class that inherits from the ESP_NOW_Peer class is required.

class ESP_NOW_Broadcast_Peer : public ESP_NOW_Peer {
public:
    ESP_NOW_Broadcast_Peer(uint8_t channel, wifi_interface_t iface, const uint8_t *lmk)
        : ESP_NOW_Peer(ESP_NOW.BROADCAST_ADDR, channel, iface, lmk) {}

    ~ESP_NOW_Broadcast_Peer() {
        remove();
    }
}

```

```
}
```

```
bool begin() {  
    if (!ESP_NOW.begin() || !add()) {  
        log_e("Failed to initialize ESP-NOW or register the broadcast peer");  
        return false;  
    }  
    return true;  
}
```

```
bool send_message(const uint8_t *data, size_t len) {  
    if (!send(data, len)) {  
        log_e("Failed to broadcast message");  
        return false;  
    }  
    return true;  
}  
};
```

```
/* Function to Simulate Button Presses */
```

```
bool scan_controllers() {  
    static int current_state = 0; // Track the current simulated button  
    static unsigned long last_update = 0;  
  
    unsigned long current_time = millis();  
  
    // Keep the interval as in the original code  
    if (current_time - last_update < 1000) {  
        return false;  
    }  
}
```

```
last_update = current_time;

// Reset the data array
memset(data_to_send, '0', 16);

// Simulate button presses for Frente, Trás, Direita, Esquerda
switch (current_state) {
    case 0:
        data_to_send[1] = '1'; // Frente
        break;
    case 1:
        data_to_send[0] = '1'; // Trás
        break;
    case 2:
        data_to_send[0] = '1'; // Tras
        break;
    case 3:
        data_to_send[1] = '1'; // Frente
        break;
    case 4:
        data_to_send[2] = '1'; // Frente
        break;
    case 5:
        data_to_send[3] = '1'; // Frente
        break;
}

// Move to the next state
current_state = (current_state + 1) % 6;
```

```
// Return true to indicate a change
return true;
}

/* Global Variables */

// Create a broadcast peer object
ESP_NOW_Broadcast_Peer broadcast_peer(ESPNOW_WIFI_CHANNEL, WIFI_IF_STA, NULL);

/* Main */

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial) {
    delay(10);
  }

  // Initialize the Wi-Fi module
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.setChannel(ESPNOW_WIFI_CHANNEL);
  while (!WiFi.STA.started()) {
    delay(100);
  }

  Serial.println("ESP-NOW Example - Broadcast Master");
  Serial.println("Wi-Fi parameters:");
  Serial.println(" Mode: STA");
  Serial.println(" MAC Address: " + WiFi.macAddress());
  Serial.printf(" Channel: %d\n", ESPNOW_WIFI_CHANNEL);

  // Register the broadcast peer
```

```
if (!broadcast_peer.begin()) {  
    Serial.println("Failed to initialize broadcast peer");  
    Serial.println("Rebooting in 5 seconds...");  
    delay(5000);  
    ESP.restart();  
}  
  
Serial.println("Setup complete. Automating controls.");  
}  
  
void loop() {  
    // Simulate button presses  
    if (scan_controllers()) {  
        if (VERBOSE_MODE) {  
            Serial.printf("Simulated control: %s\n", data_to_send);  
        }  
        if (!broadcast_peer.send_message((uint8_t *)data_to_send, sizeof(data_to_send))) {  
            Serial.println("Failed to broadcast message");  
        }  
    }  
}
```