



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FCTE

Projeto de PI1

Autor: Ana Júlia, Arthur Sousa, Cauã Araujo, Felipe Motta,
Gabriel Dantas, Júlio Cesar, Kauã Richard, Maria Clara, Pedro
Tedesco, Raul Braga, Thiago da Silva, Vinicius Passeri, Vítor
Teixeira, Weslley Barros, Weverton Rodrigues, Yuri Machado

Orientador: Prof. Diogo Garcia

Brasília, DF

2024



Ana Júlia, Arthur Sousa, Cauã Araujo, Felipe Motta, Gabriel Dantas, Júlio Cesar, Kauã Richard, Maria Clara, Pedro Tedesco, Raul Braga, Thiago da Silva, Vinicius Passeri, Vítor Teixeira, Weslley Barros, Weverton Rodrigues, Yuri Machado

Projeto de PI1

Trabalho submetido à disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 1 da Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FCTE

Orientador: Prof. Diogo Garcia

Coorientador: Prof. Lui Txai, Prof. Juliana Petrocchi, Prof. Rafael Rodrigues e Prof. Ricardo Ajax

Brasília, DF

2024

Ana Júlia, Arthur Sousa, Cauã Araujo, Felipe Motta, Gabriel Dantas, Júlio Cesar, Kauã Richard, Maria Clara, Pedro Tedesco, Raul Braga, Thiago da Silva, Vinicius Passeri, Vítor Teixeira, Weslley Barros, Weverton Rodrigues, Yuri Machado

Projeto de PI1/ Ana Júlia, Arthur Sousa, Cauã Araujo, Felipe Motta, Gabriel Dantas, Júlio Cesar, Kauã Richard, Maria Clara, Pedro Tedesco, Raul Braga, Thiago da Silva, Vinicius Passeri, Vítor Teixeira, Weslley Barros, Weverton Rodrigues, Yuri Machado. – Brasília, DF, 2024-

60 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Diogo Garcia

Projeto Integrador de Engenharia 1 – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FCTE , 2024.

1. Projeto Integrador de Engenharia 1. 2. Sumô de Robôs. I. Prof. Diogo Garcia. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Projeto de PI1

CDU

Resumo

O projeto visa o desenvolvimento de um robô autônomo realizado pela disciplina Projeto Integrador de Engenharia 1, realizada no semestre de 2024.2, na Universidade de Brasília, Faculdade Unb Gama - FCTE (Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia). Dentre os requisitos principais, destaca-se a capacidade do robô de empurrar pesos para fora da arena, sem ultrapassar os limites estabelecidos, de forma autônoma, ou seja, o robô deverá operar sem intervenção externa. Para isso, o mesmo será equipado com sensores de proximidade, como ultrassônicos e infravermelhos.

O projeto segue as normas da competição, com restrições quanto ao peso e dimensões, e considera a otimização do desempenho energético. Para garantir a eficácia do desenvolvimento, foi adotada a metodologia SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound), que assegura clareza nos objetivos e foco nas entregas essenciais.

Outro ponto importante deste projeto é a elaboração da Estrutura Analítica do Projeto (EAP), a qual foi estruturada de maneira a dividir o projeto em componentes lógicos e gerenciáveis, facilitando o acompanhamento e a alocação de recursos.

Palavras-chaves: Projeto Integrador de Engenharia 1, Sumô de Robôs, Automação

Lista de ilustrações

Figura 1 – Etapa pré-desenvolvimento da EAP	20
Figura 2 – EAP da subárea de Software	21
Figura 3 – EAP da subárea de Eletrônica	22
Figura 4 – EAP da subárea de Desempenho Energético	22
Figura 5 – Parte 1 da EAP da subárea de Estruturas	23
Figura 6 – Parte 2 da EAP da subárea de Estruturas	24
Figura 7 – Etapa pós-desenvolvimento da EAP	25
Figura 8 – Modelo 3D	26
Figura 9 – Diagrama de Blocos	28
Figura 10 – Arduino UNO. Fonte: Eletrus	29
Figura 11 – Sensor ultrassônico HC-SR04. Fonte: Eletrogate	29
Figura 12 – Módulo Sensor Reflexivo TCRT-5000. Fonte: Eletronica Ômega	29
Figura 13 – Módulo Driver Ponte-H BTS7960 43A. Fonte: MP Multipeças	30
Figura 14 – Esquemático	30
Figura 15 – Diagrama BPMN do projeto Robô Sumô que exemplifica o funcionamento do processo como um todo	34
Figura 16 – Diagrama Casos de Uso	36
Figura 17 – Diagrama de Classes	37
Figura 18 – Diagrama de Arquitetura	38
Figura 19 – Diagrama de Estados de Máquina	39
Figura 20 – Visão superior	57
Figura 21 – Visão lateral	57
Figura 22 – Chassi	58
Figura 23 – Tampa superior	58
Figura 24 – Suporte de pesos	59
Figura 25 – Rampa de contato	59
Figura 26 – Motor	59
Figura 27 – Rodas	60

Lista de tabelas

Tabela 1 – Composição da Equipe.	19
Tabela 2 – Lista de componentes do robô de sumô	28
Tabela 3 – Componentes que devem ser incluídos no cálculo energético.	31
Tabela 4 – Consumo de potência dos componentes do robô.	31
Tabela 5 – Cálculo da potência total dos motores do robô.	31
Tabela 6 – Consumo de potência do Arduino UNO R3.	31
Tabela 7 – Consumo de potência do sensor ultrassônico.	31
Tabela 8 – Consumo de potência do módulo infravermelho.	32
Tabela 9 – Consumo de potência do módulo da Ponte-H BTS 7960.	32
Tabela 10 – Cálculo da soma da potência de cada componente	32
Tabela 11 – Estimativa da capacidade da bateria considerando o tempo de operação, a potência total consumida e uma margem de segurança.	32
Tabela 12 – Cálculo da capacidade da bateria em ampère-hora (Ah).	32
Tabela 13 – Cálculo da energia total disponível na bateria.	33
Tabela 14 – Cálculo da autonomia estimada do robô com a bateria selecionada. . .	33
Tabela 15 – Estimativa da capacidade da bateria necessária para diferentes autonomias e margens de segurança.	33
Tabela 16 – Roteiro de Testes	41
Tabela 17 – Orçamento geral.	42
Tabela 18 – Orçamento por aquisição	42
Tabela 19 – Cronograma geral.	43
Tabela 20 – Lições aprendidas no projeto	53
Tabela 21 – Análise SWOT do produto.	53

Lista de abreviaturas e siglas

Fig. Isto é uma figura

RF Requisito funcional

RNF Requisito não funcional

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	TERMO DE ABERTURA DO PROJETO	13
2.1	Dados do projeto	13
2.2	Objetivos	13
2.3	Mercado-alvo	13
2.4	Requisitos	14
2.5	Justificativa	17
2.6	Indicadores	17
3	EQUIPE DE TRABALHO	19
4	PROJETO CONCEITUAL DO PRODUTO	20
4.1	Características gerais	20
4.2	Estrutura	25
4.2.1	Chassi	26
4.2.1.1	Sistema de locomoção	26
4.2.1.2	Bloco Principal	26
4.2.1.3	Tampa Superior	27
4.2.1.4	Rampa de contato	27
4.2.1.5	Suporte de pesos	27
4.2.2	Materiais	27
4.2.2.1	Chassi	27
4.2.2.2	Rampa de contato	27
4.3	Descrição de <i>hardware</i>	28
4.3.1	Diagrama de Blocos	28
4.3.2	Microcontrolador	28
4.3.3	Sensor de objetos	29
4.3.4	Sensor de borda	29
4.3.5	Controle dos motores	30
4.4	Análise de consumo energético	31
4.4.1	Considerações	31
4.4.2	Detalhamento	31
4.4.3	Escolha da bateria	32
4.4.4	Estimativa de autonomia	33
4.4.5	Cenários Alternativos	33

4.4.6	Escolha das Margens de Segurança	33
4.5	Descrição de <i>software</i>	34
4.5.1	Diagrama BPMN	34
4.5.2	Lista de Casos de Uso	35
4.5.3	Diagrama de Casos de Uso	35
4.5.4	Diagrama de Classes	36
4.5.5	Diagrama de Arquitetura	37
4.5.6	Diagrama de Estados da Máquina	38
4.5.7	Descrição dos Testes	39
5	ORÇAMENTO DO PROJETO	42
6	CRONOGRAMA DO PROJETO	43
7	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	45
7.1	Características gerais	45
7.2	Experimentos da estrutura	45
7.2.1	Validação do chassi	45
7.2.1.1	Condições de contorno	45
7.2.1.2	Resultados	45
7.2.1.3	Métodos	45
7.2.1.4	Precisão	46
7.2.2	Teste de carga máxima empurrada utilizando lastro	46
7.2.2.1	Hipótese	46
7.2.2.2	Condições de contorno	46
7.2.2.3	Resultados	46
7.2.2.4	Métodos	46
7.2.2.5	Precisão	46
7.3	Experimentos de <i>hardware</i>	47
7.3.1	Módulo infravermelho TCRT-5000	47
7.3.1.1	Hipótese	47
7.3.1.2	Condições	47
7.3.1.3	Resultados	47
7.3.1.4	Métodos	47
7.3.1.5	Precisão	47
7.3.2	Sensor ultrassônico HC-SR04	47
7.3.2.1	Hipótese	47
7.3.2.2	Condição	47
7.3.2.3	Resultados	47
7.3.2.4	Métodos	47

7.3.2.5	Precisão	48
7.3.3	Motor e módulo Ponte H BTS 7960	48
7.3.3.1	Hipótese	48
7.3.3.2	Condições	48
7.3.3.3	Resultado	48
7.3.3.4	Método	48
7.3.4	Montagem do protótipo	48
7.3.4.1	Hipótese	48
7.3.4.2	Condições	48
7.3.4.3	Resultado	48
7.3.4.4	Método	48
7.3.5	Teste final do produto	49
7.3.5.1	Hipótese	49
7.3.5.2	Condições	49
7.3.5.3	Resultado	49
7.3.5.4	Método	49
7.4	Experimentos de consumo energético	49
7.4.1	Hipótese	49
7.4.2	Condições	49
7.4.3	Resultado	49
7.4.4	Método	49
7.5	Experimentos de software	50
7.5.1	Algoritmos de detecção de borda e objeto	50
7.5.1.1	Hipóteses	50
7.5.1.2	Condições de Contorno	50
7.5.1.3	Resultados Esperados	50
7.5.1.4	Materiais e Métodos	50
7.5.1.5	Precisão e Acurácia	51
7.5.2	Algoritmos de lógica de decisão autônoma	51
7.5.2.1	Hipóteses	51
7.5.2.2	Condições de Contorno	51
7.5.2.3	Resultados Esperados	51
7.5.2.4	Materiais e Métodos	51
7.5.2.5	Precisão e Acurácia	51
7.6	Experimentos de integração	52
7.6.1	Testes de sistema completo	52
7.6.1.1	Hipóteses	52
7.6.1.2	Condições de Contorno	52
7.6.1.3	Resultados Esperados	52

7.6.1.4	Precisão e Acurácia	52
7.6.1.5	Testes de Correção de Rota	52
7.6.1.6	Testes de Navegação	52
7.6.1.7	Roteiro de Testes	52
8	LIÇÕES APRENDIDAS	53
8.1	Análise SWOT	53
8.2	Planejado x realizado	54
8.2.1	Objetivos	54
8.2.2	Prazos	54
8.2.3	Orçamento	54
8.2.4	Escopo	54
8.3	Projeto	54
8.3.1	Pontos fortes	54
8.3.2	Pontos fracos	54
8.4	Recomendações para projetos futuros	55
8.5	Questões em aberto	55
8.6	Desempenho dos fornecedores	55
8.6.1	Fornecedores com desempenho acima do esperado	55
8.6.2	Fornecedores com desempenho conforme esperado	55
8.6.3	Fornecedores com desempenho abaixo do esperado	55
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – PRIMEIRO APÊNDICE	57

1 Introdução

O avanço tecnológico, que cresce rapidamente na sociedade, está tornando a integração entre humanos e máquinas uma parte fundamental de muitas atividades e setores. Desde tarefas do dia a dia até processos industriais mais complexos, a conexão entre tecnologia e necessidades humanas é cada vez mais evidente.

Nesse contexto, surge uma área de estudo muito relevante atualmente, a robótica. Robôs são frequentemente definidos como máquinas ou dispositivos capazes de realizar trabalhos de maneira autônoma ou pré-programada. São agentes materializados no mundo real estando, portanto, sujeitos tanto às facilidades quanto às dificuldades do mesmo. São criados para interagir com objetos, seja na lavagem de veículos, montagem de produtos nas linhas de produção, tapetes a serem aspirados ou até mesmo com uma bola, em competições de futebol de robôs ([BEKEY, 1998](#)).

Um dos maiores impulsionadores do desenvolvimento dessa área são, sem dúvida, as competições desenvolvidas no amplo espectro da cadeia educacional. O que torna as competições de robótica tão eficientes é que, a robótica em si, requer uma grande habilidade em integração. Consequentemente, construir um time vitorioso exige uma cooperação substancial entre os membros que possuem diferentes habilidades e bagagens. Dessa forma, elas se tornam um ambiente ideal para treinar o trabalho em equipe, e um desafio de engenharia para estudantes mais avançados e pesquisadores ([NARDI et al., 2016](#)).

Uma das categorias relevantes das competições de robótica é a sumô de robôs. Essa categoria envolve um embate entre dois robôs móveis autônomos com o objetivo de empurrar o oponente para fora de uma arena delimitada. O sumô de robôs tem dois tipos de robôs: Rádio Controlado (RC) e Autônomo (Auto), sendo o último operado autonomamente por um programa carregado em seu sistema ([ROBOCORE, 2023](#)).

O projeto e a construção de um sumô bot autônomo demandam a integração de diversas áreas do conhecimento. Na parte estrutural, é necessário projetar um chassi que acomode os componentes internos e resista aos embates, além de selecionar rodas capazes de fornecer a tração necessária. Na eletrônica, deve-se desenvolver o sistema de sensoriamento do robô, definir como os dados obtidos serão processados e escolher motores que garantam torque suficiente para movimentar as rodas adequadamente. Além disso, o desempenho energético é um fator crucial, exigindo que o robô tenha autonomia suficiente para concluir o embate. Por fim, o software desempenha um papel essencial, com um programa embarcado responsável por processar os dados de sensoriamento e realizar as tomadas de decisão. ([WILSON; GERMANN; AL-OLIMAT, 2016](#))

O regulamento de disputas de robôs de sumô inclui inúmeras regras, de acordo com as classes estabelecidas. Dentre essas classes, pode-se citar: 3 kg sumô, mini, micro, nano sumô e LEGO/Vex sumô. Cada uma possui tamanho (altura, comprimento e largura), peso, frequência, modulações diferentes, espessura, diâmetro e material distintos para o dojo (ringue). Em geral, as partidas possuem 3 rodadas, com duração de 3 minutos. A pontuação é dada quando um robô for lançado por outro para fora do ringue ou sair do mesmo por conta própria. Penalidades e restrições também são incluídas pelas normas ([ROBOCORE, 2023](#)).

Os maiores desafios envolvendo esse tipo de disputa estão na detecção dos adversários e dos limites da arena, no controle da movimentação na área de competição e nas lógicas por trás das estratégias de combate. Para resolvê-los, é investigado o uso de vários instrumentos. Para detecção de oponentes, podem ser utilizados diversos sensores, bem como: ultrassônicos (exemplo: HC-SR04) ou infravermelhos (exemplo: TCRT5000 ou JS40F) ([WILSON; GERMANN; AL-OLIMAT, 2016](#)), para detecção das bordas podem ser utilizados sensores de refletância (exemplo: QTR1-A). Motores de corrente contínua (CC) -acoplados às rodas-, como o motor HP 6V de redução 50:1, permitem a movimentação na arena e controle de velocidade com variação da tensão empregada. Por fim, microcontroladores capazes de receber os comandos de entrada e enviar as respostas de saída, como STM32F103C8T6, Arduino ou ESP32, permitem a integração da lógica por trás da coordenação do equipamento e, consequentemente, contribuem para o estabelecimento das estratégias de luta ([GALLINA, 2019](#)).

Portanto, a execução do trabalho proposto permite aplicar conhecimentos relevantes nas áreas de robótica e automação, além de estimular a troca de informações entre pessoas com diferentes experiências e bagagens de conhecimento. Dessa forma, no contexto da disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 1, o sumô de robôs se apresenta como um problema multidisciplinar de engenharia, envolvendo de uma forma ou de outra as cinco engenharias presentes na Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia. As Engenharias Aeroespacial e Automotiva contribuem para o projeto por meio de sua expertise em resistência estrutural e na otimização dos sistemas de movimentação. A Engenharia Eletrônica é responsável por viabilizar o controle preciso dos atuadores e sensores, além de integrar o sistema de alimentação de energia. A Engenharia de Energia assegura a eficiência no consumo energético, com ênfase na autonomia do robô e no gerenciamento adequado da potência. Por fim, a Engenharia de Software desenvolve os algoritmos necessários para o controle do robô e para o processamento dos dados gerados pelos sensores.

2 Termo de Abertura do Projeto

2.1 Dados do projeto

Nome do Projeto: SugarBoom

Data de abertura: 24/11/2024

Código: 2

Patrocinador: Universidade de Brasília

Gerente: Ana Julia Mendes Santos / Matrícula: 221007798 /

E-mail: anajumesantos11@hotmail.com / Telefone: (64) 981647176

2.2 Objetivos

O objetivo deste projeto é projetar e construir um robô autônomo capaz de competir em uma arena de sumô. O robô deverá ser capaz de empurrar, de forma completa e separada, três pesos distintos, com massa máxima de 1 kg cada, para fora da arena, mantendo-se dentro dos limites da mesma durante toda a operação. Além disso, o robô deve ser totalmente autônomo, com todos os componentes embarcados, não podendo ser controlado externamente por fio ou rádio, exceto para o acionamento inicial. Também é vedado o uso de mecanismos de sucção que aumentem a força normal em relação ao solo.

O projeto deve respeitar as restrições de peso e dimensões, sendo limitado a 2 kg, com área de base máxima de 20x20 cm² e altura livre, e cumprir as normas de design e materiais estabelecidas. O desenvolvimento do robô deve aplicar conceitos teóricos e práticos de diversas áreas da engenharia, culminando na sua utilização em uma competição direta contra um robô desenvolvido por outra equipe.

2.3 Mercado-alvo

O mercado-alvo deste projeto abrange diversos grupos com interesses e necessidades específicas. Primeiramente, inclui os estudantes de engenharia da Universidade de Brasília - FCTE, em especial participantes da disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 1 (semestre 2024.2). Além disso, considera alunos e professores externos interessados em projetos acadêmicos que utilizem robótica e arduino como base de estudos.

Outros segmentos incluem comércios especializados em kits de robótica para iniciantes, organizadores e participantes de feiras e eventos de competições tecnológicas, como as promovidas por equipes como a Titans, equipe de robótica de competição da FCTE. O projeto também visa inspirar iniciativas educacionais voltadas ao ensino prático de robótica, como as desenvolvidas pela Edubot, podendo ser uma referência para novos projetos interdisciplinares e colaborativos.

2.4 Requisitos

Os requisitos específicos detalham as características funcionais (RF) e não funcionais (RNF) necessárias para o desenvolvimento do robô, abrangendo todas as áreas do projeto, como estrutura, software, eletrônica e desempenho energético. A seguir, são apresentados os requisitos específicos, organizados por áreas.

Estruturas

- RF 1 - A estrutura opera a proteção dos componentes eletrônicos e o pleno funcionamento do sistema de locomoção.
- RF 2 - O sistema de locomoção empurra as cargas solicitadas.
- RF 3 - O sistema de locomoção estabiliza e proporciona versatilidade ao movimento.
- RNF 4 - O robô deve ter até 2kg e 20x20 cm² de área.
- RNF 5 - O material utilizado não deve gerar interferência entre os componentes eletrônicos.
- RNF 6 - Os materiais utilizados na estrutura devem ter custo acessível para o projeto.
- RNF 7 - A estrutura deve viabilizar a construção de múltiplos protótipos com alterações e reparos de forma prática.
- RNF 8 - A estrutura e materiais devem em conjunto ser os mais leves e estáveis possíveis;

Software

- RF1 - O software identifica e localiza os pesos dentro do ringue usando sensores de proximidade, como infravermelho e ultrassônicos.
- RF 2 - O software processa os dados dos sensores para detectar a presença e localização do peso na arena.

- RF 3 - O software processa os dados para detectar a borda da arena, usando a fita preta de 19 mm como referência para evitar que o robô ultrapasse os limites.
- RF 4 - O software diferencia entre os pesos e o oponente (se houver), com base nas características de proximidade.
- RF 5 - O software calcula rotas para empurrar os pesos para fora do ringue sem sair da área delimitada, sem intervenção externa.
- RF 6 - O software monitora continuamente a posição do carrinho, dos pesos e os limites do ringue, garantindo que o carrinho mantenha sua trajetória de forma eficiente.
- RF 7 - O usuário externo reinicia a posição do robô na arena após cada tentativa falha.
- RF 8 - O carrinho otimiza força e estabilidade durante o empurrão do peso.
- RF 9 - O software processa decisões de navegação e empurrão em tempo real.
- RF 10 - O software identifica a posição dos pesos e dos limites da arena.
- RNF 10- O software possui um tempo de resposta máxima de 100 ms por iteração de ciclo de controle. Esse tempo inclui a leitura dos sensores, o processamento dos dados para identificar a posição do carrinho, pesos e limites do ringue, e o envio dos comandos para os motores.
- RF 11 - O carrinho para imediatamente em caso de falha grave, como perda de sinal dos sensores, falha no sistema de navegação ou superaquecimento dos componentes, para evitar danos ao equipamento.
- RNF 12 - O software implementa algoritmos para otimizar a força e a estabilidade do robô durante o empurrão do peso, evitando perder a tração.
- RNF 13 - O software identifica pesos e limites com uma margem de erro inferior a 5 cm.
- RNF 14 - O código é modular e documentado seguindo o padrão Doxygen (para C/C++) para facilitar atualizações e correções.
- RNF 15 - O processamento do software é otimizado ao ponto de preservar a bateria , permitindo que o carrinho opere por um tempo prolongado sem consumir excessivamente.
- RNF 16 - O sistema opera sem falhas durante uma competição padrão de até 10 minutos, sendo validado por meio de testes de estresse para garantir sua resistência a falhas e desempenho constante durante esse período.

- RNF 17 - O sistema integra-se perfeitamente ao sistema mecânico e eletrônico do carrinho, incluindo o arduino (microcontrolador), motores e sensores.

Eletrônica

- RF 1 - O robô processa os dados dos sensores em tempo real e emitir comandos para os motores.
- RF 2 - O robô detecta objetos/opONENTES dentro da área da arena.
- RF 3 - O robô odentifica as bordas da arena, para evitar que ele saia do espaço delimitado.
- RF 4 - O sistema eletrônico controla os motores para realizar os movimentos necessários.
- RF 5 - A placa eletrônica integra os componentes de forma a garantir o funcionamento do sistema.
- RF 6 - As conexões elétricas entre os componentes são capazes de resistir às vibrações e impactos do robô.
- RF 7 - Os componentes funcionam durante toda a realização da prova sem a necessidade de grandes reparos.
- RNF 8 - A placa Arduino deve captar os sinais dos sensores e comandar os motores em tempo real.
- RNF 9 - Sensores ultrassônicos devem ser capazes de detectar o objeto/opONENTE dentro da arena
- RNF 10 - Sensores infravermelhos devem identificar os limites da arena.
- RNF 11 - Os componentes devem ser montados de modo a facilitar pequenos reparos ou ajustes.

Desempenho energético

- RF 1 - O sistema fornece energia o suficiente - de modo estável e eficiente - para que os microcontroladores, sensores, motores e componentes auxiliares possam funcionar de maneira adequada, de modo a realizar as funções deles exigidas (recebimento de informações, movimentação, reconhecimento dos limites da arena e dos corpos a serem empurrados, entre outros).

- RF 2 - O usuário externo calcula o gasto energético de cada componente, o fornecimento de energia necessário e a eficiência energética das partes individuais e/ou do todo, de modo a analisar o desempenho do robô e a garantir que ele opere dentro dos limites estabelecidos.
- RF 3 - O sistema possui fontes energéticas capazes de atender à demanda do robô, promovendo autonomia, e que sejam adequadas às exigências de peso e dimensionamento do aparelho a ser construído. É também necessário um sistema de recarregamento eficiente, a fim de evitar falhas e contratemplos na execução de ações.
- RNF 4 - A microcontroladora deve garantir que a integração entre os componentes seja bem estabelecida, de modo que o fornecimento de energia seja otimizado.
- RNF 5 - Os componentes devem estar bem dimensionados, para o devido平衡amento entre fornecimento de energia e demanda energética.
- RNF 6 - Cálculos manuais, baseados em referências teóricas e análises, devem ser realizados com precisão. O uso de ferramentas simulacionais computadorizadas e de dados provenientes dos demais subcampos pode ser feito de forma a auxiliar as estimativas.
- RNF 7 - Os cálculos de demanda energética e dimensionamento devem ser realizados de forma precisa, de modo a garantir a escolha adequada de uma fonte. A conexão entre ela e os demais componentes deve ser bem executada para garantir eficiência.
- RNF 8 - Deve-se conceber um sistema de recarregamento que forneça o necessário para a realização dos comandos, sem prejudicar os requisitos estabelecidos.

2.5 Justificativa

O projeto é relevante por integrar conhecimentos das cinco engenharias do Campus FCTE da Universidade de Brasília: Aeroespacial, Automotiva, Elétrica, de Energia e de Software. Ao desenvolver o robô "Lutador de Sumô", os estudantes consolidam o aprendizado teórico, aplicam soluções inovadoras e aprimoram habilidades como trabalho em equipe, resolução de problemas e gestão sob restrições. Além de promover o interesse por robótica e automação, áreas estratégicas para a inovação tecnológica, o projeto resulta em um produto funcional e de impacto educacional e tecnológico.

2.6 Indicadores

Os indicadores são métricas que refletem situações cotidianas no Brasil, relacionadas diretamente ou indiretamente à robótica e programação. Eles servem para compre-

ender o contexto do robô lutador e seu público-alvo, trazendo dados relevantes sobre o mercado e os interessados nesse nicho tecnológico.

1. **Número de competições de robótica realizadas anualmente no Brasil:** O Brasil sedia diversas competições de robótica, incluindo a Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR), que em 2023 contou com a participação de 114 equipes na etapa estadual da Bahia;
2. **Número de instituições de ensino técnico ou superior com cursos de engenharia ou tecnologia no Brasil:** Segundo dados de 2018, 15% dos alunos matriculados estavam em cursos de engenharia e produção, e 6% na área de ciências naturais, matemática e informática;
3. **Quantidade de alunos matriculados em cursos técnicos ou de graduação em áreas relacionadas à tecnologia e robótica no DF e Goiás;**
4. **Crescimento anual da demanda por projetos educacionais relacionados à robótica e automação no Brasil;**
5. **Número de feiras ou eventos educacionais e tecnológicos realizados anualmente no Brasil:** O Brasil realiza diversos eventos educacionais e tecnológicos, como o Festival Sesi de Robótica, que, em 2023, contou com a participação de mais de 1.500 estudantes de 9 a 18 anos de todo o país;
6. **Investimentos anuais em tecnologia e educação no Brasil, especialmente em robótica educacional;**
7. **Crescimento no uso de componentes eletrônicos e sensores para projetos educacionais no mercado nacional;**
8. **Número de equipes participantes de competições de robótica no Brasil:** A Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR) registrou, na etapa estadual da Bahia, a participação de 114 equipes, totalizando 411 competidores;
9. **Quantidade de instituições públicas e privadas que promovem programas de incentivo à robótica educacional no Brasil:** Festival SESI de Robótica, realizado em 2023, Brasília, reuniu mais de 2 mil estudantes de todo o país, destacando-se como a maior competição de robótica educacional do Brasil;
10. **Crescimento no número de inscrições em cursos online ou presenciais relacionados à programação e robótica no Brasil;**

3 Equipe de Trabalho

Tabela 1 – Composição da Equipe.

Nome	Matrícula	Curso	Telefone	E-mail	Atribuições
Raul Braga da Costa	16/0142954	Eng. Aeroespacial	(61) 99586-8548	raulbraga123@gmail.com	Subgerente geral
Thiago da Silva Batista	22/2021970	Eng. Aeroespacial	(61) 98453-6747	thiagodsbat@gmail.com	Estruturas
Vinícius Passeri Moraes de Souza	22/2015041	Eng. Aeroespacial	(62) 99527-7940	passerimoraes@gmail.com	Eletrônica
Yuri Machado de Souza	22/1008552	Eng. Aeroespacial	(61) 98138-0622	Machadomup@gmail.com	Subgerente/Estruturas
Vitor Teixeira Reis	22/2022028	Eng. Eletrônica	(61) 99193-1177	vitorteixeira.unb@gmail.com	Subgerente/Eletrônica
Pedro Tedesco Horta	22/1022112	Eng. de Energia	(61) 99681-9373	Hortap12@gmail.com	Subgerente/Desempenho Energético
Ana Júlia Mendes Santos	22/1007798	Eng. de Software	(64) 98164-7176	anajumesantos11@hotmail.com	Gerente/Software
Arthur da Silveira Sousa	22/1022462	Eng. de Software	(61) 98655-0714	arthurssousa2004@gmail.com	Eletrônica
Cauã Araujo dos Santos	22/1022490	Eng. de Software	(61) 99458-7332	cau411@hotmail.com	Software
Felipe de Oliveira Motta	22/1031158	Eng. de Software	(61) 99962-1655	felipemotta949@gmail.com	Software
Gabriel Dantas B Mendes	23/1038072	Eng. de Software	(61) 99279-0309	gbevi281@gmail.com	Software
Júlio Cesar Gomes de Souza Crispim	22/1007591	Eng. de Software	(61) 98110-2408	julio1520@gmail.com	Software
Kauã Richard de Souza Cavalcante	22/1022631	Eng. de Software	(61) 99116-7845	kaua.cavalcante117@gmail.com	Software
Maria Clara Oleari de Araujo	22/1008338	Eng. de Software	(61) 99821-7414	maria19.oleari@gmail.com	Software
Weverton Rodrigues da Costa Silva	22/1022767	Eng. de Software	(61) 98664-9276	mr.weverton1226@gmail.com	Subgerente/Software
Weslley Alves de Barros	20/0044567	Eng. de Software	(61) 99618-4141	weslley17w@gmail.com	Software

4 Projeto Conceitual do Produto

4.1 Características gerais

O produto é um robô autônomo projetado para competições de sumô, equipado com sistemas que identificam e empurram pesos para fora de uma arena. Controlado por um sistema embarcado, ele processa dados dos sensores e aciona os motores para executar manobras precisas, garantindo que permaneça dentro dos limites da arena enquanto cumpre seu objetivo.

O robô empurra, individualmente, três pesos diferentes de até 1 kg cada, sem utilizar mecanismos de sucção para aumentar a aderência ao solo. Respeitando as especificações de tamanho (20x20 cm² de base) e peso (até 2 kg), ele opera de forma completamente autônoma, com acionamento manual apenas no início da competição.

Durante o desenvolvimento, utilizamos a metodologia ágil Scrum, que nos permite entregar funcionalidades de forma iterativa e incremental por meio de sprints curtos. Essa abordagem promove uma forte colaboração entre as diferentes áreas da equipe, garantindo a integração dos conhecimentos de todas as engenharias envolvidas. O resultado é um robô eficiente, robusto e alinhado com os desafios e exigências da competição.

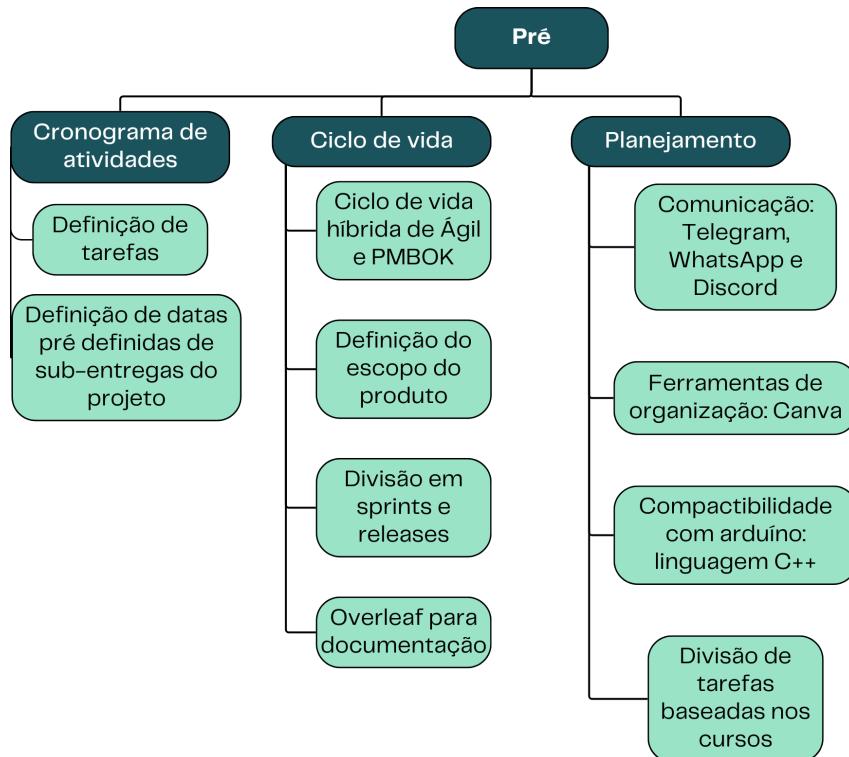


Figura 1 – Etapa pré-desenvolvimento da EAP

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP) é um diagrama visual que organiza o escopo do projeto de forma hierárquica, facilitando o gerenciamento das entregas. A etapa denominada Pré corresponde ao momento inicial, no qual são identificadas as necessidades, levantados os requisitos, elaborado um planejamento preliminar, escolhidas as tecnologias e elementos físicos, além de definida a forma de comunicação entre os integrantes do projeto. O principal objetivo dessa etapa é estabelecer uma visão estratégica do produto, garantindo que as fases seguintes sejam realizadas de forma fundamentada e alinhada com os objetivos identificados.

No caso do projeto Robô Sumô, a EAP foi desenvolvida separadamente por cada subárea do projeto: Software, Eletrônica, Desempenho Energético e Estruturas. As tarefas de cada subárea estão detalhadas nas imagens a seguir.

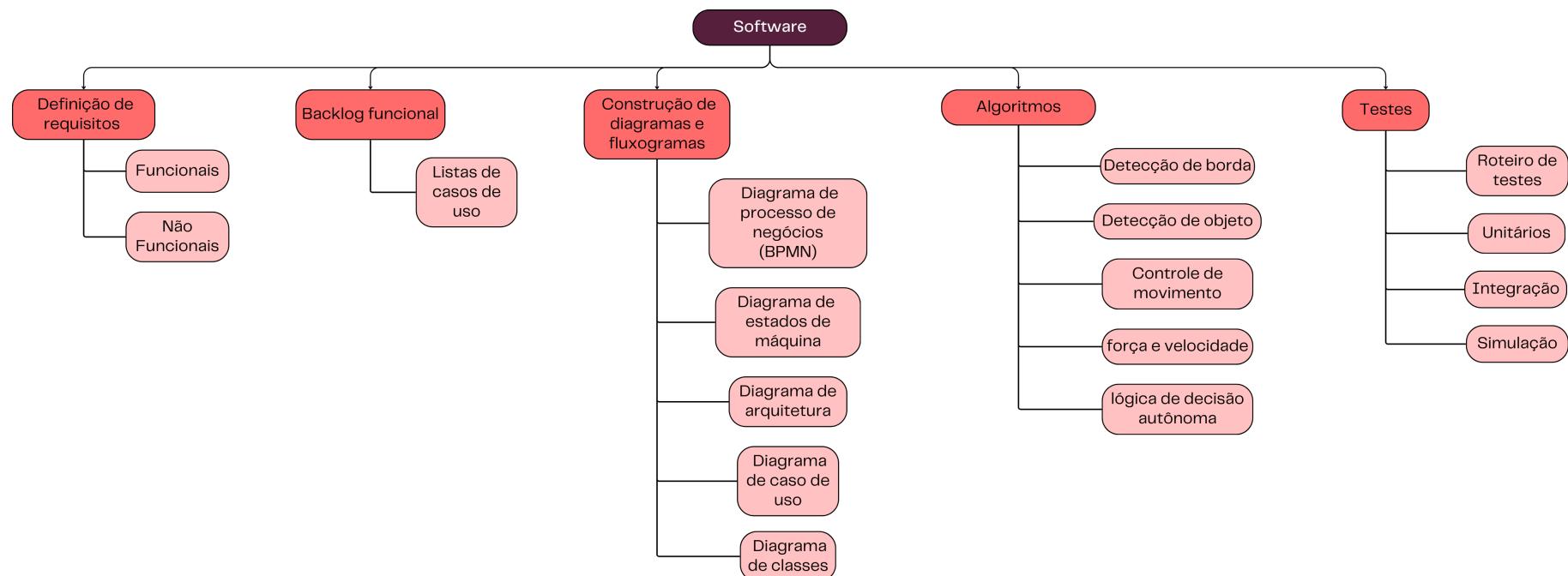


Figura 2 – EAP da subárea de Software

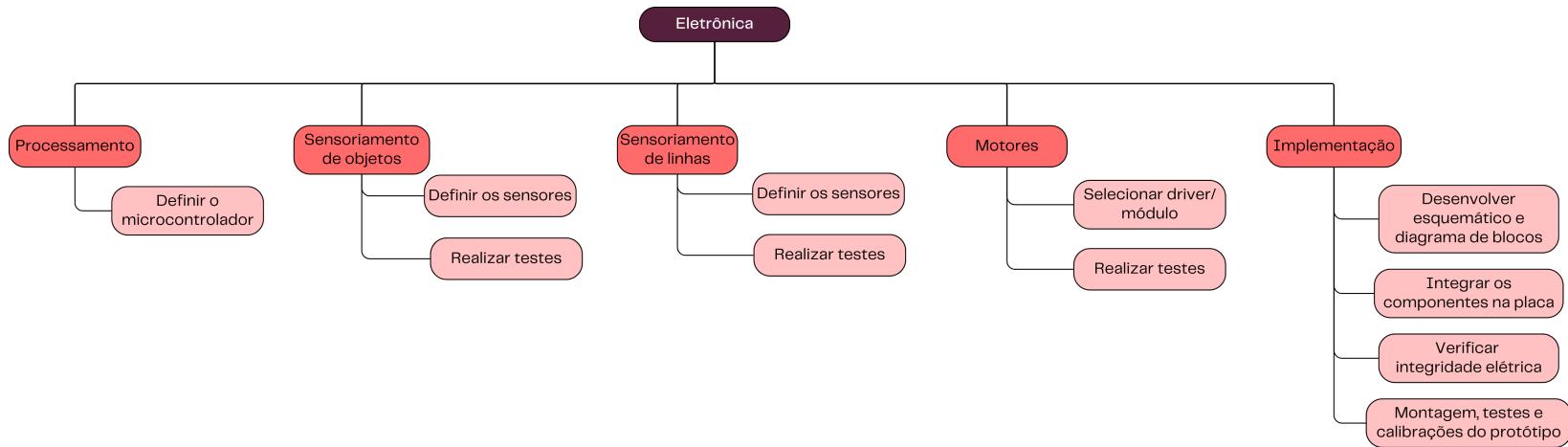


Figura 3 – EAP da subárea de Eletrônica

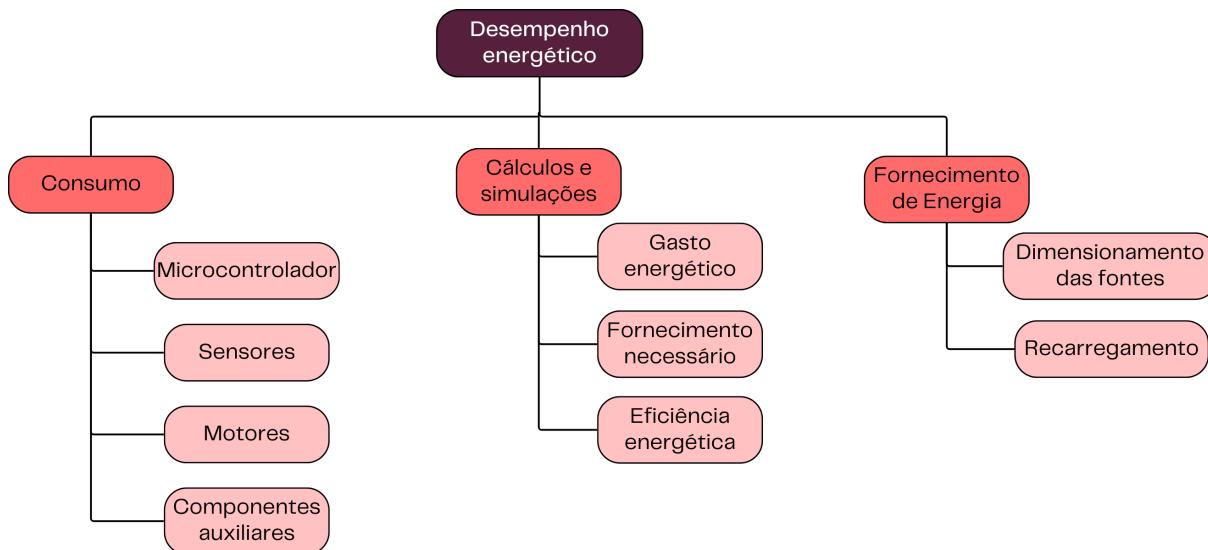


Figura 4 – EAP da subárea de Desempenho Energético

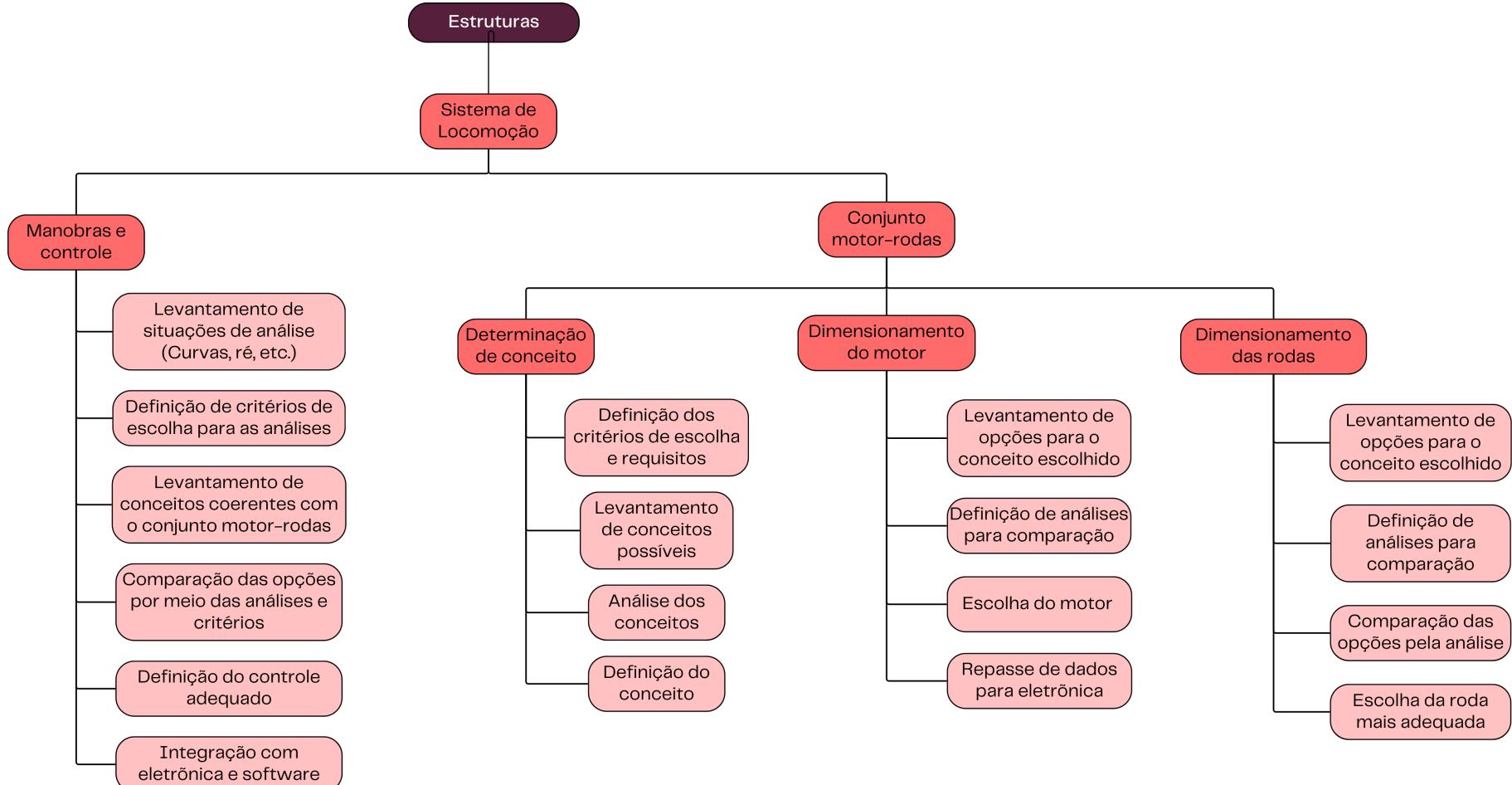


Figura 5 – Parte 1 da EAP da subárea de Estruturas

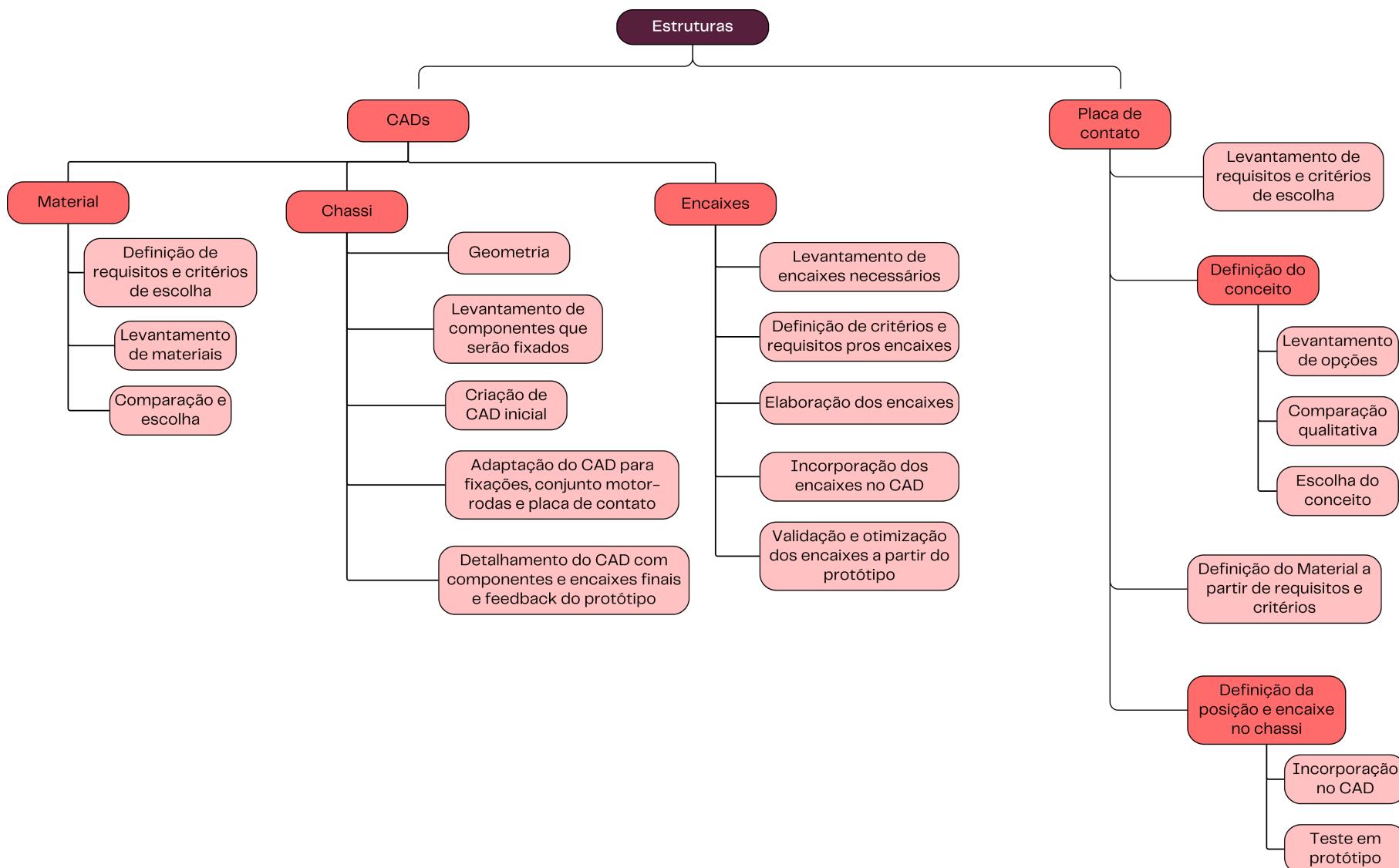


Figura 6 – Parte 2 da EAP da subárea de Estruturas

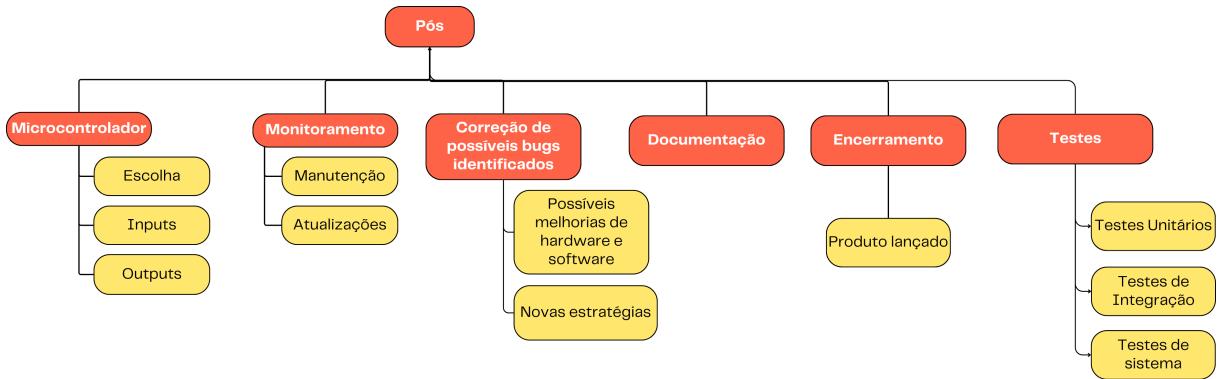


Figura 7 – Etapa pós-desenvolvimento da EAP

Já a etapa Pós da EAP abrange o acompanhamento do uso do produto até que seja justificada sua retirada ou substituição. Essa etapa inclui a análise dos resultados obtidos, a coleta de feedback dos professores da disciplina, a avaliação do desempenho do produto e a identificação de possíveis melhorias. As EAPs desenvolvidas por cada subárea oferecem uma visão clara e estruturada das tarefas e responsabilidades, assegurando um melhor planejamento e execução do projeto.

4.2 Estrutura

A estrutura do robô foi inteiramente desenvolvida no Software SOLIDWORKS 2024. Seu design foi previamente pensado com esboços e desenhos à mão, sendo, ao longo do tempo, atualizado e aprimorado de modo a trazer estabilidade, praticidade e distribuir melhor os componentes selecionados por eletrônica para o sensoriamento, controle e alimentação. Há duas seções separáveis: O chassi e a tampa superior. Essa divisão foi feita para facilitar a montagem. Segue a baixo o CAD completo do projeto, mais dimensões e imagens separadas dos componentes que serão desenvolvidos por estruturas podem ser observados no apêndice A juntamente com suas dimensões Δ juntamente com suas dimensões.

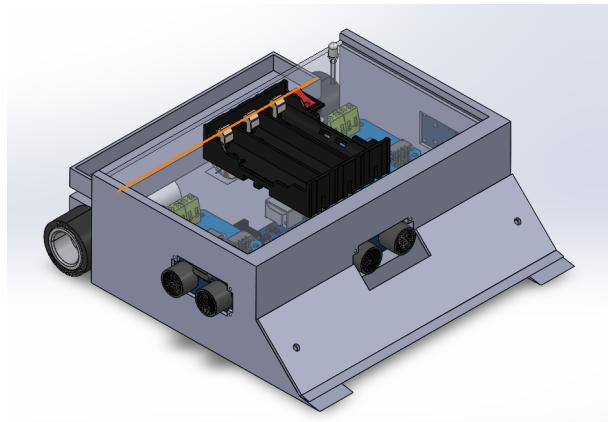


Figura 8 – Modelo 3D

4.2.1 Chassi

A estrutura principal do robô é composta pelo chassi, que tem como principais requisitos ser capaz de acomodar todos os componentes eletrônicos, ser prático para a montagem e desmontagem, ser estável para a locomoção e ter distância mínima ao solo para dificultar a elevação da parte frontal com impactos. Na parte traseira tem-se a estrutura que acomoda o sistema de locomoção, composto pelas rodas e motores, enquanto na parte intermediária do chassi tem-se o bloco principal e a tampa superior selando o conjunto. Adicionou-se apoios para a fixação dos componentes eletrônicos com parafusos, e aberturas para o posicionamento dos sensores. O modelo tridimensional juntamente com medidas pode ser visto no apêndice [A](#) juntamente com suas dimensões

4.2.1.1 Sistema de locomoção

Foi escolhido um sistema composto por 2 Motores com Caixa de Redução 12V 500 RPM e 2 rodas de 32mm de diâmetro macias, buscando satisfazer o torque requisitado, disponibilizar tração suficiente e atender a critérios de custo. Para o suporte do conjunto, foram projetadas 2 caixas de motor, para acoplar os motores e fornecer uma montagem mais eficiente e reduzir vibrações. O motor tem fixação realizada por dois parafusos que o fixam na placa localizada entre a roda e a face do motor da qual sai o eixo. A roda é fixada no eixo por meio de um parafuso allen interno. Os componentes podem ser vistos separadamente nos apêndices [A](#)

4.2.1.2 Bloco Principal

Nessa parte do chassi se encontram a maioria dos componentes eletrônicos, possuindo suportes para melhor estabilidade. O arranjo dos componentes foi pensado juntamente com o subnúcleo de eletrônica, de modo a facilitar a montagem e conexões. Também se considerou a distribuição de peso, para evitar o levantamento frontal e retirar assi-

metrias que podem atrapalhar o movimento do robô. Além disso, tem-se os suportes para os sensores de proximidade nas paredes laterais, definidos de modo a se obter um melhor aproveitamento da área de varredura efetiva

4.2.1.3 Tampa Superior

A tampa superior foi projetada para proteger os componentes internos e facilitar a montagem. Ela acomoda o Casing de baterias, responsável pelo armazenamento de energia, e permite a passagem dos fios para conexão com os demais componentes.

4.2.1.4 Rampa de contato

A rampa serve para maximizar a eficiência no empurrão. Seu design inclinado ajuda a redirecionar a força de impacto, levantando o peso para reduzir sua tração. Além disso, impede que o carrinho inimigo atinja diretamente a estrutura principal, protegendo componentes sensíveis e aumentando a vantagem no combate.

4.2.1.5 Suporte de pesos

Desenvolvido pensando em melhorar o desempenho do sistema de locomoção, visto que quanto mais peso sobre as rodas melhor será sua aderência ao solo, gerando mais tração e menos deslizamento; foi dimensionado com base em placas de acréscimo de peso.

4.2.2 Materiais

4.2.2.1 Chassi

O PLA foi escolhido para a fabricação do robô devido à sua facilidade de impressão 3D, garantindo precisão dimensional e baixa taxa de empenamento. Além disso, o material oferece rigidez adequada para a estrutura, mantendo um peso reduzido, o que favorece a mobilidade. Sua sustentabilidade, custo acessível e facilidade de acabamento também contribuem para a viabilidade do projeto.

4.2.2.2 Rampa de contato

O zinco foi escolhido para a fabricação do componente do robô devido à sua resistência mecânica, garantindo maior durabilidade e suporte a esforços mecânicos. Sua resistência à corrosão contribui para a proteção contra desgastes ao longo do tempo. Além disso, o material oferece bom custo-benefício e facilidade de usinagem, permitindo a produção de peças com alta precisão para a montagem do robô.

4.3 Descrição de hardware

4.3.1 Diagrama de Blocos

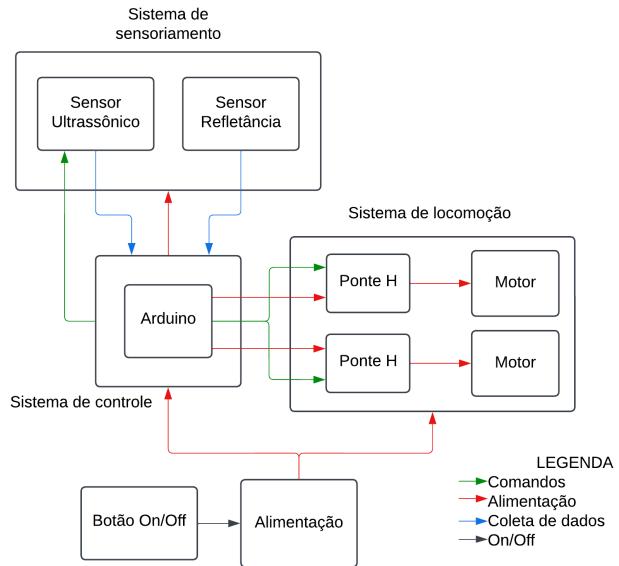


Figura 9 – Diagrama de Blocos

A Tabela 2 apresenta a lista de todos os componentes utilizados, juntamente com a quantidade necessária para a construção do robô.

Componentes	Quantidade
Arduino UNO	01
Sensor Ultrassônico HC-SR04	03
Módulo Sensor Reflexivo TCRT-5000	02
Módulo Driver Ponte-H BTS7960	02
StickyMAX Roda S20 Macia	02
Motor com Caixa de Redução 12V 500RPM	02
Chave Gangorra KCD1-101 2T	01
Bateria 3.7V 2.200mAh	03

Tabela 2 – Lista de componentes do robô de sumô

4.3.2 Microcontrolador

Para o processamento dos dados no robô sumô foram levantadas duas possibilidades para microcontrolador, a ESP-32 e o Arduino. À primeira vista, a ESP-32 parecia mais vantajosa por ser mais barata e ainda ter conectividade Wi-Fi. Porém, depois de descoberta a disponibilidade de um Arduino por um dos integrantes do grupo e analisada a não necessidade de conectividade sem fio para os requisitos do projeto, a facilidade de uso e a compatibilidade com diversos sensores e módulos, optou-se por seguir com a utilização do Arduino como microcontrolador do robô.



Figura 10 – Arduino UNO. Fonte: [Eletrus](#)

4.3.3 Sensor de objetos

O sensor ultrassônico HC-SR04 foi escolhido para detectar objetos e oponentes na arena, medindo distâncias por meio de ondas sonoras. A decisão se baseou na fácil integração com o Arduino, alcance de até 400 cm, precisão adequada para a arena de 154 cm, além do baixo custo, consumo de energia reduzido e funcionamento em diferentes ambientes.



Figura 11 – Sensor ultrassônico HC-SR04. Fonte: [Eletrogate](#)

4.3.4 Sensor de borda

O Módulo Sensor Reflexivo TCRT-5000 foi escolhido para detectar a borda da arena, pois combina um LED infravermelho e um fototransistor para identificar superfícies próximas. A decisão se baseou na fácil integração com o Arduino, baixo custo, eficiência na detecção e compatibilidade com a tensão de operação do microcontrolador.

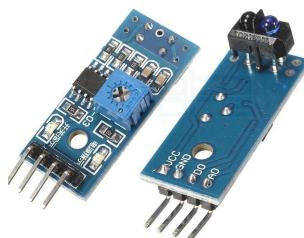


Figura 12 – Módulo Sensor Reflexivo TCRT-5000. Fonte: [Eletronica Ômega](#)

4.3.5 Controle dos motores

O módulo driver Ponte-H BTS7960 43A foi escolhido para controlar os motores do robô, permitindo movimento bidirecional para curvas e manobras. A decisão se baseou em sua alta capacidade de corrente (47A), bem acima dos 7,5A do motor, além da proteção contra superaquecimento e curto-círcuito. Apesar do custo elevado e da necessidade de dois módulos, esses fatores foram contornados, pois um integrante da equipe (Raul) já possuía os módulos disponíveis.



Figura 13 – Módulo Driver Ponte-H BTS7960 43A. Fonte: [MP Multipeças](#)

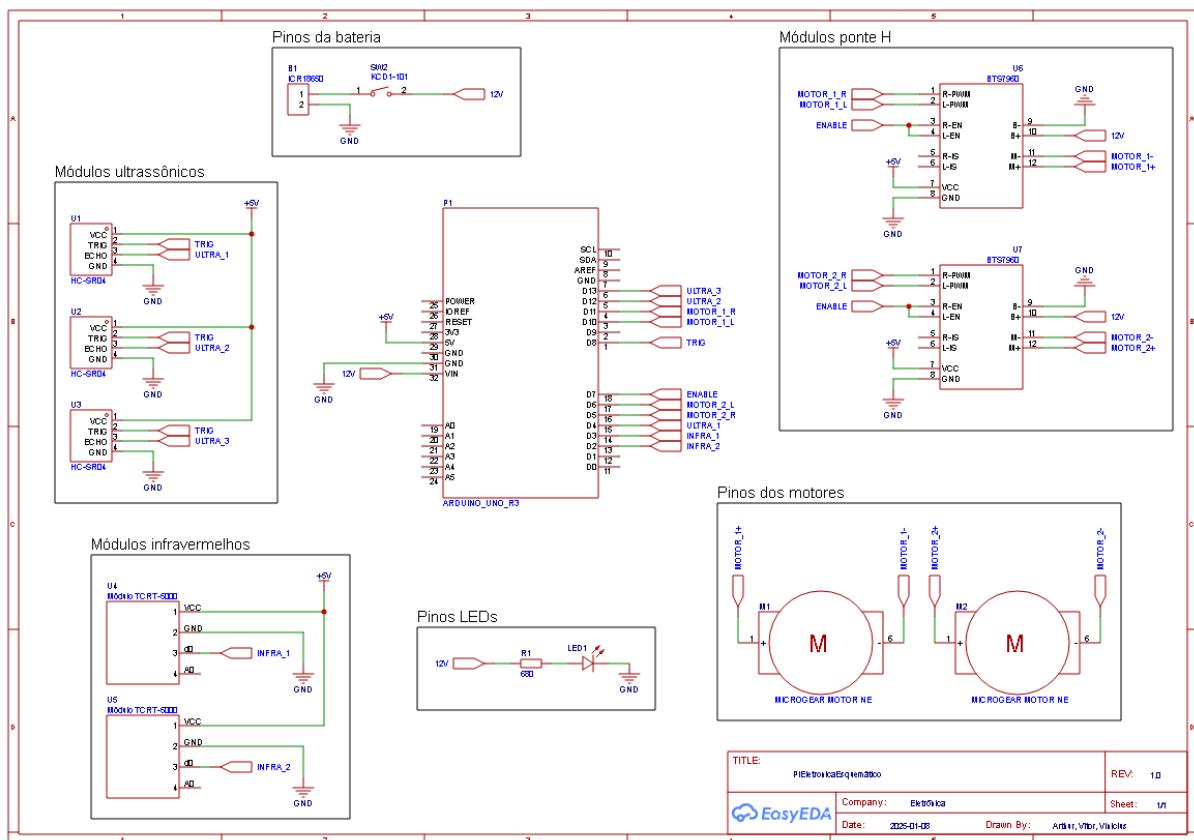


Figura 14 – Esquemático

4.4 Análise de consumo energético

O cálculo do consumo energético do robô deve levar em consideração o emprego dos seguintes componentes:

Componente	Quantidade
Motor com caixa de redução 12V, 500 RPM	2
Arduino UNO R3	1
Sensor Ultrassônico HC-SR04	3
Módulo Sensor Infravermelho	2
Módulo Driver Ponte-H BTS 7960 43A	2

Tabela 3 – Componentes que devem ser incluídos no cálculo energético.

4.4.1 Considerações

Para a determinação da bateria a ser utilizada, as seguintes considerações deverão ser feitas:

Componente	Detalhes	Potência Total (W)
Motor com caixa de redução 12V, 500 RPM (x2)	Potência: 3,5 W por motor	7,00
Arduino UNO R3	Consumo: 40 mA, Tensão: 5V	0,20
Sensor Ultrassônico HC-SR04 (x3)	Consumo: 15 mA, Tensão: 5V	0,225
Módulo Sensor Óptico Reflexivo TCRT-5000 (x2)	Emissor: 1,25V, 60 mA; Detector: 5V, 1 mA	0,16
Módulo Driver Ponte-H BTS7960 43A (x2)	Consumo: 2 mA, Tensão: 12V	0,024
Soma Total		7,81

Tabela 4 – Consumo de potência dos componentes do robô.

4.4.2 Detalhamento

Componente	Quantidade	Potência por unidade (W)	Potência total (W)
Motor com caixa de redução 12V, 500 RPM	2	3,5	7

Tabela 5 – Cálculo da potência total dos motores do robô.

Componente	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Potência Total (W)
Arduino UNO R3 (ATmega328P e ATmega16U2)	5	0,04	5.0,04 = 0,2	2.0,2 = 0,4

Tabela 6 – Consumo de potência do Arduino UNO R3.

Componente	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Potência Total (W)
Sensor Ultrassônico HC-SR04	3	5	0,015	5.0,015 = 0,075	0,225

Tabela 7 – Consumo de potência do sensor ultrassônico.

Componente	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência Total (W)
Módulo Infravermelho TCRT-5000 (Emissor)	2	1,25	0,06	0,075
Módulo Infravermelho TCRT-5000 (Detector)	2	5	0,001	0,005
Total	-	-	-	(0,075 + 0,005) x 2 = 0,16

Tabela 8 – Consumo de potência do módulo infravermelho.

Componente	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência Total (W)
Módulo Driver Ponte-H BTS 7960 43A	2	12	0,002	12 x 0,002 = 0,024

Tabela 9 – Consumo de potência do módulo da Ponte-H BTS 7960.

$$\boxed{\text{Potência total (W)} \mid 7 + 0,4 + 0,225 + 0,16 + 0,024 = 7,81 \text{ W}}$$

Tabela 10 – Cálculo da soma da potência de cada componente

Com uma margem de segurança de 30% para 1 hora de operação:

Tempo de operação	1 hora
Margem de segurança	30%
Cálculo da capacidade da bateria (Wh)	$1,3 \times 7,81 \text{ W} \times 1 \text{ hora}$
Capacidade da bateria (Wh)	= 10,153 Wh

Tabela 11 – Estimativa da capacidade da bateria considerando o tempo de operação, a potência total consumida e uma margem de segurança.

Considerando a questão da compatibilidade da bateria com os motores e o regulador de tensão do Arduino, ela deverá ter uma tensão de **12 V**.

Já para a corrente:

$$\boxed{\text{Capacidade da bateria (Ah)} \mid 10,153 \text{ Wh}/12 \text{ V} = 0,846 \text{ Ah}}$$

Tabela 12 – Cálculo da capacidade da bateria em ampère-hora (Ah).

Assim, pode-se considerar uma bateria de 1000 mAh como suficiente.

4.4.3 Escolha da bateria

Com base nos dados apresentados, foram escolhidas, para a constituição da bateria, baterias de íon-lítio ICR18650-22P M, de tensão nominal 3,7 V e capacidade nominal de 2200 mAh (2,2 Ah). Configurando 3 células em série, obtém-se uma tensão de, aproximadamente, 12V e capacidade energética total de 24,42 Wh ($3,7 \times 3 \times 2,2$), mais do que suficiente para atender a demanda de 10,153 Wh para 1 hora de funcionamento.

4.4.4 Estimativa de autonomia

Considerando a escolha da bateria (3 baterias de íon-lítio ICR18650-22P M, de tensão nominal 3,7 V e capacidade nominal de 2,2 Ah, configuradas em série), a autonomia máxima (teórica) para o robô será dada por:

$$\text{Autonomia} = (\text{EnergiaTotalDisponível}) / (\text{Consumo por hora}) \quad (4.1)$$

Sabendo que a energia total é dada pelo produto entre a tensão e a corrente, tem-se:

$$\text{EnergiaTotalDisponível} = 3 \cdot \text{TensãoTotal} \cdot \text{CapacidadeTotal} \quad (4.2)$$

Então, a energia total disponível será:

Energia Total Disponível	$= 3 \times 3,3 \text{ V} \times 2,2 \text{ Ah} = \mathbf{22,42 \text{ Wh}}$
---------------------------------	--

Tabela 13 – Cálculo da energia total disponível na bateria.

Finalmente, a autonomia teórica máxima será:

Autonomia	$= 22,42 \text{ Wh} / 10,153 \text{ Wh/h} = \mathbf{2,4 \text{ horas}}$
------------------	---

Tabela 14 – Cálculo da autonomia estimada do robô com a bateria selecionada.

4.4.5 Cenários Alternativos

Autonomia	Margem de Segurança	Capacidade (Ah)	Capacidade Aproximada
2 horas	30%	Ah	2000 mAh
1 hora	20%	Ah	800 mAh
2 horas	20%	Ah	1600 mAh

Tabela 15 – Estimativa da capacidade da bateria necessária para diferentes autonomias e margens de segurança.

4.4.6 Escolha das Margens de Segurança

As margens de 20% e 30% foram escolhidas considerando o equilíbrio entre segurança energética (assegurar energia suficiente para que todas as tarefas demandadas ao robô possam ser executadas) e otimizações de custo e peso do projeto (exigência de peso menor ou igual a 2 kg e interesse em redução dos gastos com aquisição de componentes).

Como fundamentação para esses valores, foram levados em conta: a margem de 30% apresentada no “ Relatório Final de Iniciação Científica - Desenvolvimento da estrutura

e dispositivos mecânicos do time de Futebol de Robôs da Categoria *Small-Size* da FEI (Faculdade de Engenharia Industrial) – RoboFEI”, de autoria de Fernando Perez Tavares, sob orientação de Flavio Tonidandel, margem essa escolhida devido ao rendimento do motor elétrico e a perdas mecânicas de transmissão; a margem de folga de 20% para o limite dos atuadores e de atrito para o “Projeto de Robôs Bípedes com Dinâmica Simplificada, Modelagem, Controle e Síntese de Trajetórias”, de autoria de Cauê Peres, sob orientação de Paulo Sérgio Pereira da Silva; e a margem de folga de 20% para pressão de trabalho adotada nas regras da “RoboCore” para luta de robôs autônomos e semi autônomos.

4.5 Descrição de software

4.5.1 Diagrama BPMN

O diagrama BPMN, apresentado na figura 15, representa o funcionamento de um robô autônomo em uma arena. O processo começa com o usuário acionando um botão, ativando sensores e o sistema. O robô usa sensores ultrassônicos para localizar objetos e calcula a rota para empurrá-los para fora da arena. Durante a movimentação, sensores infravermelhos garantem que o robô permaneça dentro dos limites.

Se um objeto é removido, o processo reinicia para procurar outro; caso não haja mais objetos, o sistema finaliza. O robô opera de forma autônoma, corrigindo sua posição conforme necessário.

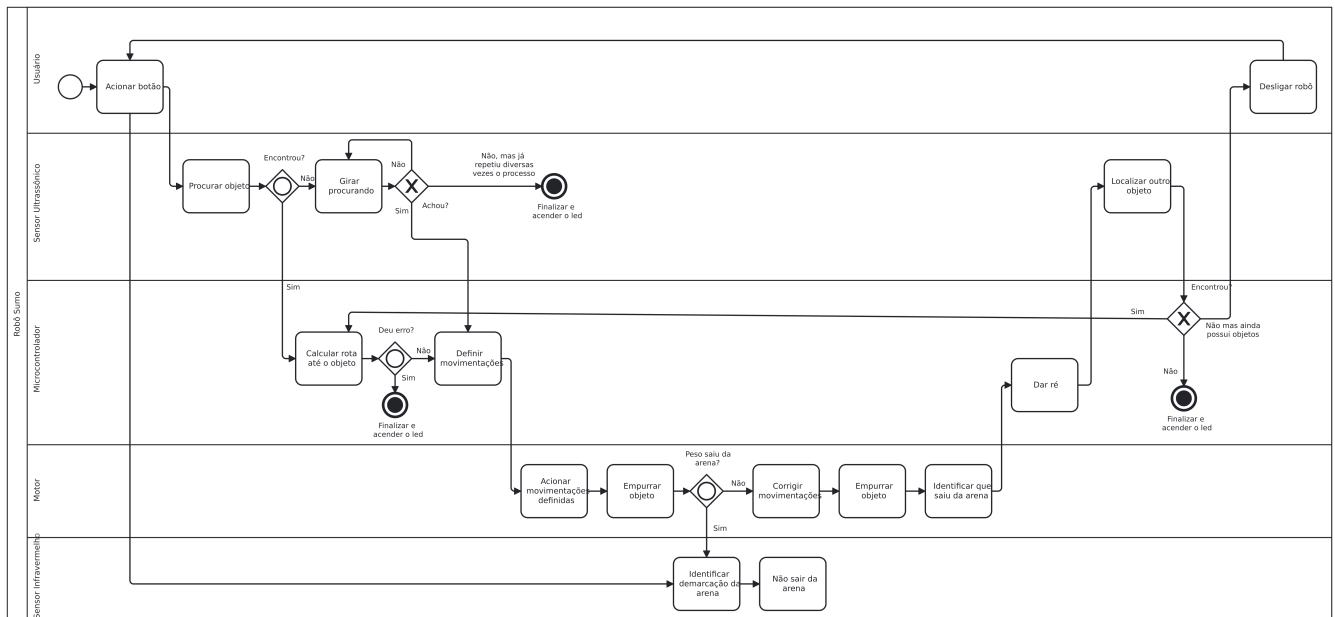


Figura 15 – Diagrama BPMN do projeto Robô Sumô que exemplifica o funcionamento do processo como um todo

Para o desenvolvimento do backlog funcional do produto, foi elaborada uma lista de casos de uso, a qual também serviu como base na construção do Diagrama de Casos de Uso, contribuindo para uma melhor organização e entendimento do sistema.

4.5.2 Lista de Casos de Uso

- Identificar e localizar pesos.
- Detectar linha preta de borda em tempo real para evitar que o robô saia da arena.
- Diferenciar peso e oponente com base em critérios como tamanho, movimento e distância.
- Calcular rotas para se mover até o peso.
- Monitorar posições e objetos.
- Calcular força de tração necessária para empurrar o peso com segurança até a borda.
- Executar movimento, que envolve:
 - Deslocamento do robô;
 - Ajustar velocidade e direção;
 - Condição de parada.
- Processar dados dos sensores para interpretar informações de posição e borda.
- Reposicionar o robô após desalinhamento.

4.5.3 Diagrama de Casos de Uso

O diagrama de casos de uso resume as interações entre os usuários e o sistema. Embora o diagrama apresentado descreva uma única interação direta entre o usuário e o robô, ele detalha todas as interações internas realizadas pelo robô com seu sistema. Cada interação corresponde a um caso de uso, que pode ser independente ou depender de outros casos por meio de relacionamentos.

Os relacionamentos incluem Includes - representa dependências, indicando que um caso de uso precisa de outro para funcionar - e Extends - indica uma variação do caso base, com a adição de novos passos ou funcionalidades.

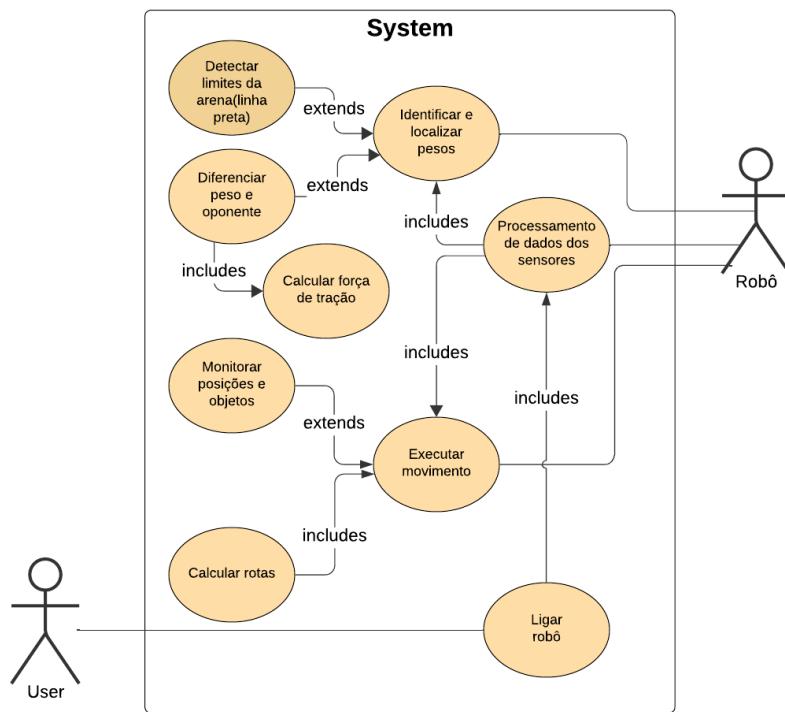


Figura 16 – Diagrama Casos de Uso

4.5.4 Diagrama de Classes

O diagrama de classes modela os principais componentes do robô lutador de sumô. A classe central, Microcontrolador, gerencia a lógica do sistema, controlando os motores e processando dados dos sensores. Os Sensores Ultrassônicos (três) detectam objetos em diferentes direções, enquanto os Sensores Infravermelhos (dois) identificam as bordas da arena. A classe Motor define operações de movimentação, considerando atributos como tensão e direção. O Microcontrolador também executa a detecção de objetos e bordas, calcula a força para empurrar pesos e reinicializa a posição do robô. Essa estrutura integra hardware e software, otimizando o desempenho na competição.

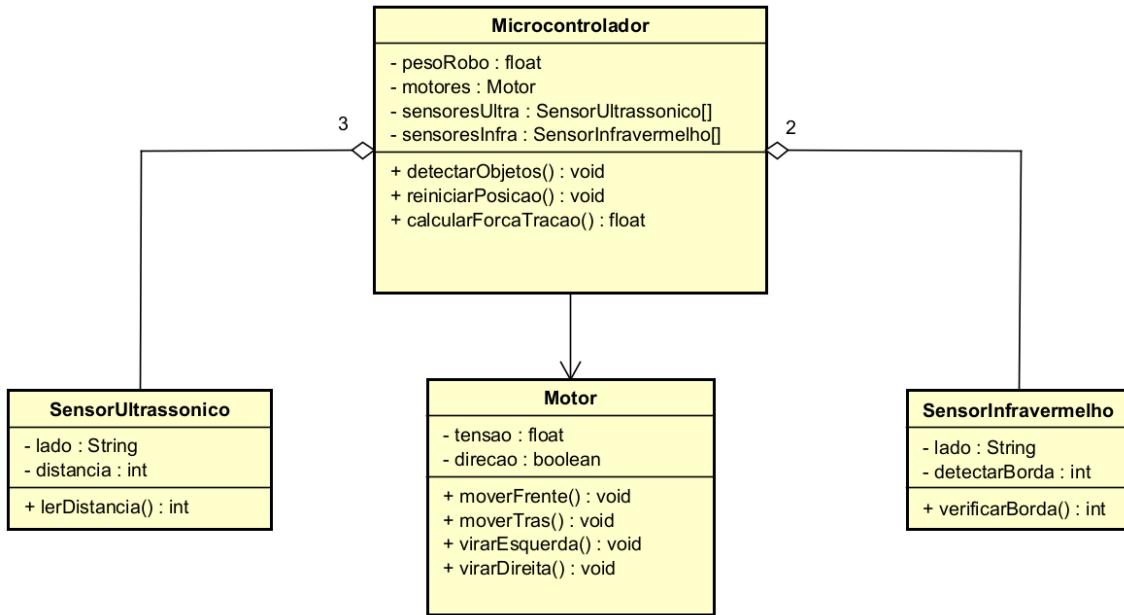


Figura 17 – Diagrama de Classes

4.5.5 Diagrama de Arquitetura

O diagrama de arquitetura apresenta a Arquitetura Modular adotada no projeto, fundamentada na separação de responsabilidades, encapsulamento e abstração. Nessa abordagem, os módulos operam de forma independente, com interações bem definidas, garantindo manutenibilidade e flexibilidade. Isso permite a inclusão de novas funcionalidades, como sensores ou algoritmos, sem a necessidade de reestruturação do sistema. Os principais módulos são: Microcontrolador, responsável pela lógica e comunicação; Motor, que controla o movimento; Sensor Ultrassônico, para detecção de objetos; e Sensor Infravermelho, que identifica os limites da arena.

Os módulos representados são:

- **Microcontrolador**: gerencia a lógica do sistema e a comunicação entre os módulos.
- **Motor**: controla o movimento do robô com base nos comandos do microcontrolador.
- **Sensor Ultrassônico**: detecta a presença e a distância de objetos.
- **Sensor Infravermelho**: identifica os limites da arena para que o robô não ultrapasse.

O diagrama ilustra a comunicação entre os módulos e os tipos de dados trocados, garantindo o funcionamento integrado do sistema para atender ao objetivo principal do projeto.

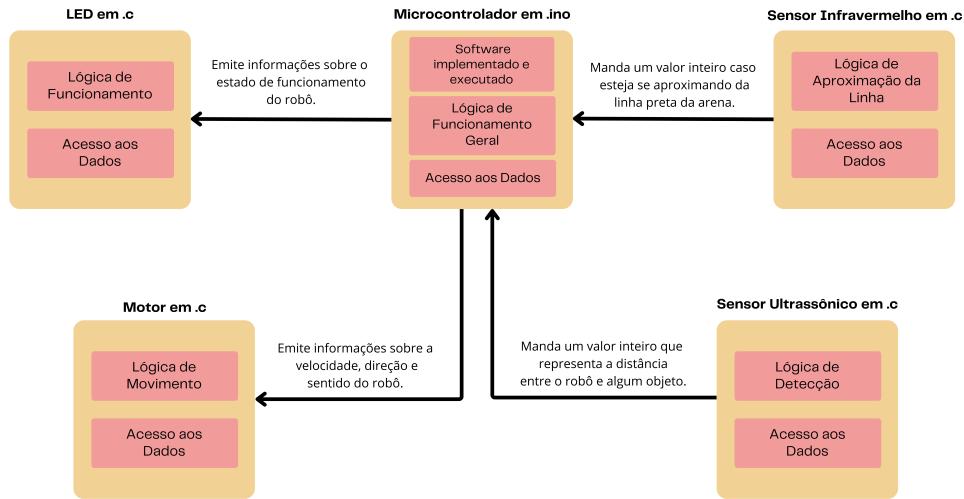


Figura 18 – Diagrama de Arquitetura

4.5.6 Diagrama de Estados da Máquina

O sistema inicia em repouso, aguardando até detectar um peso e transitar para Buscar peso. Caso nada seja identificado, permanece no estado inicial. Em Buscar peso, o robô se movimenta pela arena para localizar um peso, verificando os limites. Ao identificar que está fora da área permitida, ajusta sua posição; caso contrário, continua a busca. Ao encontrar um peso, transita para Calcular rota, onde planeja o trajeto. Com a rota definida, passa para Ajustar posição, se necessário, que é o estado de movimentação ativado sempre que o robô precisa corrigir sua posição, alinhando-se ao peso. Após o ajuste, retorna a Buscar peso ou segue para o próximo passo. No estado Empurrar objeto, desloca o peso para fora da arena. Em seguida, realiza uma manobra de ré, repositionando-se para o estado inicial ou ajustando-se conforme necessário. O estado Verificar limites confirma a posição do robô e do peso em relação à arena, corrigindo eventuais violações antes de retornar ao fluxo.

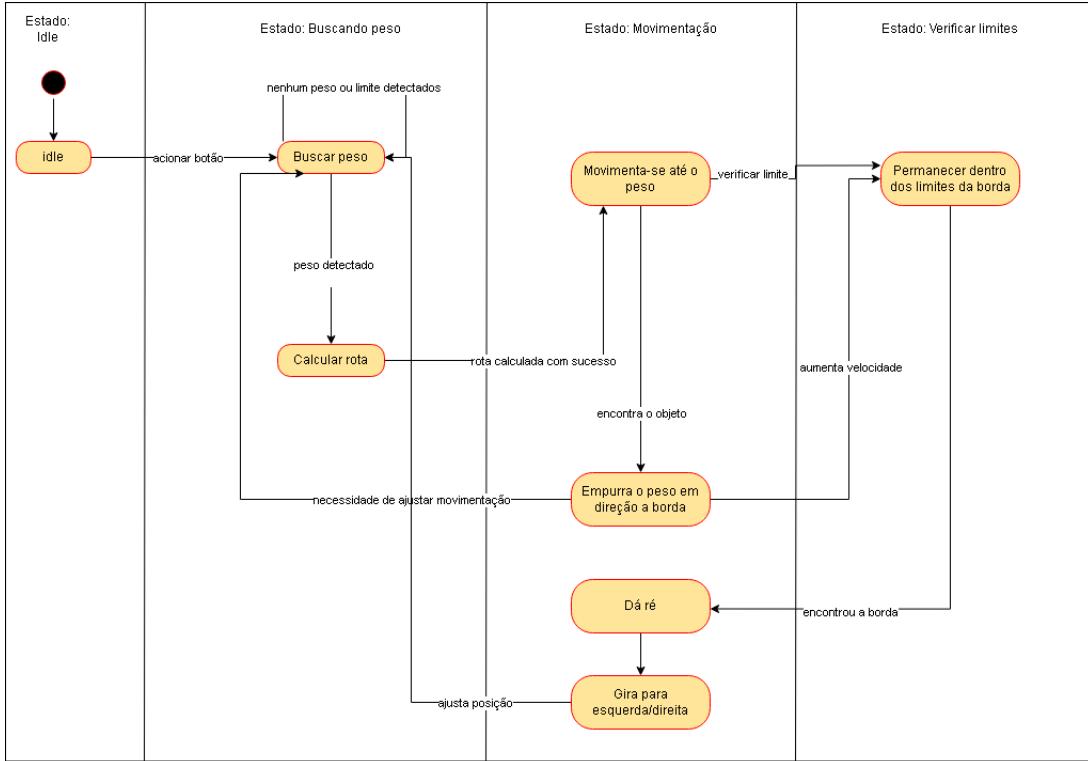


Figura 19 – Diagrama de Estados de Máquina

4.5.7 Descrição dos Testes

Testes Unitários

Testes unitários são úteis na identificações rápidas de possíveis quebras no funcionamento de componentes. Será feito um teste unitário em cada módulo do Robô Sumô para a melhor garantia de desempenho.

- **Microcontrolador:**

- **Objetivo:** Garantir que o microcontrolador processe os dados vindos de cada módulo corretamente, isto é, visualização da linha e objetos dentro da arena e realizar o cálculo do movimento em direção ao peso.

- **Procedimento:**

- * Enviar sinais dos sensores e verificar se os comandos emitidos aos motores correspondem às entradas simuladas.

- **Critério de Aceitação:** O microcontrolador deve interpretar, processar e devolver os sinais corretamente, completando o objetivo do robô sem erros. Além disso, precisa manter consistência entre os sinais de entrada e saída, sem atrasos excessivos que comprometam o funcionamento do sistema.

- **Motor:**

- **Objetivo:** Avaliar o funcionamento integral do motor em termos de força de tração, direção, velocidade e precisão.
- **Procedimento:**
 - * Enviar comandos de direção(frente, trás, virar).
 - * Verificar a execução do movimento e medir o tempo de resposta.
- **Critério de Aceitação:** O motor deve responder aos comandos em um intervalo de até 1000ms.
- **Sensor Infravermelho:**
 - **Objetivo:** Testar a capacidade de detecção do limite da borda, dado pelas linhas pretas.
 - **Procedimento:**
 - * Movimentar o robô sobre uma superfície com uma linha preta delimitada.
 - * Verificar se o sensor detecta a borda e não a ultrapasse, como esperado.
 - **Critério de Aceitação:** O sensor deve detectar a borda e não passar dela em todas as tentativas.
- **Sensor Ultrassônico:**
 - **Objetivo:** Verificar a precisão na identificação de objetos(peso ou oponente) e na medição de distâncias.
 - **Procedimento:**
 - * Posicionar objetos a distâncias padrões, como: 10 cm, 20 cm e 50cm.
 - * Comparar as leituras dadas pelo sensor com as distâncias reais na arena.
 - **Critério de Aceitação:** A margem de erro deve ser inferior a 3 cm.

Testes de Integração (Conjunto de Componentes)

Os testes de integração são importantes para avaliar o funcionamento do sistema como um todo, garantindo a interação adequada entre os módulos.

- **Teste de Correção de Rota:**
 - **Objetivo:** Testar a capacidade de correção do carrinho, caso haja desalinhamento da rota.
 - **Procedimento:**
 - * Introduzir pequenos obstáculos no caminho durante a movimentação do robô.

- * Verificar se o robô ajusta a rota para evitar esses obstáculos na arena.
- **Critério de Aceitação:** O robô deve sempre corrigir sua trajetória em todas as tentativas.
- **Teste de Navegação:**
 - **Objetivo:** Avaliar o circuito como um todo, ou seja, se o robô consegue detectar objetos, retirar os pesos da arena, calcular a rota e mover-se dentro da arena.
 - **Procedimento:**
 - * Fazer uma simulação do sistema, posicionando pesos em locais diferentes dentro da arena.
 - * Verificar se o robô localiza os pesos, empurra-os para fora da arena de forma que não saia da borda.
 - **Critério de Aceitação:** O robô precisa localizar e empurrar todos os pesos da arena sem sair.

Roteiro de Testes

A Tabela 16 apresenta um Roteiro de Testes que sistematiza as etapas para validar o funcionamento do sistema, facilitando a identificação de falhas e melhorias de forma eficiente.

Etapa	Descrição
Preparação do Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Simular uma arena com os pesos, fitas delimitadas e obstáculos. • Garantir que todos os componentes estejam conectados corretamente e calibrados.
Execução dos Testes Unitários	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar os resultados e identificar falhas.
Execução dos Testes de Integração	<ul style="list-style-type: none"> • Testar o sistema por completo com os cenários simulados, como: <ul style="list-style-type: none"> – Simulação de falhas. – Todos os pesos na arena. – Presença de obstáculos. • Registrar o desempenho e as respostas do sistema.
Avaliação e Ajustes	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar os registros dos testes e identificar possíveis pontos de melhoria. • Realizar ajustes no software, hardware ou ambos, conforme necessário.

Tabela 16 – Roteiro de Testes

5 Orçamento do projeto

Tabela 17 – Orçamento geral.

Geral	Previsto	Realizado
Matéria-Prima	R\$ 80,98	R\$ 0,0
Componentes eletrônicos	R\$ 186,15	R\$ 40,25
Componentes elétricos	R\$ 67,5	R\$ 0,0
Componentes mecânico	R\$ 219,6	R\$ 219,6
Impressão 3D	R\$ 73,48	R\$ 0,00
Ferramentas	R\$ 29,90	R\$ 0,00
Total	R\$ 687,64	R\$ 310,85

Tabela 18 – Orçamento por aquisição

Item	Tipo	Previsto	Realizado	Responsável
Arduino	Componente eletrônico	R\$ 56,90	R\$ 0,00	Arthur
Sensor Ultrassônico (3)	Componente eletrônico	R\$ 8,50	R\$ 8,50	Vinicius
Módulo Sensor Reflexivo (2)	Componente eletrônico	R\$ 6,50	R\$ 6,50	Vinicius
Módulo Driver BTS7960 (2)	Componente eletrônico	R\$ 44,55	R\$ 0,00	Raul
Rodas (2)	Componente mecânico	R\$ 49,90	R\$ 49,90	Vinicius
Motor 12V 500RPM (2)	Componente mecânico	R\$ 59,90	R\$ 59,90	Vinicius
Chave Gangorra	Componente eletrônico	R\$ 1,50	R\$ 1,50	Vinicius
Bateria 12V	Componente elétrico	R\$ 22,50	R\$ 0,00	Vinicius
LED	Componente eletrônico	R\$ 0,25	R\$ 0,25	Vinicius
Ferro de solda	Ferramentas	R\$ 29,90	R\$ 0,00	Vinicius
Estanho para solda	Matéria-prima	R\$ 11,30	R\$ 0,00	Vinicius
Chassi	Impressão 3D	R\$ 73,48	R\$ 0,00	Raul
Chumbo	Matéria-prima	R\$ 51,00	R\$ 0,00	Yuri
Parafusos (34)	Matéria-prima	R\$ 18,68	R\$ 0,00	Yuri

6 Cronograma do projeto

Tabela 19 – Cronograma geral.

Geral	Previsto	Realizado
Início do projeto	25/11/2024	25/11/2024
Fim do projeto	10/02/2025	12/02/2025

Atividade	Início Previsto	Início Realizado	Fim Previsto	Fim Realizado	Pré-requisito	Responsáveis
1 - EAP	25/11/24	25/11/24	07/12/24	09/12/24	-	Todos
2 - Cronograma	25/11/24	26/11/24	07/12/24	09/12/24	-	Todos
3 - Termo de Abertura	25/11/24	26/11/24	07/12/24	06/12/24	-	Ana Júlia, Maria Clara, Weverton
4 - Introdução	25/11/24	28/11/24	07/12/24	03/12/24	-	Arthur, Pedro, Vitor e Vinicius
5 - Características gerais	25/11/24	04/12/24	07/12/24	06/12/24	-	Weslley e Júlio
6 - Resumo	25/11/24	04/12/24	7/12/24	08/12/24	-	Ana Júlia e Maria Clara
7 - PC - 1	-	-	09/12/24	09/12/24	1, 2, 3, 4, 5, 6	Todos
8 - Definição de requisitos	27/11/24	27/11/24	09/12/24	03/12/24	-	Todos
9 - Definição do Sistema de Locomoção	27/11/25	27/11/24	11/12/24	09/12/24	-	Yuri, Thiago e Raul
10 - Definir microcontrolador	9/12/24	10/12/24	11/12/24	11/12/24	8	Arthur, Vinicius e Vitor
11 - Lista de casos de uso	11/12/24	11/12/24	16/12/24	15/12/24	8	Weverton e Cauã
12 - Diagrama de classes	11/12/24	11/12/24	16/12/24	14/12/24	11	Gabriel e Kauã Richard
13 - Pesquisa e seleção dos sensores de borda	11/12/24	11/12/24	14/12/24	13/12/24	10	Arthur, Vitor e Vinicius
14 - Pesquisa e seleção dos sensores de objeto	11/12/24	11/12/24	14/12/24	12/12/24	10	Arthur, Vitor e Vinicius
15 - Orçamento motor e CAD	11/12/24	11/12/24	14/12/24	02/01/25	9	Yuri e Thiago

16 - Definir driver/módulo (motor)	11/12/24	11/12/24	14/12/24	12/12/24	10, 9	Arthur, Vitor e Vinicius
17 - CAD	12/12/24	11/12/24	06/01/25	02/01/25	9, 10, 13, 14, 16	Yuri
18 - Diagrama de Arquitetura	16/12/24	16/12/24	23/12/24	21/12/24	11	Kauã Richard e Cauã
19 - Diagrama de Estados de Máquina	16/12/24	16/12/24	23/12/24	21/12/24	11	Júlio e Maria Clara
20 - Diagrama de casos de uso	16/12/24	16/12/24	23/12/24	23/12/24	11	Weslley e Felipe
21 - Diagrama de processos de Negócios (BPMN)	16/12/24	16/12/24	23/12/24	19/12/24	11	Ana Júlia, Gabriel e Weverton
22 - Esquemático do circuito e diagrama de blocos	16/12/24	16/12/24	06/01/25	13/01/25	9, 10, 13, 14, 16	Arthur, Vitor e Vinicius
23 - Algoritmo de detecção de borda	19/12/24	19/12/24	12/01/25	19/12/24	12, 18, 19, 20, 21	Gabriel, Weverton e Arthur
24 - Algoritmo de detecção de objeto	19/12/24	19/12/24	12/01/25	19/12/24	12, 18, 19, 20, 21	Ana Júlia, Vítor e Felipe
25 - Algoritmo de controle de movimento	19/12/24	19/12/24	12/01/25	06/01/25	12, 18, 19, 20, 21	Cauã, Gabriel e Arthur
26 - Algoritmo de força e velocidade	19/12/24	19/12/24	12/01/25	09/01/25	12, 18, 19, 20, 21	Maria Clara, Weslley e Vítor
27 - Algoritmo de lógica de decisão autônoma	19/12/24	21/12/24	12/01/25	12/01/25	12, 18, 19, 20, 21	Júlio, Kauã Richard e Vinicius
28 - Consumo Energético	20/12/24	20/12/24	13/01/24	12/01/24	9, 10, 13, 14, 16	Pedro
29 - Fornecimento de energia	20/12/24	20/12/24	13/01/24	12/01/24	28	Pedro
30 - Testes e calibrações (sensores de objeto)	20/12/24	21/12/24	12/01/25	08/01/25	13, 24, 27	Vítor e Arthur

31 - Testes e calibrações (sensores de linha)	20/12/24	21/12/24	12/01/25	08/01/25	14, 23, 27	Arthur e Vinicius
32 - Testes e calibrações (motores)	20/12/24	21/21/24	12/01/25	08/01/25	16, 25, 26, 27	Yuri e Thiago
33 - Roteiro de testes	08/01/25	09/01/25	15/01/25	10/01/25	23, 24, 25, 26, 27	Todos
34 - Montagem do protótipo	08/01/25	09/01/25	13/01/25	13/01/25	17	Thiago e Yuri
35 - Integrar os componentes na placa	12/01/25	13/01/25	15/01/25	13/01/25	22	Arthur, Vitor e Vinicius
36 - PC - 2	-	-	13/01/25	13/01/25	7 à 35	Todos
37 - Simulação	14/01/25	13/01/25	21/01/25	21/01/25	33	Todos
38 - Verificação integridade eletrônica	15/01/25	15/01/25	16/01/25	15/01/25	35	Arthur, Vitor e Vinicius
39 - Montagem e testes final	16/01/25	04/02/25	09/02/25	07/02/25	34, 38	Todos
40 - Vídeo de apresentação	05/02/25	11/02/25	09/02/25	11/02/25	-	Todos
41 - Entrega Final	-	-	10/02/25	12/02/25	36 à 40	Todos

7 Resultados experimentais

7.1 Características gerais

Foram realizados experimentos nas salas de aula e laboratório da *Titans* para validar o funcionamento do robô sumô tanto em termos de estrutura quanto de hardware e software.

7.2 Experimentos da estrutura

7.2.1 Validação do chassis

Os componentes impressos em 3D estão perfeitamente alinhados com os suportes, sem folgas ou imprecisões, juntamente com o perfeito alinhamento de furos e encaixes.

7.2.1.1 Condições de contorno

1. As impressões são feitas em PLA;
2. Os componentes só podem ser fixos de formas específicas;
3. A fixação dos componentes é feita com parafusos de tamanhos específicos.

7.2.1.2 Resultados

1. Os componentes estão firmes;
2. Não haverá nenhum tipo de problema relacionado ao alinhamento dos furos com os encaixes dos suportes;
3. Os parafusos terão encaixe preciso e montagem simples.

7.2.1.3 Métodos

1. Foram impressos modelos prévios do modelo final, verificando a precisão obtida com a impressora;
2. Foi observado qual a viabilidade de parafusos menores para furos feitos nas peças, verificando a fragilidade dos mesmos e a dificuldade da montagem;
3. Para cada componente foi testado a fixação dos componentes em diferentes posições;
4. Foi testado a fragilidade de cada suporte;

7.2.1.4 Precisão

As medidas foram feitas com um Paquímetro analógico (resolução 0,05 mm) → Incerteza: $\pm 0,05$ mm

7.2.2 Teste de carga máxima empurrada utilizando lastro

7.2.2.1 Hipótese

A adição de lastro no robô evita o deslizamento das rodas prematuramente ao fornecer maior força normal e, consequentemente, maior força de atrito estático máxima.

7.2.2.2 Condições de contorno

1. Arena com 154 cm de diâmetro, delimitada por fita isolante preta;
2. Utilizou-se o piso da sala de aula I2.

7.2.2.3 Resultados

1. O peso máximo empurrado pelo carrinho antes da adição do lastro será menor do que após a adição;
2. O deslizamento das rodas ocorre para um peso menor sem o lastro e maior com o lastro.

7.2.2.4 Métodos

1. Montou-se uma arena delimitada por fita isolante;
2. Adicionou-se água nas garrafas em intervalos de 250ml e mediu-se o peso das garrafas colocadas dentro da caixa plástica;
3. Para cada quantidade de água, testou-se a capacidade do robô de empurrar a caixa com as garrafas;
4. Adicionou-se os pesos de chumbo ao baú do robô sumô, repetindo o procedimento de pesagem e movimentação das garrafas.

7.2.2.5 Precisão

A medida de massa foi feita com balanças de erro de 1g.

7.3 Experimentos de *hardware*

7.3.1 Módulo infravermelho TCRT-5000

7.3.1.1 Hipótese

O módulo infravermelho funcionará corretamente para diferentes superfícies ao ajustar o potenciômetro.

7.3.1.2 Condições

Teste utilizando pino digital e ajuste do potenciômetro no próprio módulo, sem calibragem por código.

7.3.1.3 Resultados

O sensor fornecerá leituras precisas para diferentes superfícies.

7.3.1.4 Métodos

Código simples para retorno de dados, ajustando o potenciômetro para testar diversas superfícies.

7.3.1.5 Precisão

A precisão dependerá da qualidade do ajuste do potenciômetro.

7.3.2 Sensor ultrassônico HC-SR04

7.3.2.1 Hipótese

O sensor ultrassônico será preciso nas leituras de distâncias.

7.3.2.2 Condição

Teste de sensores individuais para determinar a precisão das leituras de distância.

7.3.2.3 Resultados

As leituras de distância serão precisas, com a necessidade de *delay* para múltiplos sensores.

7.3.2.4 Métodos

Teste com um único sensor por vez e implementação de *delay* para testar múltiplos sensores.

7.3.2.5 Precisão

A precisão será determinada pelas configurações do sensor e pelo *delay* implementado.

7.3.3 Motor e módulo Ponte H BTS 7960

7.3.3.1 Hipótese

O módulo ponte H funcionará corretamente para inverter os sentidos dos motores ao aplicar a lógica de inversão de tensão.

7.3.3.2 Condições

Teste simples de lógica de inversão de tensão no módulo.

7.3.3.3 Resultado

O robô será capaz de inverter os sentidos dos motores conforme esperado.

7.3.3.4 Método

Código simples para testar a pinagem e a inversão de tensão do módulo.

7.3.4 Montagem do protótipo

7.3.4.1 Hipótese

As conexões com arduino para garantir a corrente necessária para todos os componentes.

7.3.4.2 Condições

Conexões realizadas com *jumpers* no arduino para validar a pinagem e o fornecimento de corrente.

7.3.4.3 Resultado

As conexões funcionam corretamente, fornecendo corrente adequada para os componentes.

7.3.4.4 Método

Conexões feitas com *jumpers* no arduino para testar o funcionamento dos pinos e a disposição do esquemático.

7.3.5 Teste final do produto

7.3.5.1 Hipótese

O código final do robô funcionará corretamente após as soldas e conexões finais.

7.3.5.2 Condições

Teste final após soldagem e verificação das conexões físicas.

7.3.5.3 Resultado

O robô funcionará sem falhas, com o código final validado.

7.3.5.4 Método

Realização das soldas, conexão dos componentes e validação do código final.

7.4 Experimentos de consumo energético

7.4.1 Hipótese

1. A bateria (3 baterias de íon-lítio) será suficiente para realizar todas as funções do robô, incluindo movimentação, reconhecimento e empurrão de pesos.
2. A autonomia será suficiente para a execução das funções requeridas.

7.4.2 Condições

1. Arena de 154 cm de diâmetro, delimitada por fita preta.
2. O robô deve empurrar 3 pesos de, no máximo, 1 kg para fora dos limites da arena;

7.4.3 Resultado

1. A autonomia será de até 2,4 horas, conforme a bateria escolhida.
2. Não ocorrerão falhas nos componentes devido à energia fornecida.

7.4.4 Método

1. Componentes: Motores 12V (x2), Arduino UNO R3, Sensores Ultrassônicos HC-SR04 (x3), Módulos TCRT-5000 (x2), Drivers Ponte-H BTS7960 (x2), Baterias de íon-lítio (x3).

2. A autonomia será medida pelo tempo de operação na arena, comparando os dados teóricos com o desempenho real.

7.5 Experimentos de *software*

Esta seção detalha os experimentos conduzidos para validar os algoritmos do software do robô de sumô, garantindo que os objetivos estabelecidos foram alcançados. A ênfase é na validação dos algoritmos de detecção, controle e tomada de decisão.

7.5.1 Algoritmos de detecção de borda e objeto

7.5.1.1 Hipóteses

- O sensor infravermelho identificará corretamente as bordas da arena em 100% dos casos.
- O sensor ultrassônico detectará objetos a distâncias padronizadas com margem de erro inferior a 3 cm.

7.5.1.2 Condições de Contorno

- Os testes foram realizados em um ambiente controlado.
- A borda da arena foi delimitada por uma faixa preta.
- Objetos foram posicionados em distâncias variadas em frente ao robô.

7.5.1.3 Resultados Esperados

- O sensor infravermelho identificou corretamente as bordas, evitando que o robô saísse da arena em 90% dos casos.
- O sensor ultrassônico detectou objetos dentro da margem de erro de 3 cm.

7.5.1.4 Materiais e Métodos

- Foram utilizados sensores infravermelho e ultrassônico acoplados ao robô.
- Testes foram conduzidos em ambiente simulado e na arena de competição real.

7.5.1.5 Precisão e Acurácia

- Em condições de baixa velocidade, os sensores operaram com desempenho ideal, identificando corretamente as bordas e objetos em 100% dos casos. No entanto, à medida que a velocidade do robô aumentava, o tempo disponível para a detecção reduzia. Como consequência, o sensor infravermelho tornou-se menos eficaz na prevenção da saída do robô da arena, e o sensor ultrassônico passou a apresentar dificuldades na identificação de objetos dentro do tempo necessário para uma resposta adequada.

7.5.2 Algoritmos de lógica de decisão autônoma

7.5.2.1 Hipóteses

- O robô tomará decisões em tempo real sem atrasos perceptíveis.

7.5.2.2 Condições de Contorno

- Testes realizados em ambiente simulado e na arena real.
- Objetos e oponentes foram posicionados aleatoriamente.

7.5.2.3 Resultados Esperados

- Decisão correta em pelo menos 90% dos casos.
- Tempo de resposta inferior a 100 ms.

7.5.2.4 Materiais e Métodos

- Testes práticos e simulações.

7.5.2.5 Precisão e Acurácia

- O robô acertou 95% das decisões.
- O tempo de resposta foi, em média, 90 ms por ciclo.

7.6 Experimentos de integração

7.6.1 Testes de sistema completo

7.6.1.1 Hipóteses

O robô operará de forma autônoma durante todo o teste.

7.6.1.2 Condições de Contorno

Arena completa com bordas e com pesos em diferentes posições (pior caso).

7.6.1.3 Resultados Esperados

- Capacidade de navegar, identificar pesos e empurrá-los corretamente.

7.6.1.4 Precisão e Acurácia

- 100% de sucesso na execução completa das tarefas em condições de média/baixa velocidade

7.6.1.5 Testes de Correção de Rota

Os obstáculos foram adicionados e o robô foi avaliado quanto à capacidade de se alinhar em relação aos objetos que estavam sendo empurrados.

7.6.1.6 Testes de Navegação

O robô conseguiu se locomover corretamente na arena sem sair dos limites em 90% dos casos. No entanto, manchas ou variações na superfície da arena foram interpretadas como bordas, fazendo com que o robô ajustasse sua trajetória para evitar uma saída. Esse comportamento, por vezes, resultou na saída do robô da arena.

7.6.1.7 Roteiro de Testes

Todos os testes foram analisados pela equipe para futuras melhorias.

8 Lições aprendidas

Aspecto observado	Aprendizado
Protótipos iniciais muito complexos	Iniciar com protótipos mais simples e menos complexos pode agilizar o desenvolvimento e a fase de testes.
Conexão do Arduino com circuito alimentado	Não conectar o Arduino ao circuito enquanto estiver alimentado, evitando assim riscos de danos aos componentes.
Atraso na realização de tarefas principais	Priorizar a prototipação, início dos códigos e testes desde o começo do projeto melhora a eficiência e eficácia do robô.
Participação da equipe	Selecionar membros engajados e com habilidades adequadas ao projeto aumenta a produtividade.
Gestão do tempo	Aderir a uma melhor organização das atividades para evitar longas horas na faculdade e melhorar o aproveitamento do tempo.
Documentação de testes	Registrar casos de teste aumenta a precisão dos resultados e facilita a melhoria contínua.
Testes prolongados e cansativos	Criar cronogramas de testes mais eficazes otimiza o desenvolvimento e evita retrabalho.

Tabela 20 – Lições aprendidas no projeto

8.1 Análise SWOT

Tabela 21 – Análise SWOT do produto.

	Pontos fortes	Pontos fracos
Fatores internos	<p>Forças:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integração de áreas diversas da engenharia (aeroespacial, eletrônica, energia e software); • Experiência técnica; • Acesso a laboratórios e infraestrutura acadêmica para testes e desenvolvimento; • Uso de tecnologias avançadas (sensores, IA, controle autônomo); • Apoio de equipes de competição da Unb. 	<p>Fraquezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de uma variedade de testes; • Compromisso e disponibilidade de reunir com os integrantes; • Complexidade do projeto; • Dependência de poucos membros para funções críticas; • Falta de comprometimento de alguns membros.
Fatores externos	<p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Participação no desenvolvimento de projetos de robótica; • Participação em competições de robótica • Aplicação do conhecimento adquirido em projetos futuros ou mercado de trabalho; • Aprender a resolver rapidamente os problemas. 	<p>Ameaças:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atrasos em entregas determinadas; • Problemas técnicos; • Risco de danificação do hardware; • Risco de falhas inesperadas em componentes críticos durante a competição.

8.2 Planejado x realizado

8.2.1 Objetivos

O objetivo do projeto foi desenvolver um robô autônomo capaz de empurrar objetos para fora da arena sem ultrapassar os limites demarcados pela linha preta. Esse objetivo foi alcançado com sucesso.

8.2.2 Prazos

O projeto foi concluído dentro do prazo, com cada área cumprindo suas tarefas no tempo previsto. Apesar de desafios como ajustes no código e testes extras para validar sensores, a equipe gerenciou bem o tempo, garantindo uma fase de testes produtiva.

8.2.3 Orçamento

O orçamento total foi de R\$310,85, dividindo para os 16 integrantes ficou R\$19,5 para cada. Todos os integrantes efetuaram o pagamento conforme planejado.

8.2.4 Escopo

O escopo do projeto foi completamente atendido, cumprindo todas as especificações e requisitos definidos inicialmente. Todas as funcionalidades planejadas foram implementadas com sucesso, garantindo que o robô operasse de forma autônoma e eficiente dentro da arena.

8.3 Projeto

Para futuros projetos, é essencial melhorar a organização da equipe, otimizar o tempo, aumentar o comprometimento dos membros e acelerar a integração *hardware/software*.

8.3.1 Pontos fortes

1. Conclusão bem-sucedida do projeto.
2. Gestão eficiente do projeto.
3. Aquisição de conhecimento em diversas áreas da engenharia.

8.3.2 Pontos fracos

1. Falta de comprometimento de alguns integrantes.

2. Possíveis falhas no robô quando elevado para potência máxima.

8.4 Recomendações para projetos futuros

1. Braço robótico controlado via joystick;
2. Desenvolvimento de um robô para futebol autônomo.

8.5 Questões em aberto

1. Implementar um sensor ultrassônico que oscile lateralmente para ampliar a detecção de objetos;
2. Revisar e aprimorar os algoritmos de navegação para aumentar a precisão;
3. Melhorar a comunicação interna da equipe para maior eficiência.

8.6 Desempenho dos fornecedores

8.6.1 Fornecedores com desempenho acima do esperado

1. Raul Braga (Equipe de Robótica *Titans*): Disponibilizou espaço para desenvolvimento, realizou a impressão 3D da estrutura do robô e emprestou módulos ponte H e o case da bateria.
2. Vinícius Passeri, membro da Capital *Rocket Team*: Contribuiu emprestando as baterias.
3. *Robocore* Entregou os produtos e sensores adquiridos antes do prazo estipulado, facilitando a montagem e testes.

8.6.2 Fornecedores com desempenho conforme esperado

Nenhum fornecedor apresentou desempenho conforme esperado.

8.6.3 Fornecedores com desempenho abaixo do esperado

Nenhum fornecedor apresentou desempenho insatisfatório durante o desenvolvimento do projeto.

Referências

- BEKEY, G. A. On autonomous robots. *The Knowledge Engineering Review*, Cambridge University Press, v. 13, n. 2, p. 143–146, 1998. Citado na página 11.
- GALLINA, A. Desenvolvimento de um robô de mini sumô autônomo destinado a competições de robótica. *Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (RIUT)*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 10–15, 2019. Citado na página 12.
- NARDI, D. et al. Robotics competitions and challenges. *Springer handbook of robotics*, Springer, p. 1759–1788, 2016. Citado na página 11.
- ROBOCORE. *Sumô de Robôs Regras*. 2023. Acessado em: 3 dez. 2024. Disponível em: <<https://events.robocore.net/wcxv/entries>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- WILSON, B.; GERMANN, T.; AL-OLIMAT, K. Sumo robot competition. In: *Proceedings of the 2016 ASEE North Central Section Conference*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–14. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

APÊNDICE A – Primeiro Apêndice

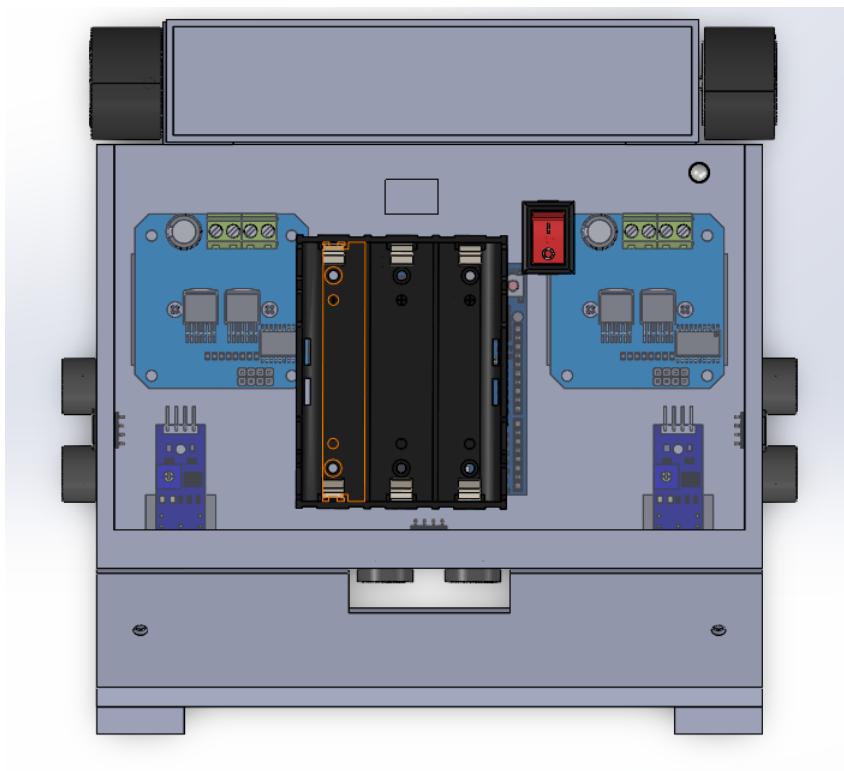


Figura 20 – Visão superior

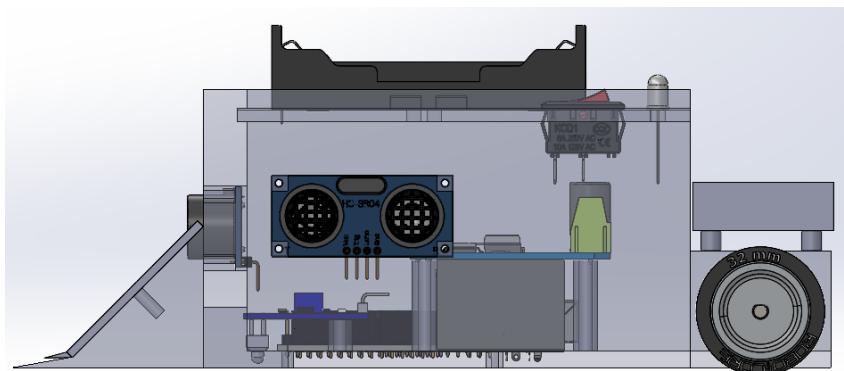


Figura 21 – Visão lateral

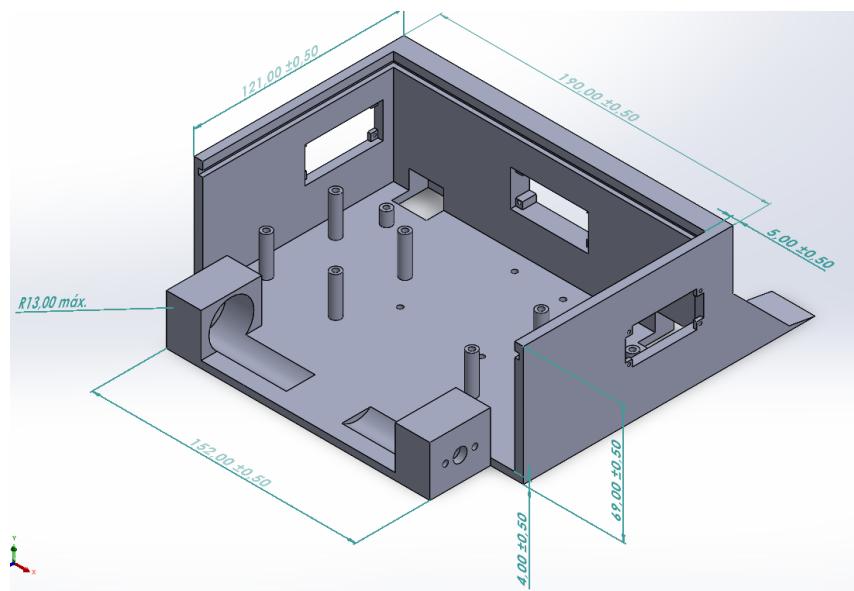


Figura 22 – Chassi

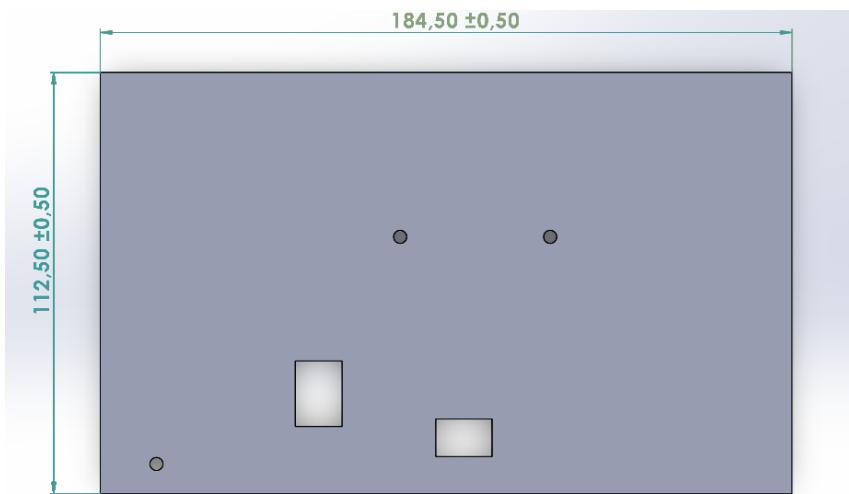


Figura 23 – Tampa superior

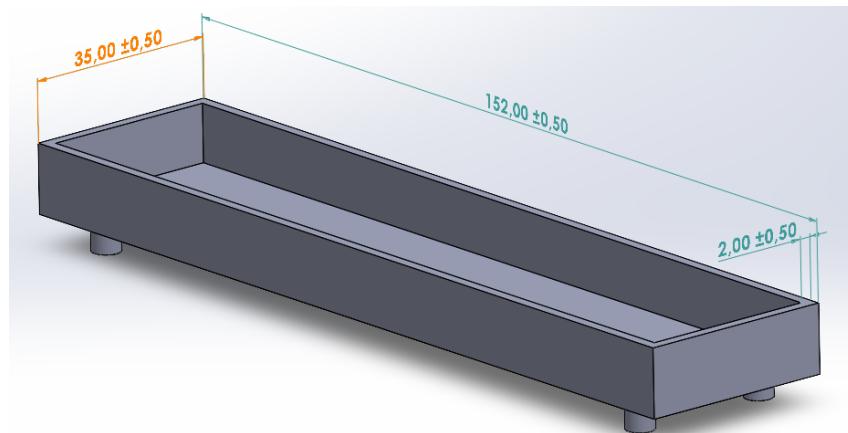


Figura 24 – Suporte de pesos

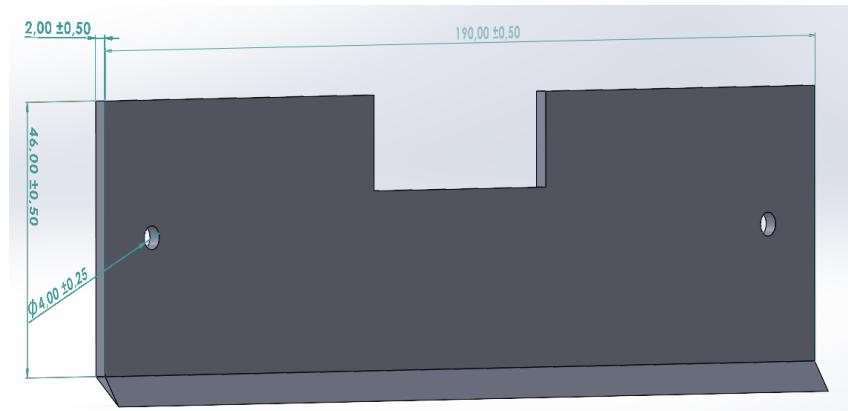


Figura 25 – Rampa de contato

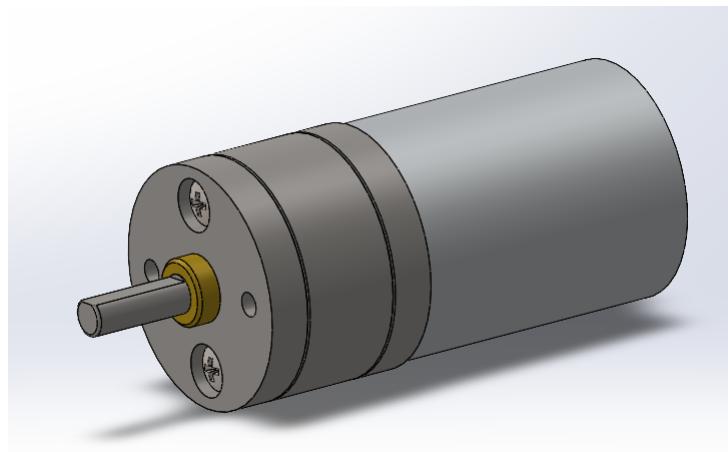


Figura 26 – Motor

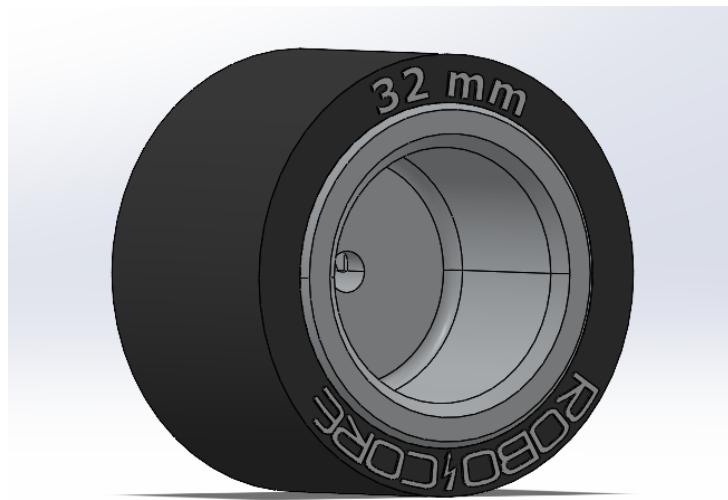


Figura 27 – Rodas