

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO WEISS STADLER
GUILHERME ANTONIO BIUK

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE TRÊS MODELOS DE ARMA DE
UM ROBÔ DE COMBATE DA CATEGORIA FEATHERWEIGHT

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2021

**BRUNO WEISS STADLER
GUILHERME ANTONIO BIUK**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE TRÊS MODELOS DE ARMA DE
UM ROBÔ DE COMBATE DA CATEGORIA FEATHERWEIGHT**

**Comparative performance analysis of three weapon models of a FeatherWeight category
combat robot**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Davi Fusão.

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Mecânica
Bacharelado em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE TRÊS MODELOS DE ARMA DE
UM ROBÔ DE COMBATE DA CATEGORIA FEATHERWEIGHT**

por

BRUNO WEISS STADLER E GUILHERME ANTONIO BIUK

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 18 de outubro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Davi Fusão
Orientador

Prof. Dr. Gilberto Zammar
Membro Titular

Prof. Me. Ruimar Rubens de Gouveia
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Roger Navarro Verastegui
Coordenador do Curso

RESUMO

BIUK, Guilherme Antonio; STADLER, Bruno Weiss. **Análise comparativa do desempenho de três modelos de arma de um robô de combate da categoria *FeatherWeight***. 2021. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

As equipes de robótica universitárias proporcionam uma oportunidade de desenvolvimento para diversos estudantes ao redor do mundo. Estes projetos de extensão simulam situações reais nas quais os alunos precisarão atuar futuramente no mercado de trabalho, e estimulam a descoberta de novas tecnologias em múltiplas áreas. No combate de robôs, são colocados em prática conhecimentos de grandes áreas da engenharia, como mecânica e eletrônica. Contudo, em muitos casos, faltam parâmetros específicos para avaliar o sucesso das soluções de projeto encontradas pelos alunos. Nestes casos, as definições de projetos não são realizadas sob uma metodologia confiável, aumentando a probabilidade de erros na definição dos conjuntos que serão integrados aos robôs. O objetivo deste trabalho é realizar uma comparação do potencial de transferência de energia de três modelos de armas rotativas de um robô de combate da categoria *FeatherWeight* (até 13,6kg), fabricados pela equipe de robótica DotBotz para uso em competições. Para atingir este objetivo, as armas em rotação passaram por testes de impacto contra um mesmo alvo. O alvo mencionado é um componente fixado em uma bancada de testes, projetada e construída pelos autores para a realização dos experimentos do presente trabalho. A partir disso, verificou-se um melhor desempenho na arma de menor massa e menor momento de inércia em três níveis de energia diferentes. O estudo também permitiu a elaboração de um parâmetro quantitativo capaz de avaliar o desempenho de outros tambores rotativos utilizados na categoria *FeatherWeight*, porém dispensando a necessidade da realização de novos testes.

Palavras-chave: Combate de robôs. Projeto mecânico. Energia mecânica.

ABSTRACT

BIUK, Guilherme Antonio; STADLER, Bruno Weiss. **Comparative performance analysis of three weapon models of a FeatherWeight category combat robot**. 2021. 67 p. Work of Conclusion Course (Bachelor of Mechanical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

University robotics teams provide a development opportunity for diverse students around the world. These extension projects simulate real hypotheses in which students will need to act in the labor market in the future, and encourage the discovery of new technologies in multiple areas. In combat exercises, knowledge of large areas of engineering is put into practice. However, in many cases, specific parameters are lacking to assess the success of the project solutions found by the students. In these cases, the project definitions are not carried out under a reliable methodology, increasing the probability of errors in the definition of sets that will be integrated into robots. The objective of this work is to carry out a comparison of the energy transfer potential of three models of rotating weapons of a combat robot in the FeatherWeight category (up to 13.6kg), manufactured by the robotics team DotBotz for competitions. To achieve this goal, rotating weapons undergo impact tests against the same target. The specific target is a component defined in a test bench, designed and built by the authors to perform the experiments in this work. From that, it was verified a better performance in the weapon with less mass and smaller moment of inertia in three different energy levels. The study also includes the definition of a quantitative parameter capable of evaluating the performance of other rotating drums used in the Featherweight category, but eliminating the need for further tests.

Keywords: Robot combat. Mechanical project. Mechanical energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Robô de combate do tipo <i>horizontal spinner</i>	18
Figura 2 – Tendências de vantagens em robôs de combate.....	22
Figura 3 – Principais modelos de testes de hipótese	28
Figura 4 – Etapas de um projeto	32
Figura 5 – Exemplo de árvore de falhas	34
Figura 6 – Fluxograma de etapas do trabalho.....	37
Figura 7 – Modelo gráfico do Rotor 1	40
Figura 8 – Modelo gráfico do Rotor 2	41
Figura 9 – Modelo gráfico do Rotor 3	42
Figura 10 – Modelo gráfico da bancada de testes	44
Figura 11 – Funcionamento da bancada de testes	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes de peso existentes no combate de robôs	15
Quadro 2 – Itens proibidos em armas de robôs de combate	16
Quadro 3 – Características essenciais em indicadores de desempenho.....	26
Quadro 4 – Classificações do coeficiente de correlação	30
Quadro 5 – Faixas de energia para a realização dos testes	47
Quadro 6 – Síntese dos resultados verificados através dos modelos de regressão.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre velocidade do robô e velocidade máxima para encaixe da arma	25
Tabela 2 – Propriedades das armas avaliadas.....	49
Tabela 3 – Propriedades da bancada.....	50
Tabela 4 – Rotações utilizadas na primeira rodada de testes	50
Tabela 5 – Resultados obtidos na primeira rodada de testes	51
Tabela 6 – Rotações utilizadas na segunda rodada de testes.....	51
Tabela 7 – Resultados obtidos na segunda rodada de testes	51
Tabela 8 – Rotações utilizadas na terceira rodada de testes	52
Tabela 9 – Resultados obtidos na terceira rodada de testes.....	52
Tabela 10 – Resultados da divisão da massa por momento de inércia.....	56
Tabela 11 – Valor de k para as condições dos testes.....	57
Tabela 12 – Evolução de “k” e energia dissipada	58

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	10
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1.	BREVE HISTÓRICO DA ROBÓTICA	12
2.2.	CONCEITO DE ROBÔ	13
2.2.1.	Robô de Combate	14
2.2.2.	Classificação de um Robô de Combate	14
2.2.3.	Arma de um Robô de Combate	15
2.2.3.1.	Tipo tambor	17
2.2.3.2.	Tipo horizontal spinner	18
2.2.3.3.	Tipo rampa	19
2.2.4.	Tendências para Robôs de Combate	21
2.2.5.	Aspectos Importantes no Desenvolvimento de uma Arma Ativa	22
2.2.5.1.	Momento de inércia.....	22
2.2.5.2.	Energia cinética	23
2.2.5.3.	Parâmetros do dente	24
2.3.	INDICADORES DE DESEMPENHO.....	25
2.4.	PROBABILIDADE DE SIGNIFICÂNCIA E TESTE DE HIPÓTESE	27
2.5.	REGRESSÃO E CORRELAÇÃO LINEAR	29
2.6.	PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	30
3.	METODOLOGIA	36
3.1.	MATERIAIS	36
3.2.	ETAPAS.....	36
3.3.	FORMULAÇÃO DA IDEIA	37
3.4.	PROJETO E FABRICAÇÃO DAS ARMAS	38
3.4.1.	Rotor 1.....	39
3.4.2.	Rotor 2.....	40
3.4.3.	Rotor 3.....	41
3.5.	DESENVOLVIMENTO DA BANCADA DE TESTES	42
3.5.1.	Planejamento de Teste.....	42
3.5.2.	Projeto da Bancada de Testes.....	43
3.6.	FABRICAÇÃO DA BANCADA DE TESTES	44
3.7.	EXECUÇÃO DOS TESTES	46
3.7.1.	Metodologia de Testes.....	46
3.7.2.	Funcionamento da Bancada de Testes.....	48
4.	RESULTADOS	49
4.1.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	49
4.1.1.	Rodada 1.....	50
4.1.2.	Rodada 2.....	51
4.1.3.	Rodada 3.....	52
4.1.4.	Comparação das Rodadas de Teste	52
4.2.	PARÂMETRO PARA AVALIAÇÃO DAS ARMAS.....	54
4.2.1.	Relevância Estatística e Regressão.....	58
5.	CONCLUSÃO	61
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um projeto mecânico envolve um amplo conjunto de variáveis capazes de determinar o sucesso do produto final. Nestes casos, é fundamental que a aplicação de uma abordagem analítica leve em consideração os requisitos determinados na etapa definição dos objetivos. Tais objetivos, contudo, não obrigam a obtenção de respostas semelhantes para dois estudos diferentes. De acordo com Norton (2013, p. 4), a finalidade do projeto mecânico é dimensionar peças, determinar as formas, selecionar materiais e indicar processos de manufatura apropriados para que uma máquina ou dispositivo cumpra com a função desejada sem a ocorrência de falhas. A garantia desta condição, por si só, pode indicar a validade da solução.

Apesar disso, é importante considerar que, dentro do grupo de soluções válidas, existem respostas que apresentam melhores resultados que outras. Isso pode ser determinado com auxílio de indicadores de desempenho. Segundo Pimentel (2006, p. 3), “o lucro constitui o elemento propulsor dos investimentos de recursos em diferentes empreendimentos”. Por outro lado, Altafini et al (2009, p. 2) define que empresas que trabalham com a fabricação de ferramentas devem priorizar, por exemplo, a redução do período dos ciclos e de custos para desenvolvimento dos produtos. Ambas as situações se enquadram no cenário da aplicação de indicadores.

No caso específico dos robôs de combates – que constituem o principal tema de estudo deste projeto -, existe uma série de fatores desejáveis na concepção de um projeto. O trabalho de Meggiolaro (2009, p. 154) determina que as armas dos protótipos precisam ser robustas e poderosas e as armaduras devem fornecer a resistência necessária sem que o robô ultrapasse o limite de peso da respectiva categoria. Enquanto o sucesso da armadura se limita à prevenção contra falhas que prejudicam a locomoção ou permitem a exposição de partes internas do robô durante a luta, a arma deve ser capaz de transmitir o máximo de energia possível ao adversário no impacto – culminando em consequências secundárias, como o lançamento vertical do oponente.

De acordo com Meggiolaro (2009, p. 20), existem dezesseis formatos de armas principais no combate de robôs – que podem ainda ser divididos em subcategorias. É importante ressaltar, porém, que o modelo escolhido não é o único ou o principal aspecto que define a efetividade ou o sucesso da arma. Segundo Miles e Carroll (2002, p. 204), nenhum tipo de arma prevalece sobre todos os outros. Os autores afirmam que um modelo de arma de um robô de combate certamente terá vantagem sobre algum outro, mas também sofrerá desvantagem diante de alguma configuração específica. Contudo, não há um consenso sobre metodologias que

auxiliam na escolha do melhor tipo de arma com base nas particularidades de um robô de combate ou de seus adversários.

Estas passagens ajudam a demonstrar a necessidade de avaliar cada modalidade de arma com base nas demais condições pré-definidas do robô – como o peso da estrutura e de componentes eletrônicos. Para os robôs que utilizam rotores como arma principal, um parâmetro de avaliação teórico bastante utilizado é o momento de inércia. O conhecimento desta propriedade permite uma boa base teórica para o desempenho da arma no momento do impacto, mostrando que a disposição do peso em pontos extremos da arma é fundamental para a maior transferência de energia no contato. Contudo, quando há maior concentração de peso nos pontos mais distantes do eixo de giro do rotor, a aceleração da arma também fica comprometida (MILES; CARROLL, 2002, p. 222). Por conta disso, o equacionamento do momento de inércia apresenta a importância da determinação do equilíbrio entre massa do rotor e aceleração angular.

O entendimento da influência das propriedades de cada material destinado ao sistema que rege a arma do robô também é um aspecto determinante durante a formulação dos projetos. De acordo com Costa et al (2012, p. 226), o início de um novo projeto estabelece a necessidade da escolha de materiais adequados, que possuam boas relações de processamento, desempenho, estrutura e propriedades e que sejam capazes de atender as exigências do consumidor final. Desta forma, a obtenção de um procedimento confiável para a escolha dos materiais que compõem a arma do robô de combate pode servir de inspiração para a etapa de seleção de materiais de mecanismos com funcionamento similar.

A coleta de resultados confiáveis, porém, depende da padronização dos procedimentos experimentais escolhidos. Por conta disso, duas características são tratadas como primordiais nos ensaios realizados: a repetibilidade e a reprodutibilidade. Ambos os termos apresentam significados similares, retratando a faixa dentro da qual os resultados obtidos em um determinado procedimento são esperados (ALBERTAZZI; SOUZA, 2008, p. 344-345). A garantia destas duas características auxilia na validação dos testes e comprovação da confiabilidade dos dados coletados. Portanto, caso os testes atinjam resultados confiáveis e reprodutíveis, o mesmo estudo pode ser reutilizado em ocasiões posteriores.

1.1. OBJETIVO GERAL

Determinação do perfil de arma de um robô de combate da categoria *FeatherWeight* (13,6kg) que possua o maior potencial de transferência de energia dentre três modelos pré-selecionados.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construção de uma bancada para padronizar os testes aplicados às armas dos robôs;
- Avaliação quantitativa da energia transferida por cada modelo de arma a um alvo comum;
- Elaboração de um parâmetro de avaliação de eficiência para os modelos de arma de robôs de combate da categoria *FeatherWeight*;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. BREVE HISTÓRICO DA ROBÓTICA

O primeiro conceito de robótica foi elaborado pelo escritor Karel Čapek, em 1921. O termo é derivado do eslavo *Robota*, cujo significado é de “trabalho escravo ou forçado” (SANTOS, 2004, p. 2). Posteriormente, o termo começou a receber atenção em histórias de ficção científica. Contudo, a grande popularização da robótica no imaginário popular foi concebida através da obra de ficção *Eu, Robô* (1950), de Isaac Asimov (SEIFFERT, 2018, p. 378). No livro, o escritor foi responsável por criar as chamadas três leis fundamentais da robótica.

AS TRÊS LEIS DA ROBÓTICA

1 – Um robô não pode ferir um ser humano ou, por omissão, permitir que um ser humano sofra algum mal.

2 – Um robô deve obedecer as ordens que lhe sejam dadas por seres humanos, exceto nos casos em que tais ordens contrariem a Primeira Lei.

3 – Um robô deve proteger sua própria existência, desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira e a Segunda Leis.

MANUAL DE ROBÓTICA 56ª Edição, 2058 A.D. (ASIMOV, 1969, p. 3)

Até o final da década de 1950, porém, a robótica permaneceu como um modelo idealizado e como um instrumento para as obras de ficção científica. A utilidade dos sistemas autônomos foi evidenciada apenas com a fabricação do Unimates, criado por George Devol e Joe Engleberger. O Unimates consistia em máquinas transportadoras responsáveis por encaminhar objetos de um local até outro (MAIA, 2003, p. 3). Posteriormente, o trabalho de Devol e Engleberger foi introduzido na indústria pela General Motors (HOCKSTEIN et al, 2007, p.114).

Posteriormente, entre o fim da década de 60 e 70, a evolução mais notória no segmento da robótica foi marcada pela criação do robô Shakey. O protótipo, embora primitivo, era capaz de planejar ações, localizar rotas e reorganizar objetos simples (NILSSON, 1984, p. 1). Houve também, no Japão, o desenvolvimento do robô Hitachi, que era incumbido de montar objetos a partir de um desenho de uma planta de maneira autônoma (VALÉRIO; GARCIA, 2014, p. 3). Nas décadas seguintes, a General Motors continuou como a grande protagonista da implementação de sistemas robóticos na indústria, com os robôs PUMA, de 1978 e GMFanuc, de 1982 (SILVA et al, 2015, p. 3).

No ambiente industrial, a principal contribuição da robótica esteve diretamente relacionada com a execução de tarefas repetitivas. Contudo, na última década, o desenvolvimento de modelos robóticos possibilitou avanços na medicina, na logística, na manufatura ágil e em outros segmentos de mercado (VALÉRIO; GARCIA, 2014, p. 3).

2.2. CONCEITO DE ROBÔ

Ainda que “robô” seja um termo introduzido no século XX, não há um consenso entre literaturas quanto ao significado da palavra. A versão eletrônica do dicionário Houaiss (2009) define o termo como “mecanismo automático que efetua operações repetitivas”. Outra instituição que compartilha de interpretação semelhante à do dicionário Oxford é a International Organization for Standardization (ISO), que utiliza a norma ISO 10218 (2006) para reconhecer um robô como um controlador automático, reprogramável e capaz de realizar diferentes tarefas em dois ou mais eixos. Além disso, trabalhos como o de Russel e Norvig (2013, p. 971), Craig (2005, p. 3) e Mataric (2007, p. 2) apresentam definições que convergem com os tópicos abordados pelas duas instituições.

Robôs são agentes físicos que realizam tarefas através da manipulação do ambiente físico. Para fazer isso, eles são equipados com efetores como pernas, rodas, juntas e pinças. Efetores têm um único propósito: possibilitar forças físicas no ambiente. Robôs também são equipados com sensores, que lhes permitem perceber seu ambiente. (RUSSELL; NORVIG, 2013, p. 971).

Por outro lado, alguns autores afirmam que robôs podem conter dispositivos capazes de serem controlados por fontes externas. Esse é o caso de Pscheidt (2007, p. 15), que caracteriza os robôs como máquinas controladas por computador que são programadas para manipular objetos e executar outros tipos de tarefas. O conceito adotado pela Robotics Industries Association (RIA), dos Estados Unidos, contido em Mittal e Nagrath (2013, p. 6), determina que robôs são manipuladores reprogramáveis e multifuncionais projetados para mover materiais através de movimentos programáveis para desempenhar uma variedade de tarefas. A obra de Hunt (2012, p. 9) também considera como robôs os dispositivos manipuladores controlados por humanos e sistemas que operam com auxílio de acionamentos mecânicos.

2.2.1. Robô de Combate

Um robô de combate é um protótipo que possui capacidades de combate e compete contra outros protótipos com a intenção de desativá-los (DONG; DAVE, 2009, p. 1). O conceito é abrangente, mas delimitações mais detalhadas das características aceitas em um robô de combate estão contidas nos manuais dos eventos de robótica. No Brasil, a entidade organizadora das principais competições é a Robocore. O manual de regras do Winter Challenge XV, um dos torneios oficiais da Robocore, é baseado em regras oficiais da Robot Fighting League e sentença que “este evento não exige que seu robô tenha uma arma ativa diferente da própria força motriz de seu sistema de locomoção. Ou seja, a exigência mínima é que seu robô se locomova, não sendo necessário possuir uma arma” (ROBOCORE, 2019, p.6). McComb (2003, p. 95), relata que um típico combate de robôs envolve operadores humanos controlando um robô remotamente operável.

Nos eventos nacionais, os robôs de combate não precisam necessariamente ser controlados por um operador externo. Os manuais confeccionados pela Robocore (2019, p. 9), por exemplo, contêm uma seção que reúne regras específicas para robôs de combate que atuem por intermédio de sistemas autônomos. De acordo com o documento, um robô autônomo é aquele capaz de se mover, perseguir um alvo ou ativar suas armas sem a necessidade do controle humano.

11.1. Robôs autônomos devem possuir luz visível para cada uma de suas funções indicando quando esta está ou não ativada, por exemplo, se o seu robô possui duas funções autônomas é necessário ter duas luzes indicativas de “sistema autônomo” (separadamente de qualquer indicação de força ou sinal de rádio existente).

11.2. Qualquer função autônoma deve ter a capacidade de ser armada e desarmada remotamente (isso não inclui sensores internos, giroscópios ou controladores dos motores). (ROBOCORE, 2019, p. 9-10).

2.2.2. Classificação de um Robô de Combate

Nas competições de robótica, os robôs de combate são distinguidos por classes de peso. Meggiolaro (2009, p. 16) afirma que existem 15 classes de peso disponíveis para competições de combate de robôs. No Brasil, no entanto, as disputas se limitam a apenas seis categorias de peso (ROBOCORE, 2019, p. 6). A síntese dos dados das divisões de peso de competições de combate de robôs pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1 – Classes de peso existentes no combate de robôs

Nome da classe	Peso máximo	Disputada no Brasil?
Classe sem nome	35g	Não
FleaWeight	75g	Não
FairyWeight	150g	Sim
AntWeight	454g	Sim
KiloBot	1kg	Não
BeetleWeight	1,36kg	Sim
Mantis	2,72kg	Não
HobbyWeight	5,44kg	Sim
BBIQ	6,8kg	Não
FeatherWeight	13,6kg	Sim
LightWeight	27,2kg	Sim
MiddleWeight	54,4kg	Não
HeavyWeight	99,8kg	Não
Super-HeavyWeight	154,2kg	Não
MechWars MegaWeight	176,9kg	Não

Fonte: Adaptado de Meggiolaro (2009, p. 16).

Em amarelo, foram destacadas as categorias em disputa no Brasil. Além destas, já foram organizadas competições da categoria *MiddleWeight*, que deixou de ser disputada no país em 2014.

2.2.3. Arma de um Robô de Combate

O trabalho de Ahluwalia (2013, p. 1) define a arma de um robô de combate como um sistema projetado para danificar, restringir ações ou incapacitar um robô adversário. A importância destes sistemas é abordada em Dong e Dave (2009, p. 1), que avaliam a arma de um robô de combate como o principal componente do protótipo. De um modo geral, existem 16 tipos de arma predominantes no combate de robôs, mas também é possível instalar mais de um tipo de arma no mesmo robô (MEGGIOLARO, 2009, p. 20-21).

Gurstelle (2002, p. 163) sustenta que os robôs de combate podem ser categorizados de acordo com o tipo de arma que usam para empregar dano nos adversários. As literaturas de Meggiolaro (2009, p. 15), Ahluwalia (2013, p. 6) e Miles e Carroll (2002, p. 210) utilizam o termo “armas ativas” para referir-se aos robôs dotados de um sistema de transferência de energia cinética no impacto com o adversário, enquanto os robôs sem sistemas de transferência de energia cinética possuem “armas não-ativas”.

Nos projetos de armas ativas, o principal objetivo é construir um objeto durável, montado em um sistema mecânico que possa ser acelerado rapidamente através de um motor elétrico ou a gás (GURSTELLE, 2002, p. 155). As armas não-ativas dependem de colisões e empurrões para desabilitar o adversário, e devem ser projetadas com o principal objetivo de suportar os impactos decorrentes das lutas (MILES; CARROLL, 2002, p. 209).

Os regulamentos dos eventos impõem restrições a determinados tipos de arma. Grande parte das seções que envolvem armas nestes documentos foca em segurança. Apesar disso, algumas regras foram desenvolvidas para tornar os combates mais divertidos (MILES; CARROLL, 2002, p. 204). As restrições presentes em competições brasileiras envolvem seis itens principais: dispositivos que causam danos invisíveis, armas que prejudiquem a limpeza da arena ou dificultem a ação dos robôs nos rounds seguintes, projéteis, calor e fogo, luz e fumaça que criem obstáculos para a visão do público externo e materiais perigosos que possam entrar em contato com humanos. No caso do fogo, é permitido o acionamento por propano e butano armazenado em tanques de até 120ml em robôs de até 13,6kg e tanques de 480ml para robôs acima de 13,6kg. É imprescindível, porém, que o combustível deixe o robô e seja aceso em estado gasoso (ROBOCORE, 2019, p. 14). Cada item proibido está detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 – Itens proibidos em armas de robôs de combate

ITEM PROIBIDO	EXEMPLOS
1. Armas que causam danos invisíveis;	<ul style="list-style-type: none"> ● Armas elétricas; ● Geradores de interferência; ● Redes, fitas e dispositivos de entrelaçamento;
2. Armas que exigem limpeza significativa da arena;	<ul style="list-style-type: none"> ● Gases liquefeitos (exceto propano e butano, que são permitidos); ● Espumas; ● Pó e areia;
3. Projéteis;	<ul style="list-style-type: none"> ● São proibidos projéteis de qualquer natureza;
4. Calor e fogo;	<ul style="list-style-type: none"> ● Cartuchos e pólvora; ● Explosivos militares;
5. Fumaça e poeira;	<ul style="list-style-type: none"> ● Luzes estroboscópicas; ● Lasers acima da “classe I”;
6. Materiais perigosos que possam ter contato com humanos;	<ul style="list-style-type: none"> ● Sem especificação definida. Participantes são instruídos a entrar em contato com a organização dos eventos para verificar se seus robôs possuem materiais considerados perigosos;

Fonte: Adaptado de Robocore (2019, p. 13).

Existem ainda normas de segurança para a parada de robôs na arena e a permanência dos protótipos nos boxes do evento. Uma comparação entre as bibliografias de Robocore (2019) e Cates et al (2016) mostra que há uma convergência nas regras adotadas em competições nacionais e internacionais. Desta forma, são definidos como itens indispensáveis: um sistema

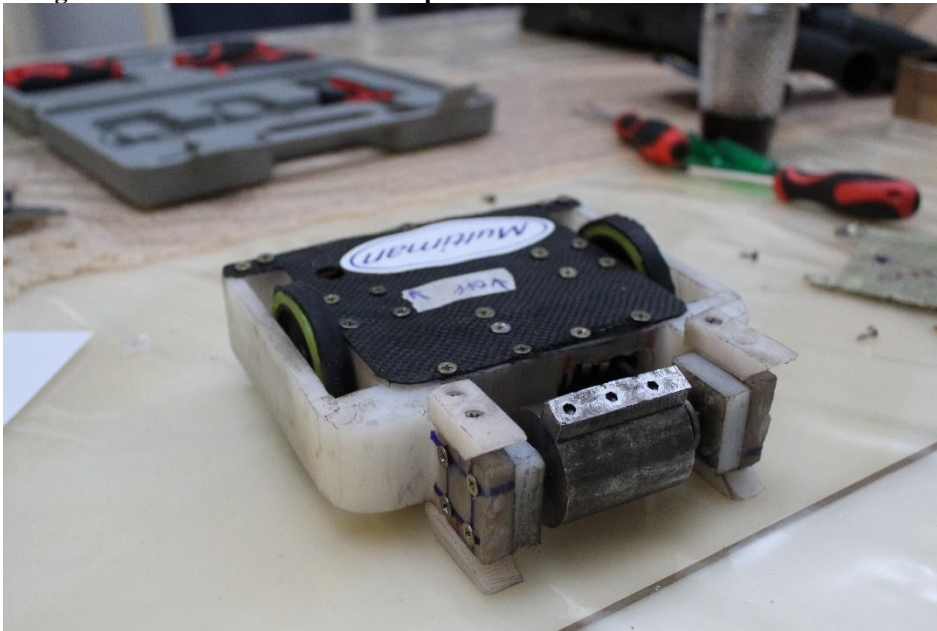
de acionamento manual capaz de parar locomoção e arma de um robô em até 60 segundos; um dispositivo de travamento, devidamente identificado através das cores amarelo, vermelho, ou outra cor viva, claramente visível para impedir a movimentação da arma quando o robô não estiver na arena; um sistema que realize a parada do robô de maneira automática caso haja a quebra de sinal com o controlador; e uma proteção para partes pontiagudas do protótipo (ROBOCORE, 2019, p. 15).

A partir do conhecimento das restrições, podem ser categorizados os tipos mais comuns de armas nos robôs.

2.2.3.1. Tipo tambor

Na Fotografia 1, é apresentado um robô de combate do tipo tambor, desenvolvido pela equipe de robótica DotBotz, da UTFPR – Campus Ponta Grossa.

Fotografia 1 – Robô de combate do tipo tambor



Fonte: Autoria própria.

Os robôs cujas armas são do tipo tambor possuem um tambor rotativo ou uma peça similar a uma batedeira com dentes na parte frontal da estrutura (MEGGIOLARO, 2009, p. 27). Este estilo de *design* proporciona os impactos mais poderosos em um combate de robôs (CATES et al, 2016, p. 4). Nas lutas, a colisão do tambor em funcionamento com o adversário configura uma transferência de energia cinética (AHLUWALIA, 2013, p. 4), que situa os robôs do tipo tambor no grupo de robôs de combate com arma ativa. O grande objetivo do contato,

nos robôs tambor, é levantar o adversário (MILES; CARROLL, 2002, p. 226). Apesar do sentido de rotação pré-definido, vale destacar que o impacto por si só – sem o arremesso do robô adversário – normalmente é o suficiente para danificar severamente as partes do oponente (CATES et al, 2016, p. 4).

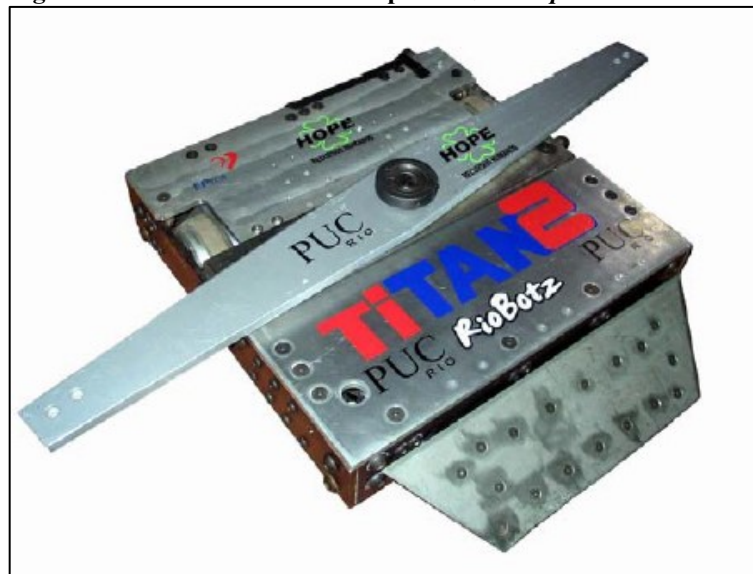
O trabalho de Dong e Dave (2009, p. 6) destaca que este grupo de robôs promove um equilíbrio entre dirigibilidade e dano causado. Contudo, outros autores tendem a não concordar com esta sentença. Barnhorst (2008, p. 2) afirma que as forças de reação do impacto podem danificar o próprio robô tambor em um procedimento de ataque e que o efeito giroscópico pode causar problemas para a pilotagem do protótipo. Cates et al (2016, p. 4) complementa esta informação ao destacar que os procedimentos de curva fechada tendem a virar o robô. Gurstelle (2002, p. 161) também ressalta que, em função das forças reativas do impacto, o projeto do robô deve direcionar atenções especiais à proteção da estrutura.

Outra desvantagem dos robôs do tipo tambor está expressa em Miles e Carroll (2002, p. 228). Os autores classificam esta categoria como ineficiente em lutas contra adversários de arma não-ativa. Esta análise comparativa será retomada quando outros tipos de robôs estiverem detalhados neste trabalho.

2.2.3.2. Tipo horizontal spinner

A Figura 1 apresenta um exemplo de um robô de combate do tipo *horizontal spinner*.

Figura 1 – Robô de combate do tipo *horizontal spinner*



Fonte: Meggiolaro (2009, p. 21).

Embora muitos autores considerem o tipo tambor como o mais destrutivo, algumas literaturas como Meggiolaro (2009, p. 25) e South e Burden (2018, p. 7) dão esta classificação aos robôs do tipo *horizontal spinner*. Um robô do tipo *horizontal spinner* possui um objeto – normalmente uma barra – que gira a altas velocidades (SOUTH; BURDEN, 2018, p. 7). Miles e Carroll (2012, p. 221) discutem que este grupo de robôs é o mais perigoso para arena, juízes e público. Os autores creditam a grande parte da ocorrência de acidentes em eventos de robótica à elevada energia da arma dos robôs, que supera, em alguns casos, a quantidade de energia que a arena é capaz de suportar.

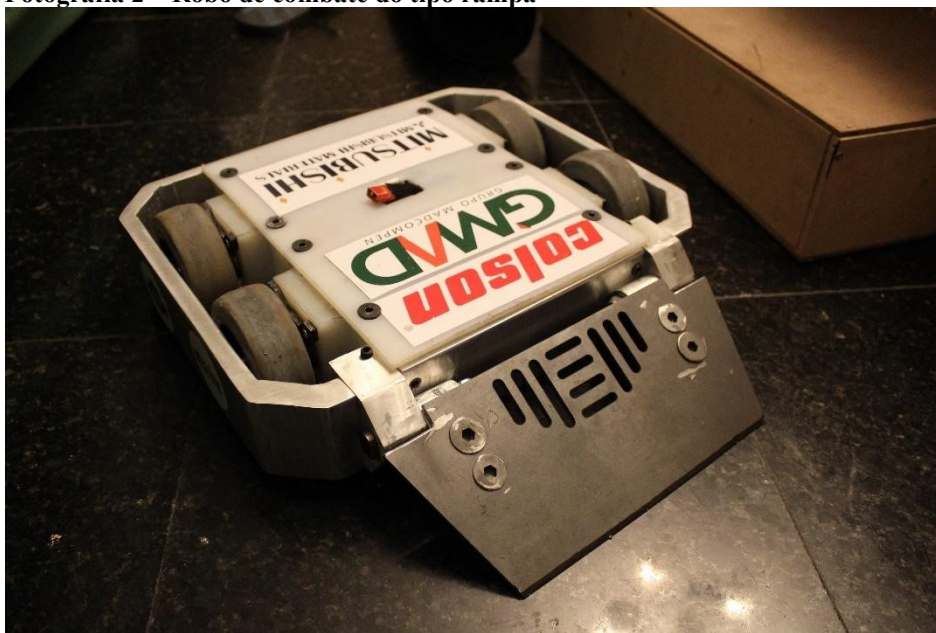
Algumas desvantagens desta divisão de robôs estão sintetizadas em Szabo II et al (2019, p. 13). Um dos comentários realizado pelos autores indica que, em função do impacto da arma com a arena, é possível que um *horizontal spinner* se torne autodestrutível. Outra preocupação expressa em Miles e Carroll (2012, p. 221) denota que estes robôs precisam de um tempo relativamente alto para armazenar energia na arma. É fundamental, portanto, que a escolha do motor que fornece movimento à arma leve em consideração a aceleração final do conjunto – que deve ser capaz de atingir a velocidade máxima em até três segundos conforme expresso na literatura. Uma estratégia capaz de neutralizar um *horizontal spinner* é apresentada em Gurstelle (2002, p. 190), que recomenda forçar o impacto destes robôs contra a parede, dissipando a energia da arma na arena.

Considerações de South e Burden (2018, p. 8) e Szabo II et al (2019, p. 13) mostram que um robô *horizontal spinner* pode utilizar a arma tanto de maneira ofensiva, quanto de maneira defensiva. Meggiolaro (2009, p. 25) explica que a definição adequada do formato do elemento que transmitirá os impactos ao adversário pode impedir que um segundo robô alcance a estrutura de um *horizontal spinner* sem que haja o contato com a arma. A obra de Gurstelle (2002, p. 156) afirma que o sucesso destes robôs está relacionado à transferência de energia da arma para o sistema de transmissão do adversário – fato que também inclui esta categoria no grupo de robôs com arma ativa. Isso foi visto na prática em Cates et al (2016, p. 43), que conclui o trabalho relatando a eliminação de um protótipo do tipo tambor de uma competição. Isso foi causado por um impacto de um *horizontal spinner* no conjunto de rolamentos da arma do robô tambor.

2.2.3.3. Tipo rampa

A Fotografia 2 apresenta um protótipo de robô do tipo rampa, que foi projetado e fabricado pela equipe DotBotz.

Fotografia 2 – Robô de combate do tipo rampa



Fonte: Autoria própria.

Um robô do tipo rampa possui um plano inclinado na parte frontal da estrutura que atua como uma rampa (CATES, 2016, p. 6). Uma definição mais precisa é expressa em Gurstelle (2002, p. 236), que esclarece que um robô rampa é projetado para colidir contra um adversário e causar dano com auxílio de uma rampa. O mecanismo de arma deste tipo de robô é explicado em Adams, Kuzman e Leibrandt (2009, p. 7), que afirmam que um simples design de rampa é capaz de levantar um robô adversário. Miles e Carroll (2002, p. 209) explicam que a transmissão de dano ao adversário é prioritariamente realizada através de impactos em alta velocidade e empurrões ao longo da arena.

As vantagens de um robô do tipo rampa são determinadas em Szabo II et al (2019, p.13). O autor destaca o reforço estrutural que o robô recebe, que compõe uma excelente ferramenta defensiva. Além disso, o trabalho coloca o design simples, a possibilidade de utilizar as paredes da arena como fonte de dano e a oportunidade de implementar outros acessórios no robô como atrativos. Estas informações são complementadas por Creed (2014, p. 5) e Cates (2016, p. 7), que também colocam a variedade de materiais possíveis para a composição e a fabricação simplificada como vantagens do tipo rampa.

Embora forneça proteção satisfatória aos componentes internos, o tipo rampa apresenta fraquezas diante de algumas situações. Miles e Carroll (2002, p. 210) citam fraquezas contra protótipos dotados com mecanismos capazes de extinguir o contato do plano inclinado do chão. Os autores consideram ainda a presença de desníveis na arena como potenciais obstáculos para os robôs com rampa. Meggiolaro (2009, p. 22), Miles e Carroll (2002, p. 210)

e Szabo II et al (2019, p.13) consideram que o principal inimigo de um robô rampa é um segundo robô do tipo rampa – principalmente se este for mais rápido, potente e possuir uma rampa mais baixa. Apesar disso, Cates (2016, p. 7) vê que uma luta entre dois robôs deste estilo tende a terminar empatada. O autor também considera que o sucesso deste tipo de robô depende de um piloto habilidoso, que pode ser o diferencial em um embate de duas rampas.

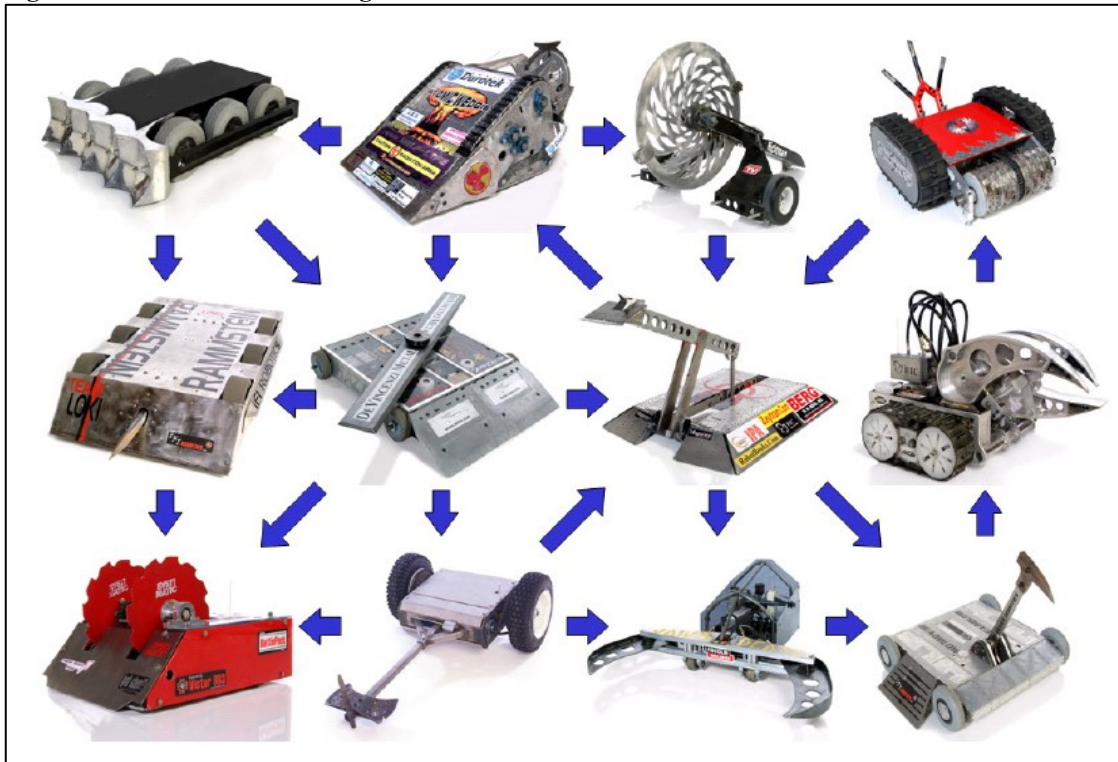
É fundamental que os robôs rampa consigam alcançar velocidades superiores às dos adversários. Meggiolaro (2009, p. 22) estabelece que rampas rápidas normalmente conseguem alcançar a faixa entre 20km/h e 25km/h. Miles e Carroll (2002, p. 208) também recomenda que os protótipos sejam fabricados com perfis de locomoção de duas rodas, caso a agilidade seja a prioridade para o piloto, ou quatro rodas, caso o objetivo seja garantir melhor dirigibilidade do robô. Conjuntos de seis rodas, embora existam em outros tipos de robô, não são recomendados para rampas, uma vez que demandam um aumento significativo no comprimento da estrutura (MILES; CARROLL, 2002, p. 208).

2.2.4. Tendências para Robôs de Combate

Embora não haja um estilo de robô de combate que possa ser considerado superior aos demais, as literaturas de Meggiolaro (2009), Miles e Carroll (2002), Cates (2016) e Creed (2014) estabelecem tendências de vitória para as lutas. Utilizando o caso de robôs especificados no trabalho, a obra de Meggiolaro (2009, p. 20) explica que há uma maior probabilidade de um robô do tipo rampa vencer um robô do tipo tambor. No entanto, isto é apenas uma tendência, uma vez que um robô de combate é formado por 4 áreas principais: corpo e formato, locomoção e controle, armadura e defesa e arma (DAVE; DONG, 2009, p. 4). Desta forma, usar a rampa como arma pode ser mais efetivo diante de um tambor, mas é preciso que as outras três subdivisões do robô acompanhem esta tendência.

A Figura 2 ilustra as tendências para os 16 tipos de robôs de combate existentes.

Figura 2 – Tendências de vantagens em robôs de combate



Fonte: Meggiolaro (2009, p. 20)

Na Figura 2, as flechas apontam para os robôs que estão propícios a desvantagens perante os perfis de arma situados na origem destas flechas.

2.2.5. Aspectos Importantes no Desenvolvimento de uma Arma Ativa

Considerando que o robô a ser estudado neste trabalho se enquadra na categoria de robôs com armas ativas, é fundamental esclarecer alguns conceitos importantes no desenvolvimento de uma arma rotativa.

2.2.5.1. Momento de inércia

O momento de inércia pode ser definido como “uma medida da resistência de um corpo a uma aceleração angular” (HIBBELER, 2005, p. 309). Em robôs de combate, esta característica está diretamente relacionada com o poder do impacto e com a aceleração da arma. Menores valores de momento de inércia na arma promovem impactos mais fracos, mas auxiliam na rápida obtenção da velocidade máxima e na menor reação sofrida pelas demais partes do robô (MILES; CARROLL, 2002, p. 226).

Miles e Carroll (2002, p. 227-228) também definem a configuração ótima da arma de um robô do tipo tambor para produzir maior momento de inércia. Para os autores, o ideal é desenvolver o tambor com o maior diâmetro possível. Em uma comparação de casos, a literatura estabelece que maior impacto é gerado por um tambor largo com dentes curtos em relação a uma arma composta por um tambor fino com dentes maiores.

Para cilindros rotativos, o momento de inércia pode ser calculado pela Equação (1).

$$I = M_{cil}R^2 \quad (1)$$

Em que I representa o momento de inércia, M_{cil} expressa a massa do cilindro e R identifica o raio do cilindro.

2.2.5.2. Energia cinética

A energia cinética é a forma de energia que está associada à velocidade de uma partícula (NUSSENZVEIG, 2002, p. 109). Em termos escalares, a energia cinética pode ser calculada através da Equação (2).

$$E = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2)$$

Em que E denota a energia cinética, m representa a massa da partícula e V é a velocidade linear da partícula. Porém, como o principal movimento de um rotor é de natureza angular, é importante definir a energia cinética para termos de natureza angular, como se pode observar na Equação (3).

$$E = \frac{1}{2}Iw^2 \quad (3)$$

Sendo w a velocidade angular do objeto.

Gurstelle (2002, p. 159) sustenta que, embora a energia cinética forneça parâmetros importantes para a avaliação de um robô de combate, é preciso analisar os resultados obtidos com cautela. O autor defende que um estudo básico sobre a Equação (3) indica que investir no aumento da velocidade angular do rotor é a maneira ideal de amplificar o desempenho de uma arma rotativa. Nesse estudo, no entanto, não são considerados dois fatores principais: o aumento

da velocidade da arma depende de um motor mais potente – e, normalmente, mais caro e pesado – e os elementos de fixação e transmissão de energia precisam ser projetados para suportar as tensões decorrentes da maior velocidade (GURSTELLE, 2002, p. 159).

2.2.5.3. Parâmetros do dente

A definição dos parâmetros adequados para os dentes da arma, como tamanho e quantidade, é essencial para garantir o encaixe de golpes nos adversários. O trabalho de Dave e Dong (2009, p. 10) mostrou que perfis de dente devem ser estabelecidos com precisão, uma vez que há uma tendência para que os impactos promovam alterações no perfil original, podendo inutilizar os dentes. Além disso, Meggiolaro (2009, p. 158) aponta que muitos dentes em uma arma acabam por repelir o oponente ao invés de encaixar um golpe completo.

A obra de Meggiolaro (2009, p. 161) também fornece toda a metodologia para o cálculo dos parâmetros de dente. O autor define o número de dentes da arma ao estabelecer uma relação deste atributo com a velocidade alcançada pela locomoção do robô. Esta relação está expressa na Equação (4). É importante frisar, no entanto, que o número de dentes deve ser conhecido ou estimado.

$$d = \frac{V\pi}{Wbn} \quad (4)$$

Em que Wb é a velocidade máxima para que haja o encaixe, V é a velocidade da locomoção do robô e n é o número de dentes da arma.

Utilizando um encaixe mínimo (d_{max}) de 1/4” – valor estabelecido empiricamente pelo autor – foram obtidos alguns dados de Wb para velocidades e número de dentes pré-determinados. Estes dados estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre velocidade do robô e velocidade máxima para encaixe da arma

Número de dentes	Velocidade do robô	Velocidade máxima da arma sem que o adversário seja repelido
3	8 km/h	3520 RPM
	16 km/h	7040 RPM
	24 km/h	10560 RPM
2	8 km/h	5280 RPM
	16 km/h	10560 RPM
	24 km/h	15840 RPM
1	8 km/h	10560 RPM
	16 km/h	21120 RPM
	24 km/h	31680 RPM

Fonte: Adaptado de Meggiolaro (2009, p. 161).

A Equação (4) e os dados estabelecidos na Tabela 1, por si só, são suficientes para a definição do tamanho do dente.

2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho são números ou razões que são capazes de mensurar um aspecto de desempenho de um equipamento ou atividade. A partir disso, é possível realizar uma comparação entre estas medidas e os objetivos preestabelecidos (SÃO PAULO, 2017, p. 11). Na visão de Júnior (2012, p. 16), que observou a implementação de indicadores de desempenho na gestão pública, estes dados são capazes de orientar e auxiliar gestores públicos, descartando a prática de tomada de decisão com base única na intuição.

O trabalho de Brandão e Guimarães (2001, p. 11) apresenta o histórico da avaliação de desempenho em diferentes tarefas. Os autores afirmam que esta prática foi iniciada na Antiguidade, mas o fato responsável por desenvolver e estimular o uso de indicadores de desempenho foi o crescimento da indústria capitalista. De fato, Rodrigues (2010, p. 41-42) afirma que a origem do termo “indicador de desempenho” remonta ao século XIX – período próximo à Revolução Industrial. No entanto, a autora ressalta que há imprecisões quanto ao início da implementação de indicadores de desempenho na análise da eficiência industrial.

O trabalho desenvolvido por São Paulo (2017, p. 13) efetua a divisão dos indicadores em seis grupos principais. Para o autor, os indicadores simples fornecem dados sobre uma única variável disponível; os indicadores compostos trabalham com duas ou mais variáveis; os

coeficientes estabelecem uma razão entre o número de casos específicos existentes dentro de um grupo e o total de casos; as porcentagens apresentam o percentual de casos específicos dentro do universo – ou seja, é a multiplicação do coeficiente por cem; a razão é um caso específico de um coeficiente, mas ocorre quando o grupo de casos específicos e o outro grupo avaliado não fazem parte do mesmo conjunto estatístico; por fim, as taxas são representações distintas dos coeficientes, de modo a facilitar a visualização dos dados.

Exemplos de indicadores podem ser retirados de termos comumente tratados no segmento de políticas econômicas e de desenvolvimento. Rodrigues (2010, p. 50) revela que os conceitos de PIB (Produto Interno Bruto), o PNB (Produto Nacional Bruto) e o PNL (Produto Nacional Líquido) são indicadores de desempenho que foram desenvolvidos com o intuito de avaliar o crescimento econômico de um país.

A qualidade de um indicador de desempenho é abordada em Júnior (2012, p. 18). O autor identifica determinadas propriedades que devem ser comuns a qualquer indicador para que a avaliação de desempenho seja realizada de maneira adequada. Uma síntese das informações consideradas no trabalho é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 – Características essenciais em indicadores de desempenho

PROPRIEDADE	DESCRIÇÃO
Utilidade;	Um indicador deve fornecer suporte para decisões;
Validade;	Capacidade de apresentar um retrato fiel da realidade sem perder a significância;
Confiabilidade;	Devem ser originados em fontes confiáveis, com metodologias de coleta e divulgação devidamente designadas;
Disponibilidade;	Os dados devem ser de fácil obtenção;

Fonte: Adaptado de Júnior (2012, p. 18).

A avaliação de desempenho, quando aplicada à robótica, precisa ser adaptada. Mello (2016, p. 1) contextualiza o problema no estudo do objetivo de robôs manipuladores, afirmando que a versatilidade é uma propriedade imprescindível a estes robôs. A avaliação de desempenho, por outro lado, é algo capaz de determinar a aptidão do protótipo para efetuar ou não determinada tarefa. A obra de Silva (2018, p. 31) mostrou isso na prática. Neste caso, o autor utilizou indicadores financeiros para desenvolver um robô que fosse capaz de atuar como operador em transações do mercado financeiro.

Considerações feitas por Mello (2016, p. 1) complementam que o desempenho de um robô é medido com base na eficácia pela qual ele realiza um movimento intrínseco à própria operação. A abordagem de Oliveira (2008, p. 117) segue esta premissa, e prioriza a execução de testes de velocidade e tração em robôs omnidirecionais para estimar o desempenho dos protótipos. Algo similar pode ser aplicado na área específica da robótica de combate, visto que

a velocidade de cada modelo e a capacidade de empurrar objetos são duas características que podem ser tratadas como diferenciais para o sucesso nas lutas.

O trabalho de Dong e Dave (2014, p. 40) mostra que é possível aplicar melhorias na performance de equipes de robótica de combate com base na análise de desempenho. No caso, os autores propuseram a solução de problemas com base na metodologia Simplex. A identificação destes problemas, porém, é algo pertinente à análise de desempenho (DA SILVA; GOMES, 2016, p. 2).

Seguindo a mesma tendência, Ramos e Meggiolaro (2012, p. 2) utilizaram os conceitos de encaixe do golpe, velocidade angular da arma e velocidade relativa para encontrar perfis de armas de robôs tambores dotados de apenas um dente que apresentassem elevada eficiência. O desafio do trabalho, neste caso, é o balanceamento adequado do tambor, que apresenta geometria assimétrica quando possui um único dente.

2.4. PROBABILIDADE DE SIGNIFICÂNCIA E TESTE DE HIPÓTESE

A probabilidade de significância é uma forma de se afirmar a hipótese de que os resultados obtidos em uma pesquisa são estatisticamente relevantes, descartando a ocorrência de tais dados como consequência única do acaso (LEITE; RINO, 2009, p.1). Para isso, utilizam-se prioritariamente os testes de hipótese. Sampaio e Leoni (2015, p.1) ressaltam que “Teste de Hipóteses é um método para verificar se os dados são compatíveis com alguma hipótese, podendo muitas vezes sugerir a não-validade de uma hipótese”. Victor e Paes (2010, p. 109) ressaltam a utilização destas metodologias na área médica, afirmando que a análise da probabilidade de significância tem um grande peso na validação das conclusões dos estudos.

Um dos elementos que fomenta a tomada de decisão com base no teste de hipóteses é o valor-p, que “representa a probabilidade da hipótese nula ser verdadeira, ou seja, que a diferença encontrada, entre o resultado de duas ou mais amostras, seja devido ao acaso” (COSTA; OLIVEIRA; PETTO, 2019, p. 460). Tendo isso em mente, a hipótese nula é normalmente definida como “a hipótese que traduz a ausência do efeito que se quer verificar” (SAMPAIO; LEONI, 2009, p. 2). Por outro lado, Hirakata, Mancuso e Castro (2019, p. 182) apresentam quatro cenários possíveis: quando a hipótese nula contempla igualdade a um índice (denominado de teste bilateral), inferioridade a algum índice (denominado de teste unilateral superior ou à direita), superioridade a algum índice (cuja denominação é teste unilateral inferior ou à esquerda) ou valor fixo. Para todos estes casos, os autores estabelecem ainda que existe uma hipótese alternativa com sentido complementar ao da hipótese nula.

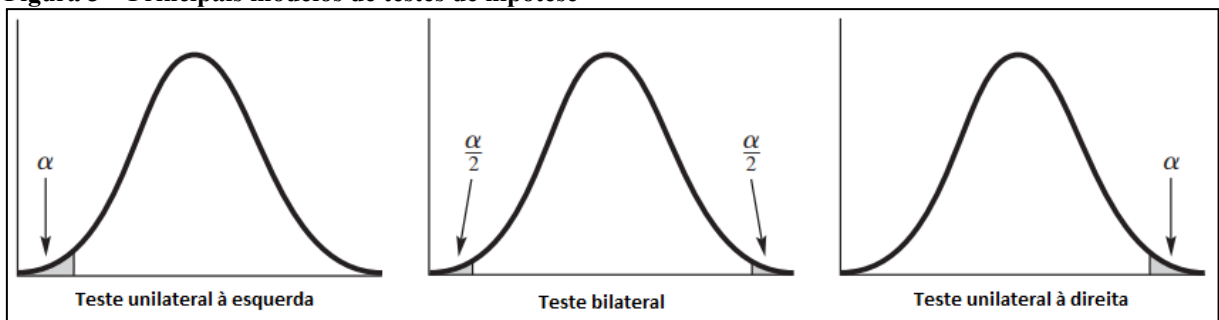
O trabalho de Victor e Paes (2010, p. 109) afirma ainda que as análises estatísticas são objeto de erro – uma vez que uma amostra dificilmente se comporta da mesma maneira que outra. Uma complementação a este raciocínio está presente em Costa, Oliveira e Petto (2019, p. 461), visto que os autores alertam que o uso isolado do valor-p pode acarretar conclusões equivocadas. Hirakata, Mancuso e Castro (2019, p. 183) destacam ainda que a obtenção de conclusões sobre um determinado tema não deve apenas levar em consideração os resultados estatísticos, mas também a experiência do autor sobre o assunto estudado.

Bussab e Morettin (2010, p. 338) apresentam dois tipos de erro que se estendem aos mais diversos tipos de teste de hipótese. O erro tipo 1 ocorre quando se rejeita a hipótese nula e ela é verdadeira, enquanto o erro tipo 2 é consequência da adoção da hipótese nula quando esta é falsa. Hirakata, Mancuso e Castro (2019, p. 184) trazem ainda um terceiro tipo de erro, que ocorre ao rejeitar-se a hipótese nula e aceitar uma hipótese nula errada – o que configura um erro de formulação conceitual sobre o problema observado.

O objetivo de um teste de hipóteses é controlar o erro do tipo 1, possibilitando a delimitação de sua probabilidade de ocorrência (α) e desenvolvendo graficamente uma região crítica onde essa probabilidade de ocorrência se confirma (BUSSAB; MORETTIN, 2010, p. 344). Desta forma, o teste de hipóteses não propõe a confirmação da veracidade de uma hipótese, mas sim a confirmação de sua falsidade (COSTA; OLIVEIRA; PETTO, 2019, p. 460). Para chegar à conclusão de que a hipótese nula é equivocada, são almejados valores de p menores que 0,05, 0,01 ou 0,001, cuja variação se deve ao grau de confiabilidade da evidência – respectivamente moderada, forte e fortíssimo para os valores apresentados (VICTOR; PAES, 2010, p. 109).

A Figura 3 mostra a representação gráfica dos três principais modelos de testes de hipótese.

Figura 3 – Principais modelos de testes de hipótese



Fonte: Adaptado de Levin, Fox e Forde (2014, p. 253).

2.5. REGRESSÃO E CORRELAÇÃO LINEAR

Assim como os testes de hipótese, os modelos de regressão linear são ferramentas estatísticas aplicáveis a uma grande quantidade de segmentos (CHEIN, 2019, p. 7). De um modo geral, a regressão linear tem o objetivo de modelar relações existentes entre duas variáveis em uma função, uma dependente e outra independente, a partir de uma série de observações sobre estas variáveis (OLIVEIRA FILHO, 2002, p. 3). A regressão linear também pode ser utilizada com o objetivo de estimar valores para uma variável através de valores conhecidos para a outra variável, buscar a justificativa para os valores obtidos sobre a variável dependente ou prever valores para uma variável (SELL, 2005, p. 4).

Dentro do estudo da regressão linear, a análise de correlação linear é a responsável por analisar especificamente o grau de associação de duas variáveis em uma equação linear (RODRIGUES, 2012, p. 1). Chein (2019, p. 14) aborda a importância do estudo da correlação, que tem, como um de seus objetivos, evidenciar se o modelo de regressão linear retrata com fidelidade a relação de interesse. Sendo assim, ao avaliar os modelos de regressão, é importante ter em mente que a correlação linear é “medido através das disposições dos pontos referentes as variáveis independentes e a variável dependente numa reta ou um plano” (OLIVEIRA FILHO, 2002, p. 6), mostrando que ambos os estudos são complementares um ao outro.

No estudo da correlação, um fator fundamental para quantificar a correlação entre duas variáveis é o coeficiente de correlação linear de Pearson (RODRIGUES, 2012, p. 1). Este coeficiente está apresentado na Equação (5).

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

O coeficiente de correlação linear de Pearson pode adotar valores variáveis entre -1 e +1. Desta forma, a partir do valor de R_{xy} , é possível tirar conclusões sobre o grau de correlação entre duas variáveis – uma vez que existem classificações que estabelecem a força da correlação a partir do valor do coeficiente de um determinado caso (RODRIGUES, 2012, p. 1). Não há um consenso definido na elaboração destas classificações. O Quadro 4 mostra a classificação adotada por Mukaka (2012, p. 71).

Quadro 4 – Classificações do coeficiente de correlação

Faixa do coeficiente de correlação	Indicação
0,9 a 1,0 (ou -0,9 a -1,0)	Relação fortíssima positiva (ou negativa)
0,7 a 0,9 (ou -0,7 a -0,9)	Relação forte positiva (ou negativa)
0,5 a 0,7 (ou -0,5 a -0,7)	Relação moderada positiva (ou negativa)
0,3 a 0,5 (ou -0,3 a -0,5)	Relação fraca positiva (ou negativa)
0 a 0,3 (ou 0 a -0,3)	Relação inexistente

Fonte: Adaptado de Mukaka (2012, p. 71).

Ao se obter o coeficiente de correlação, pode-se calcular também o coeficiente de determinação (R^2). Este coeficiente é um componente importante do modelo de regressão, pois estima qual o percentual de dados da variação total pode ser explicado através da variação da regressão (OLIVEIRA FILHO, 2002, p. 6). Como o coeficiente de determinação é o quadrado da Equação (5), facilmente se observa que sua faixa de valores pode variar entre 0 e 1. Desta forma, quanto mais próximo de 1 estiver o valor de R^2 , maior será o percentual de valores que poderá ser justificado pelo próprio modelo de regressão, e conseqüentemente maior será a qualidade de seu ajustamento (RODRIGUES, 2012, p. 2). A relação que permite o cálculo imediato do coeficiente de determinação está apresentada na Equação (6).

$$R_{xy}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Embora as equações de correlação e determinação por si só já permitam a obtenção das soluções desejadas, é comum a elaboração dos modelos de regressão graficamente em ferramentas computadorizadas. O trabalho de Oliveira Filho (2002, p. 11) menciona o uso do *software* Excel 2000 para a criação dos modelos de regressão e o cálculo dos coeficientes correspondentes. Sell (2005, p. 13) corrobora com esta visão, afirmando que “o uso do recurso computacional e a utilização da ferramenta “regressão” do aplicativo EXCEL são instrumentos auxiliares nos processos de geração da informação e de tomada de decisão”.

2.6. PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

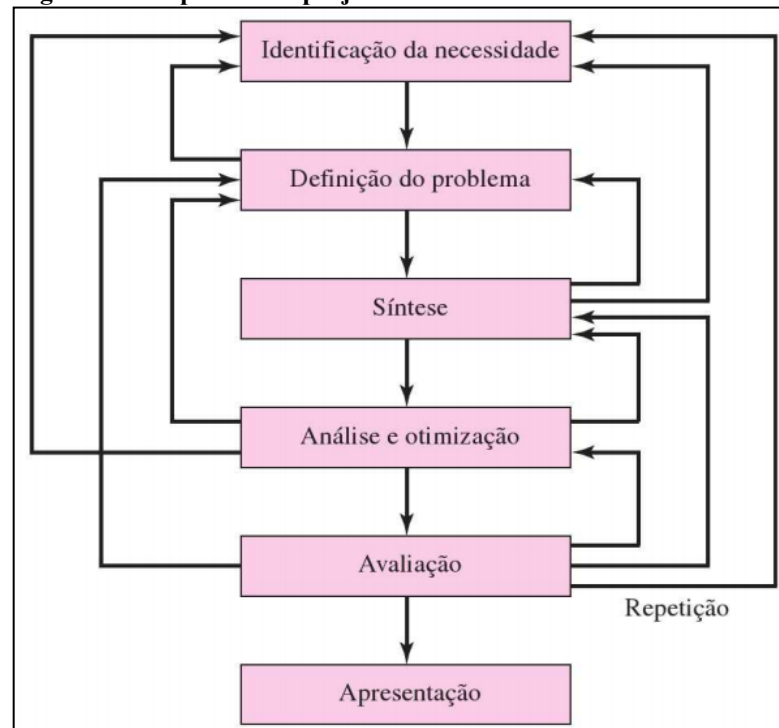
Embora o processo de desenvolvimento de produtos ocorra há milhares de anos, os conceitos e técnicas sobre esta área de estudo – e conseqüentemente sobre as etapas de um projeto mecânico – passaram a ser difundidos e aprimorados apenas no século XIX (Cunha, 2008, p. 1). Back et al (2007, p. 3) ressaltam que a disciplina voltada ao desenvolvimento de produtos só começou a ser estudada em torno dos anos 1960, sendo que a década de 1980 começou a apresentar os primeiros avanços significativos no segmento.

As definições de projeto são bem condizentes entre diversos autores. Norton (2013, p. 3), afirma que o projeto consiste na aplicação de técnicas e outros conceitos científicos com objetivo de delimitar minuciosamente dispositivos e sistemas visando o seu desenvolvimento. Definições mais simplificadas são adotadas por Budynas e Nisbett (2011, p. 30), que atribuem à palavra “projetar” o significado de “formular um plano para atender a uma necessidade específica ou resolver um problema”. O conceito exposto por Back et al (2007, p. 6) é mais aplicável ao projeto de produtos, a área de enfoque do autor, sendo definido como “um plano de um empreendimento a ser realizado – um produto, com o fim de atender a uma necessidade”. Por outro lado, ao introduzir discussão sobre o tema de projeto mecânico, Pahl et al (2005, p. 1) focam nas atribuições específicas de um engenheiro ou projetista.

A missão do engenheiro é encontrar soluções para problemas técnicos. Para tanto ele se baseia em conhecimentos das ciências naturais e da engenharia e leva em conta as condicionantes materiais, tecnológicas e econômicas, bem como restrições legais, ambientais e aquelas impostas pelo ser humano. As soluções precisam atender aos objetivos prefixados e autopropostos. Após seu esclarecimento, os problemas são convertidos em subtarefas concretas que o engenheiro terá pela frente durante o processo de desenvolvimento do produto. (PAHL et al, 2005, p. 1).

Rosenfeld et al (2006, p. 150) destaca que a elaboração adequada do escopo e riscos de um projeto evita problemas em fases posteriores do processo de desenvolvimento de um produto. Por conta disso, é fundamental levar em consideração uma sequência de etapas para a estruturação dos projetos, em que as primeiras fases do projeto a identificação da necessidade do projeto e a definição do problema (Budynas e Nisbett, 2011, p. 31-32). Nestas etapas iniciais, Back et al (2007, p. 7) ressaltam ainda a importância de se especificar adequadamente as restrições de resolução e de solução, cujo primeiro conceito aborda “conhecimento disponível, o tempo e as facilidades de laboratório e de computação para resolver o problema”, e o segundo engloba “aspectos de custos, disponibilidade de materiais, equipamentos de fabricação e de uso, manutenção e descarte”. Uma proposta de etapas para um projeto mecânico está detalhada na Figura 4.

Figura 4 – Etapas de um projeto



Fonte: Budynas e Nisbett (2011, p. 32).

Contudo, a Figura 4 deve ser tomada apenas como exemplo de etapas que podem ser adotadas na fase de projetos, visto que há diversas formatações de planos de projeto presentes na literatura. Pahl et al (2005, p. 87) afirma que os planos de projeto atuam diretamente em “planejamento, na ação e no efetivo controle do procedimento específico, que se orienta tanto pelos planos de procedimentos com validade geral, como também pelo atual problema e pela experiência individual”. Desta forma, cada plano de projeto deve ser adaptado e manipulado com base no estudo sobre o problema específico a ser resolvido.

Apesar das diferenças existentes entre os planos de projeto, diversas literaturas entram num consenso de que os primeiros passos fundamentalmente incluem a definição específica do problema. Budynas e Nisbett (2011, p. 32) apontam que a fase de definição do problema deve estabelecer aspectos como “quantidades de entrada e saída, características e as dimensões do espaço que o objeto deve ocupar e todas as limitações de tais quantidades” – atuando como uma função global do problema. Um complemento deste tema é discutido por Back et al (2007, p. 37), que mencionam também a ordenação de uma lista de requisitos como etapa secundária da fase de definição do problema. Contudo, nota-se que os itens adicionais que os autores utilizam para ampliar o propósito da fase de projetos decorrem apenas de alterações de nomenclatura, uma vez que Rosenfeld et al (2006, p. 160) comenta que a etapa principal de definição do problema delimita “parâmetros básicos que caracterizam o produto (o que é o produto) e as

funcionalidades que dele se espera (para que serve o produto), de forma a se ter uma clara compreensão do que será fornecido ao cliente”, convergindo com a ideia principal dos conceitos encontrados nas outras literaturas.

Após estipular adequadamente os problemas em questão, diversos autores indicam que o passo natural é a observação de soluções já existentes, de modo a constituir os requisitos do produto. Back et al (2007, p. 40) aponta que as metodologias indicadas para isso são “pesquisa bibliográfica, análise de sistemas naturais, análise de sistemas existentes e métodos de criatividade diversos”. Rosenfeld et al (2006, p. 222) afirma que a metodologia de *benchmarking* e de *checklists* com trabalho em campo – através de observações e entrevistas – são bastante indicadas para a formulação dos requisitos de produto. Além disso, Pahl et al (2007, p. 2) afirma que “requisitos variam em função do tempo, de modo que uma solução de projeto só pode ser objetivada ou almejada de maneira otimizada, sob as condicionantes existentes na época da solicitação”. Por isso, os passos de análise e otimização de soluções devem funcionar de maneira cíclica, almejando a melhoria sequencial do projeto.

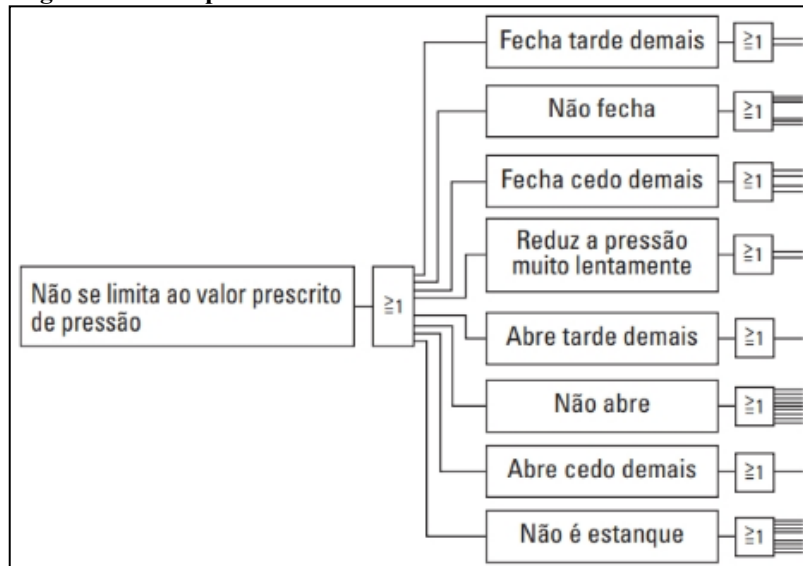
A etapa seguinte à delimitação de um problema de projeto procura sintetizar soluções possíveis que sejam compatíveis com a função global encontrada na seção de delimitação do problema (BACK et al, 2007, p. 41). Pahl et al (2007, p. 91) trata a fase da busca pelas soluções de projeto como a etapa “conceber”, na qual o objetivo é estabelecer uma solução preliminar para o problema. Por outro lado, Budynas e Nisbett (2011, p. 32-33) denominam a fase posterior à definição do problema de “invenção do conceito ou projeto conceitual”, e apontam que neste período do projeto, uma proposta de solução não deve ser descartada sem que haja uma avaliação dentro dos requisitos estabelecidos. Por fim, Cunha (2008, p. 7) também alerta sobre a importância da solução em termos de venda de produtos, recomendando que nesta etapa seja iniciado um estudo sobre a viabilidade comercial de cada solução com base na estratégia de Marketing a ser utilizada futuramente.

Por fim, as duas etapas que concluem a visão macroscópica do ciclo de um projeto são análise e otimização (BUDYNAS; NISBETH, 2011, p. 33). Através do processo de análise, Rosenfeld et al (2006, p. 364) comenta que “esta atividade de avaliação verifica se as especificações críticas resultam nos parâmetros críticos desejados, ou seja, se os requisitos dos clientes são atendidos, considerando-se as condições de aplicação do produto”. Para cumprir adequadamente com esta tarefa, Borges e Carvalho (2011, p. 176) ressaltam que a aplicação de indicadores de desempenho é fundamental para o acompanhamento dos critérios de sucesso de um projeto. Por outro lado, a própria ocorrência de falhas é um fator a ser analisado. Neste contexto, Rosenfeld et al (2006, p. 365) comenta que esta etapa pode ocorrer antes da própria

construção do protótipo, de modo a antecipar possíveis falhas que podem vir a incidir sobre o projeto, recomendando o método FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos) para isso. Pahl et al (2007, p. 360) é outro defensor do método FMEA, porém indica especificamente a tarefa da análise da árvore de falhas, cujo objetivo é “a avaliação quantitativa das falhas, suas causas e consequências em sistemas de segurança relevantes”, visando além da busca por soluções de possíveis falhas, a garantia da qualidade. Um exemplo de árvore de falhas está apresentado na Figura 5.

O desenho da árvore de falhas parte de um evento de topo, que é a falha principal a ser analisada. Este defeito principal é desdobrado em demais falhas (eventos básicos) que em conjunto ou individualmente, podem causar o evento de topo e consequentemente ocasionar a falha do sistema. (BATISTA; GOMES; BALTAZAR, 2012, p. 2).

Figura 5 – Exemplo de árvore de falhas



Fonte: Pahl et al (2007, p. 361).

O fim da etapa de análise permite o início da etapa de otimização. Back et al (2005, p. 538) ressalta que uma grande quantidade de conceitos de otimização de projetos foi desenvolvida nas últimas décadas em função da ampliação da visão do mercado sobre a importância deste aspecto, e pelo fato de que os problemas de engenharia são multivariáveis e multidisciplinares – e, por conta disso, são de difícil convergência para um caso específico de otimização. Segundo Budynas e Nisbett (2011, p. 33), a etapa de análise atua como um filtro nas soluções encontradas durante a concepção, descartando ou revisando sistemas que não cumprem com os requisitos e permitindo que as propostas restantes sejam otimizadas para atingir o melhor desempenho do esquema de projeto. Rosenfeld et al (2006, p. 365) também ressalta a importância do próprio método FMEA para o processo de otimização, uma vez que

ao optar por realizar a etapa de análise sob o escopo deste método, uma extensa lista de recomendações é obtida pelo projetista, fornecendo subsídios para o processo de otimização do projeto. O trabalho de Batista, Gomes e Baltazar (2012, p. 11) mostra ainda que o método FMEA e a análise da árvore de falhas não apenas indicam pontos de otimização em projetos voltados a produtos, mas também no funcionamento das empresas – como em uma cadeia produtiva –, uma vez que o trabalho alertou, através da árvore de falhas, sobre possíveis problemas de eletricidade na sede do cliente, que certamente comprometeriam o andamento das atividades.

Há de se notar que a desde a fase de elaboração, até a fase de otimização, o projeto funciona como um ciclo. Após apresentar todas as etapas do projeto e discuti-las brevemente, Budynas e Nisbett (2011, p. 33) afirmam que o projeto é “um processo repetitivo no qual passamos por várias etapas, avaliamos os resultados e, então, retornamos a uma fase anterior do procedimento”. A análise de Pahl et al (2007, p. 89), mostra que o ciclo de concepção até a decisão de que o projeto cumpriu com todos os requisitos ocorre inúmeras vezes ao longo da cadeia do plano de projeto, de modo a concretizar a solução obtida.

3. METODOLOGIA

Uma das metas desta pesquisa é desenvolver o projeto e a fabricação de três tipos de arma de um robô de combate. Estas armas precisam ser do tipo *eggbeater* ou bateadeira, e explicações adicionais sobre a motivação deste fato serão explicadas nas subseções seguintes. Além disso, é prevista a construção de uma bancada de testes para possibilitar a avaliação de cada configuração de arma do robô. Desta forma, para o início do procedimento metodológico do trabalho, foram selecionados alguns materiais de apoio.

3.1. MATERIAIS

As ferramentas utilizadas durante a realização do trabalho foram:

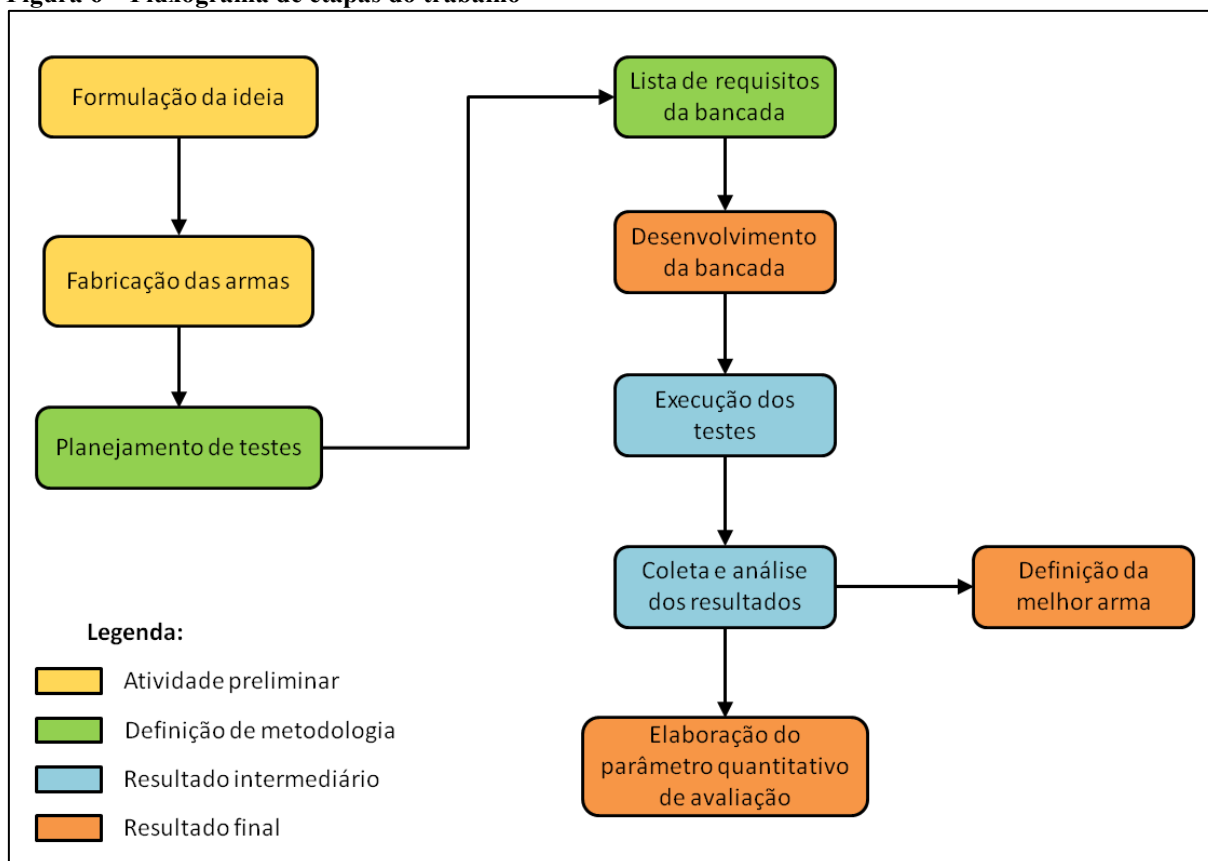
- Bloco de Aço SAE 4340;
- Bloco de Aço Domex 700MC;
- Brocas de tamanhos variáveis entre 3 mm e 12 mm;
- Equipamentos de proteção individual;
- Esmerilhadeira;
- Esquadros magnéticos;
- Furadeira de bancada;
- Furadeira manual;
- Máquina de solda ESAB Bantam 180 A para eletrodo revestido;
- Placas de policarbonato de 4 mm de espessura;
- Roldanas de aço;
- *Software* Google Planilhas;
- *Software* Microsoft Excel 2013;
- *Software* MiniTab;
- *Software* SolidWorks 2016;

3.2. ETAPAS

O procedimento metodológico adotado neste trabalho foi dividido em quatro etapas distintas. Esta prática permitiu o direcionamento de atenção tanto à fabricação das armas do robô, quanto à concepção da bancada de apoio para os testes.

Um fluxograma das etapas do trabalho está representado na Figura 6. Em amarelo, estão as atividades preliminares da pesquisa. Em verde, foram citados procedimentos que fazem parte da definição da metodologia do trabalho. Em azul, foram distribuídos os procedimentos que atuam como intermediários para a obtenção dos resultados finais. Por fim, em vermelho, estão dispostos os procedimentos que efetivamente constituem os resultados deste trabalho.

Figura 6 – Fluxograma de etapas do trabalho



Fonte: Autoria própria.

3.3. FORMULAÇÃO DA IDEIA

Por influência dos conhecimentos obtidos no projeto de extensão “equipe de robótica DotBotz, da UTFPR – Campus Ponta Grossa”, surgiu a ideia de efetuar estudos comprobatórios sobre os componentes e peças utilizados nos robôs de combate. Até então, muitas das decisões tomadas na formulação de projetos eram estimuladas por conhecimentos empíricos, sem uma comprovação real da eficiência e da influência de outros indicadores que podem tornar um robô vitorioso em uma competição.

Além disso, o estudo específico sobre a arma foi motivado por três fatores diferentes. O primeiro deles é a quantidade de variáveis incluídas em um estudo aprofundado sobre os sistemas de impacto do robô. Ao realizar uma análise rápida, podem ser identificadas diferentes propriedades que podem influenciar no momento de inércia do rotor, como geometria, dimensões, velocidade proporcionada pelo motor, balanceamento, entre outros. Desta forma, identificou-se a arma como o elemento cuja análise era a mais prioritária para implantação nos protótipos desenvolvidos pela equipe.

O segundo fator refere-se ao desafio de engenharia. Enquanto a estrutura e a locomoção dos robôs variam apenas em dimensionamento e geometria, a arma pode assumir uma ampla variedade de configurações. É possível mesclar dois tipos de arma, com objetivo de facilitar o encaixe ou possuir um sistema substituto caso o principal mecanismo de propagação de dano seja desativado. Há ainda a necessidade de observar as particularidades dos adversários, de modo que seja possível projetar componentes capazes de inutilizar os robôs adversários. Por conta disso, assume-se que o projeto e determinação de parâmetros de armas é um desafio maior em relação a outras partes de um robô de combate.

Por fim, a arma é certamente o dispositivo mais relevante entre os robôs de combate. É a partir do tipo de dano aplicado que o robô recebe uma nomenclatura, sendo enquadrados nos grupos de tambores, *horizontal spinner*, rampa e demais tipos existentes. Esta relevância também foi uma característica levada em consideração para a delimitação do tema do presente trabalho.

3.4. PROJETO E FABRICAÇÃO DAS ARMAS

Com auxílio do *software* SolidWorks 2016, que efetua modelagem de partes em 3D, foram desenhados os três sistemas de arma a serem testados no robô. O requisito inicial para o projeto destes sistemas foi realizado de maneira separada, com base na ordem em que os componentes que deveriam ser modelados: rotor, polia para transmissão de movimento à arma, polia para o motor responsável por gerar o movimento, buchas, rolamentos, correia e o conjunto de fixação.

A partir disso, optou-se pela discussão do dimensionamento de cada rotor. Como a ideia do trabalho é avaliar o desempenho de cada tipo de arma, foram sugeridas três configurações de peso diferente para as peças: uma que ocupasse 25% do peso da categoria, com dois dentes destinados ao encaixe do golpe, proporcionando simetria à arma; outra que também tivesse aproximadamente 25% do peso limite da categoria, porém apenas um dente

destinado ao golpe; e, por fim, um modelo mais leve, que possuísse em torno de 15% do peso da categoria e dispusesse de dois dentes.

Outro desafio estipulado foi a geometria escolhida. Embora a concepção de um tambor possua etapas que requerem bastante estudo, um modelo com partes vazadas – conhecido como *eggbeater* ou bateadeira – seria algo inovador e ainda não produzido pela DotBotz. Sendo assim, decidiu-se que os três modelos de arma seriam projetados desta maneira, proporcionando ainda mais aprendizados na execução deste trabalho.

As medidas das armas também precisaram ser padronizadas, uma vez que o dimensionamento da estrutura do robô já havia sido realizado. Desta forma, foi imposto que as medidas máximas de um tambor deveriam ser de 100mm de diâmetro e 213mm de largura. Ao impedir que estas dimensões fossem ultrapassadas, o contato da arma com a estrutura do próprio robô seria devidamente evitado. Apesar disso, como o modelo final foi selecionado como bateadeira – ou seja, possui seção retangular –, a limitação de 100 mm de diâmetro foi devidamente adaptada para 100 mm de comprimento.

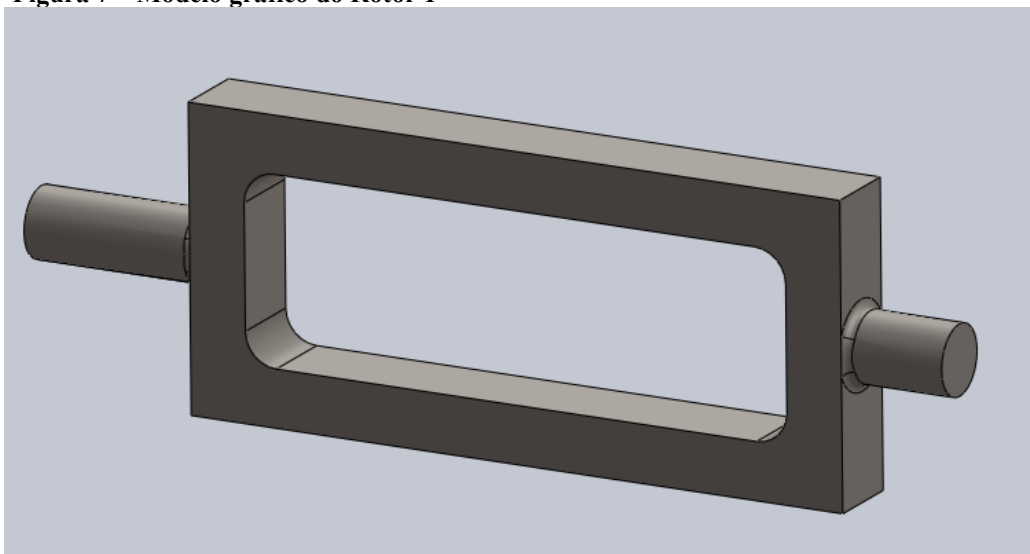
Com base no estudo que contemplou todos estes aspectos, pôde-se chegar aos três modelos de rotor que serviram como objeto de estudo para esta pesquisa.

3.4.1. Rotor 1

O primeiro rotor a ser projetado foi o de menor massa. A limitação de peso deste sistema possibilitou a inserção de acessórios adicionais no robô a ser utilizado no combate real, como uma rampa. Desta forma, podem-se direcionar adversários dotados de rampas ou outros mecanismos que estejam apoiados ao chão além das rodas para o contato direto com a arma. Para o caso específico da arma ativa, optou-se novamente por dois dentes, com o mesmo objetivo de minimizar o desbalanceamento do conjunto. Ao fim deste processo, alcançou-se um rotor com massa de 2,176 kg, e momento de inércia de 0,00250909 kg.m².

A Figura 7 mostra uma representação do Rotor 1 desenvolvida no SolidWorks. Este modelo foi fabricado a partir de um bloco de Aço Domex 700MC, e contou com usinagem terceirizada, tendo em vista que o processo de centralização da ponta do eixo dependia de equipamentos de precisão para que o produto final tivesse acabamento de qualidade.

Figura 7 – Modelo gráfico do Rotor 1

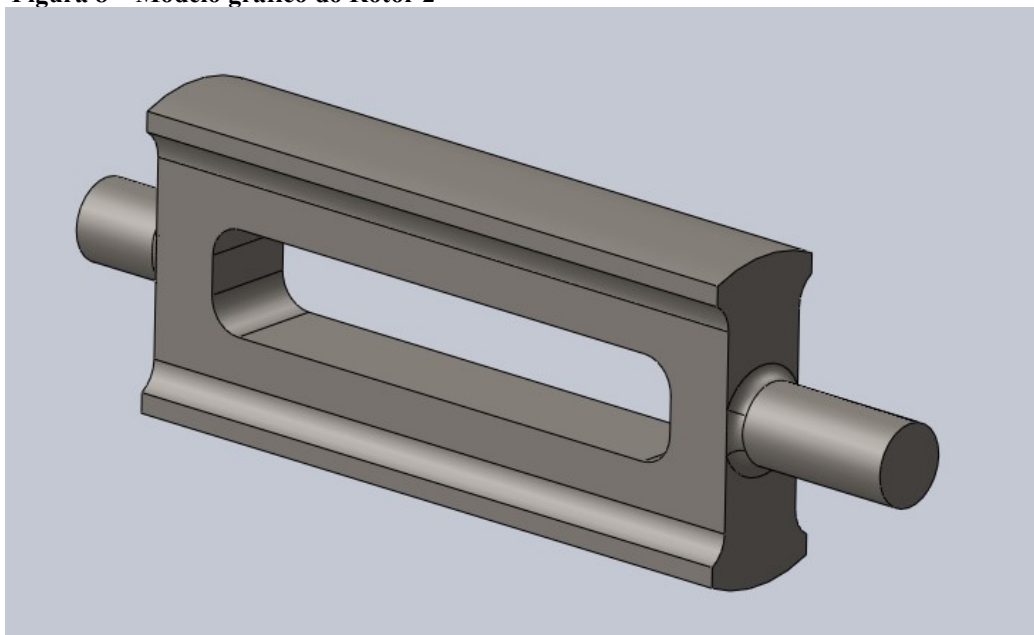


Fonte: Autoria própria.

3.4.2. Rotor 2

O segundo rotor a ser projetado foi o de maior massa. Com auxílio de parceiros da equipe DotBotz, foi possível obter um bloco de aço SAE 4340, propiciando condições para que este rotor fosse produzido em material diferente dos demais. A massa da peça, ao final da fabricação, foi de 3,462 kg, enquanto o momento de inércia obtido com auxílio do SolidWorks 2016 foi de 0,00367082 kg.m². Parte do componente foi fabricada no laboratório de usinagem da UTFPR – Campus Ponta Grossa, e outra parte desenvolvida no laboratório da Equipe de Robótica DotBotz. Vale destacar, neste modelo, que a presença de dois dentes facilita o balanceamento do sistema, visto que há a simetria entre as duas extremidades da arma a partir do eixo. O modelo gráfico do Rotor 2, obtido através do *software* SolidWorks 2016, está ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Modelo gráfico do Rotor 2



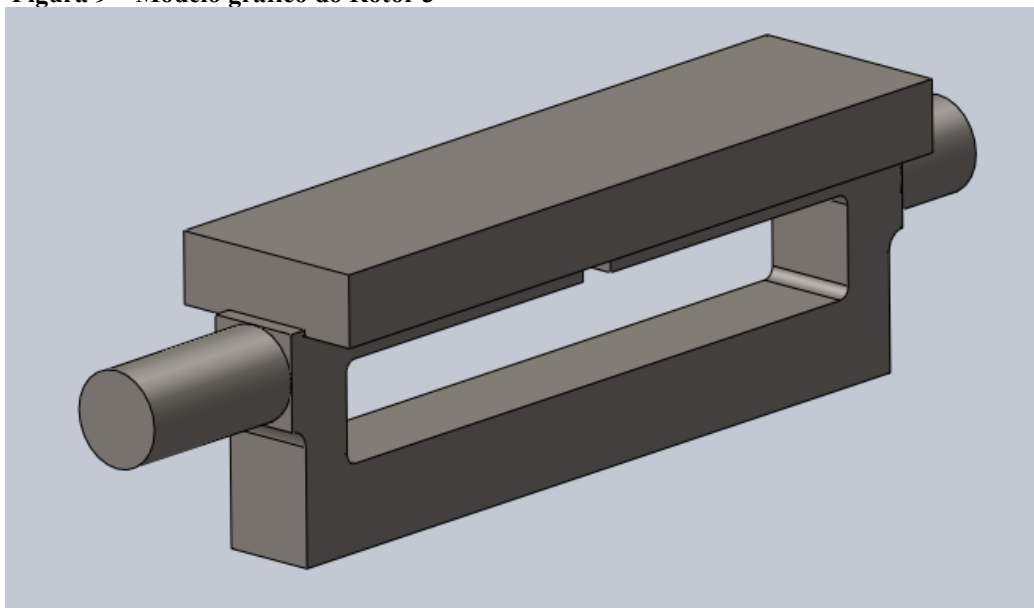
Fonte: Autoria própria.

3.4.3. Rotor 3

Para o rotor 3, foi escolhida uma configuração assimétrica – de modo que a pesquisa pudesse incluir uma análise para este aspecto. Desta forma, para o balanceamento de uma das extremidades do conjunto, foi preciso aplicar um contrapeso para ampliar a precisão do processo. Este modelo de arma se aproximou fielmente à premissa de ocupar 25% da massa limite da categoria do robô, uma vez que a peça chegou a 3,396 kg de massa – apenas 0,004 kg a menos que o peso esperado. O Rotor 3 também se aproximou do momento de inércia do Rotor 1, tendo 0,00259043 kg.m² neste atributo.

A Figura 9 ilustra o modelo gráfico do Rotor 3, obtido através do *software* SolidWorks 2016. O caso da fabricação do Rotor 3 segue condições similares ao do Rotor 1, sendo fabricado em Aço Domex 700MC. Para este modelo, a usinagem também foi terceirizada em função da dificuldade em centralizar e ajustar a ponta do eixo.

Figura 9 – Modelo gráfico do Rotor 3



Fonte: Autoria própria.

A exclusividade deste tipo de arma, no entanto, foi a fixação do dente. Ao contrário dos Rotores 1 e 2, em que o ressalto do dente foi fabricado no bloco integrado do restante da estrutura da arma, o dente do Rotor 3 – ou seja, o “martelo” – foi parafusado. A Fotografia 3 mostra o sistema de fixação do Rotor 3 após o processo de fabricação.

Fotografia 3 – Rotor após a fabricação



Fonte: Autoria própria.

3.5. DESENVOLVIMENTO DA BANCADA DE TESTES

3.5.1. Planejamento de Teste

Ao estabelecer a necessidade de realizar testes experimentais para avaliar os três modelos de arma, percebeu-se que tais testes precisariam ocorrer em condições de igualdade para proporcionar uma análise confiável. Como não há um ensaio padronizado e definido para

tal aplicação, foi determinado o objetivo de construir um dispositivo que garantisse uma menor disparidade nas configurações dos experimentos. Desta forma, surgiu a ideia de se desenvolver a bancada de testes para a realização dos testes que fossem necessários, levando em consideração ainda a necessidade de se mensurar a energia que um golpe de uma arma de robô de combate transfere ao adversário.

Como mencionado, o plano de projeto da bancada de testes foi preparado para atender ao objetivo principal de garantir a igualdade de condições para que os ensaios pudessem ser realizados de maneira uniforme para todos os casos. Desta forma, foram fixadas duas hipóteses para cada bateria de testes: a velocidade de chegada de cada arma deveria ser igual; e a energia acumulada em cada protótipo deveria ser a mesma.

3.5.2. Projeto da Bancada de Testes

Com base nas hipóteses elencadas no passo anterior, foi dado início ao projeto efetivo da bancada. O conjunto final deveria conter cinco requisitos principais, sendo eles:

- Um dispositivo de encaixe para a estrutura do robô;
- Uma alavanca que receberia o golpe da arma do robô e possibilitaria a medição da energia transferida;
- Um sistema para medição da energia transferida;
- Uma tela de proteção para garantir segurança de espectadores e evitar acidentes;
- Um sistema de trilhos guiado por um peso para proporcionar o contato do protótipo com a alavanca em velocidades iguais para cada caso;

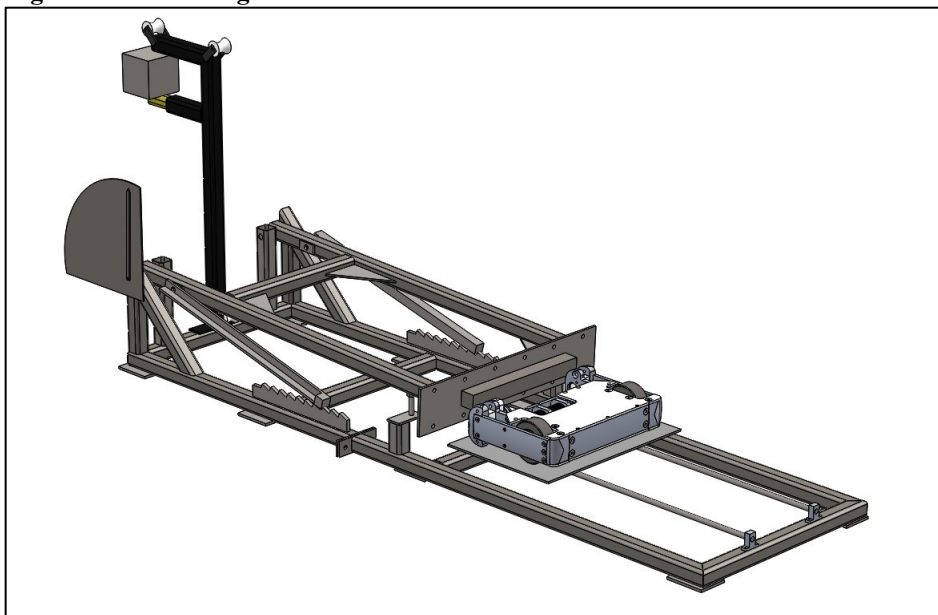
Para alcançar o resultado desejado, a bancada foi projetada para utilizar três tubos quadrados, cada um com seção de 40x40mm e 6 metros de comprimento. Visando o melhor aproveitamento de material, foram definidos três conjuntos principais para a estrutura: base frontal, base traseira e alavanca. Também foi projetada a utilização de chapas sobressalentes para funções auxiliares na bancada, como o travamento do alvo para evitar o rebote no robô, a fixação do alvo na alavanca de impacto, entre outras tarefas.

Com intuito de medir o impacto do golpe – ou seja, a energia transferida para o alvo –, foi projetado um goniômetro metálico no ponto de apoio da alavanca, de modo que cada graduação do transferidor represente um nível de energia transferido para cada arma. Para facilitar a visualização da graduação angular alcançada, estipulou-se que o goniômetro deveria

conter um marcador sobre sua superfície, cujo movimento é determinado por uma ponteira fixada na alavanca – aumentando, assim, a confiabilidade da medição.

A Figura 10 ilustra a bancada após a etapa de desenvolvimento do modelo gráfico no *software* de CAD 3D SolidWorks 2016.

Figura 10 – Modelo gráfico da bancada de testes



Fonte: Autoria própria.

3.6. FABRICAÇÃO DA BANCADA DE TESTES

Para a fabricação dos componentes e dos sistemas da bancada de testes, os alunos contaram com a estrutura do laboratório da Equipe de Robótica DotBotz, que ofereceu as ferramentas necessárias para a montagem dos componentes. Ainda no laboratório da equipe, foram utilizadas furadeiras de bancada, furadeiras manuais e brocas de tamanhos variáveis para os processos de furação das chapas para a montagem dos sistemas de fixação, e os respectivos machos para a formação das regiões de rosca nas peças. Outro processo executado completamente nas dependências do laboratório foi a soldagem da base da estrutura, realizada com auxílio da máquina de solda ESAB Bantam 180 A para eletrodo revestido.

O corte dos tubos da estrutura da bancada foi realizado com auxílio de uma esmerilhadeira. Visando maior precisão durante o processo de soldagem, foram utilizados esquadros magnéticos para definir com exatidão a posição de cada tubo. Além disso, sistemas de roldanas de aço foram utilizados para guiar o movimento do cabo de nylon que sustenta o peso que movimentava o robô, possibilitando a recriação de uma situação típica de combate. Por fim, as placas de policarbonato de 4 mm foram encaixadas ao redor da região de golpe,

enclausurando o ponto de impacto entre o robô e a alavanca e aumentando a segurança do processo. Durante a etapa de fabricação da bancada, os alunos utilizaram equipamentos de proteção individual, como óculos de proteção, protetor auricular, trajes de raspa para solda, entre outros.

A Fotografia 4 mostra o protótipo da bancada de testes finalizado após a etapa de fabricação.

Fotografia 4 – Protótipo da bancada de testes após fabricação



Fonte: Autoria própria.

Com a bancada finalizada, passou-se à fase de teste com os três modelos de arma. A atuação da bancada na fase experimental foi fundamental para a obtenção de resultados confiáveis e padronizados – pode-se dizer que as armas foram submetidas às mesmas condições de deslocamento, fato que dificilmente aconteceria caso o dispositivo não tivesse sido construído. Do ponto de vista funcional, todos os componentes da bancada atuaram conforme esperado pelos alunos, sem que algum defeito compromettesse a realização dos testes. Isso mostra que os pontos planejados na fase de projeto coincidiram com a necessidade dos estudantes para a execução do trabalho.

Por outro lado, a aplicação de um processo de análise sobre a eficiência da bancada mostra que ainda há diversos aspectos nos quais a bancada pode receber procedimentos de otimização. Inicialmente, verificou-se que a seção do trilho que desloca o conjunto do robô até o alvo sofreu um esforço significativo durante os testes, mostrando que a montagem com chapas de maior espessura deve ser futuramente considerada pelos alunos. Outro ponto que precisará ser alterado é o alvo, a peça da bancada que mais sofre impacto durante a operação. Logo após a execução de sucessivos golpes, parte da superfície do alvo foi deformada, mostrando que a preferência por outro tipo de material é uma alternativa de solução para a melhoria da bancada.

Além disso, é importante realizar novos estudos de segurança sobre os diferentes conjuntos que compõem o sistema. Embora nenhuma situação de periculosidade clara tenha ocorrido durante os testes, é fundamental estabelecer cronogramas de manutenção e de melhoria contínua na segurança para tentar antecipar quaisquer possibilidades de ocorrência de acidentes – uma vez que a bancada será fundamentalmente operada pelos alunos da equipe. Algumas melhorias observadas incluem o reforço das chapas de policarbonato que revestem a área de impacto, e a preferência por dispositivos de parada automática e à distância caso alguma falha na bancada seja detectada.

Embora estas avaliações de melhoria tenham ocorrido a partir do início da realização dos testes, a aplicação das melhorias detectadas não constituiu o objeto deste trabalho. Os principais empecilhos que impediram o ciclo de melhoria na bancada foram o custo dos materiais, que foram cobertos integralmente pelos alunos, e o tempo necessário para contemplar todas as alterações observadas. Apesar disso, a lista das melhorias propostas será apresentada à Equipe DotBotz, com intuito de estimular os alunos a utilizarem constantemente a bancada, de modo que outros estudos de melhoria sobre o protótipo existente sejam colocados em prática. Além disso, o objetivo de colocar os demais integrantes da equipe em contato com a bancada envolve o fato de uma busca por soluções para testes de outros sistemas do robô, como armadura, circuitos eletrônicos e mecanismos de locomoção, garantindo que a equipe tenha ainda mais alternativas para quantificar o desempenho dos robôs futuros.

3.7. EXECUÇÃO DOS TESTES

A execução dos testes com auxílio da bancada construída priorizou a manutenção de algumas propriedades para avaliar a influência de cada aspecto no desempenho da arma.

3.7.1. Metodologia de Testes

Embora os testes permitam a análise de diversas propriedades de uma arma de um robô de combate, a etapa de testes deste trabalho assegurou condições diretas para analisar a influência da relação entre peso da arma e rotação da arma. Para isso, foram definidos três níveis de energia para as armas, de modo que os testes pudessem ser conduzidos à mesma energia, porém com rotações diferentes. As rotações levaram em consideração a relação de polia existente para permitir a rotação de cada rotor. Além disso, foi estimado o momento de inércia de cada rotor com auxílio do *software* SolidWorks 2016. Feito isso, as variáveis foram

substituídas na Equação (3), garantindo que apenas a variável “ w ”, ou velocidade angular, fosse a incógnita. Ao resolver a equação, obtiveram-se as rotações que deveriam ser alcançadas na prática para a realização de cada bateria de testes.

O ajuste prático das rotações de cada arma foi realizado no próprio controle multicanais do robô, cuja validação contou com auxílio de um tacômetro. Feito isso, foram realizados cinco testes para cada arma em cada nível de energia, totalizando ao final da primeira bateria, quinze testes por arma e quarenta e cinco testes contabilizando todo o experimento.

As faixas de energia do experimento foram selecionadas com base inicial na menor energia possível de se alcançar para as três armas – de modo que a própria segurança do experimento fosse garantida. Definiu-se este valor inicial como 761 J. As faixas de energia posteriores foram selecionadas com base no avanço de 10% da botoeira que controla a rotação da arma mais pesada, fornecendo um novo valor de energia. Esta faixa de energia foi igualmente definida para os outros dois modelos de arma, e suas rotações correspondentes foram novamente obtidas através da resolução da Equação (3). Feito isso, as rotações obtidas através da resolução da Equação (3) foram novamente configuradas no controle remoto do robô e, ajustadas com auxílio do tacômetro. Para garantir ainda mais precisão ao ajuste da rotação, as polias que auxiliam na transferência da rotação do motor elétrico para cada modelo de arma foram substituídas conforme necessário. As faixas de energia definidas para cada etapa do experimento estão detalhadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Faixas de energia para a realização dos testes

Faixa de energia	Quantidade de testes por faixa de energia
761 J	5 testes/arma * 3 armas = 15 testes
795 J	5 testes/arma * 3 armas = 15 testes
831 J	5 testes/arma * 3 armas = 15 testes

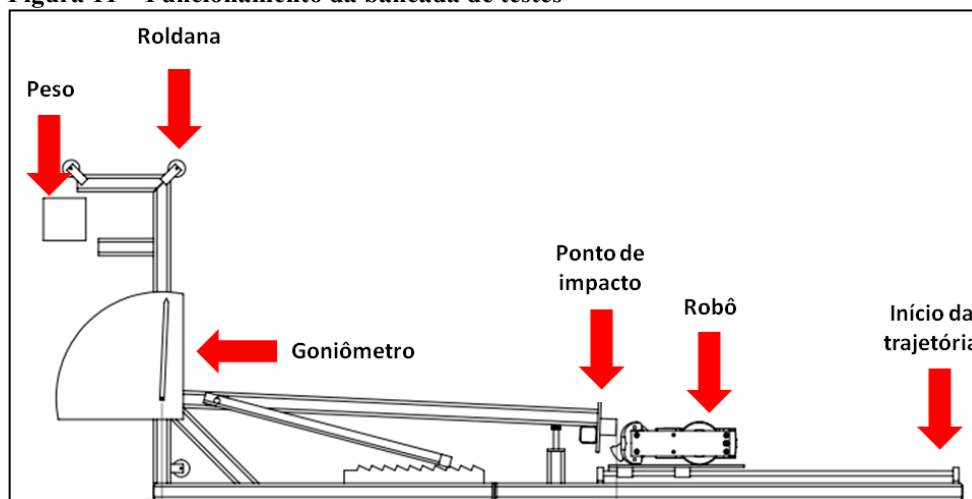
Fonte: Autoria própria.

Ao definir estes níveis de energia, passou-se à etapa de organização e análise dos dados obtidos através do experimento. Para isso, os dados foram dispostos no *software* Google Planilhas e discutidos entre os alunos e o professor orientador do trabalho.

3.7.2. Funcionamento da Bancada de Testes

Neste tópico, o funcionamento da bancada de testes será brevemente descrito. Um esquema gráfico da bancada, ainda na fase de projeto, está ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Funcionamento da bancada de testes



Fonte: Autoria própria.

A bancada de testes busca garantir condições similares a todos os modelos de arma. Para isso, há um sistema de trilhos que guia o robô com uma trajetória uniforme. O robô se desloca com auxílio de um cabo de nylon, que está amarrado a um objeto de 13,6 kg de massa em uma extremidade, e permanece ligado ao próprio robô na outra. Quando o objeto deixa a posição de repouso, o robô entra em movimento.

O robô percorre uma trajetória de 60 mm até entrar em contato com o ponto de impacto. Quando o impacto ocorre, a alavanca se desloca e, simultaneamente, o marcador do goniômetro também se desloca. A alavanca, que possui comprimento de 1105 mm, conta com um sistema de travamento. Desta forma, a alavanca para completamente quando o movimento de retorno se inicia. Visto que o marcador do goniômetro segue a mesma trajetória angular da alavanca, ele tem seu movimento interrompido ao atingir a graduação máxima determinada pelo impacto do robô com o dente do alvo.

4. RESULTADOS

Um dos resultados relevantes obtidos com o estudo foi o desenvolvimento da bancada de testes para a realização dos experimentos. Uma breve explicação do processo de fabricação da bancada está detalhada na próxima seção.

A fase experimental pôde ser dividida em três seções principais: a coleta de dados após a realização do experimento, a análise dos dados coletados e o estudo sobre os indicadores de desempenho. A apresentação dos dados coletados é um pré-requisito para as etapas seguintes, portanto, será o próximo tema a ser discutido.

4.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Para fornecer uma análise precisa de cada caso, é preciso colocar em evidência as características de cada rotor. A Tabela 2 expõe as propriedades de cada modelo desenvolvido para a análise comparativa.

Tabela 2 – Propriedades das armas avaliadas

	Rotor 1	Rotor 2	Rotor 3
Massa (kg)	2,176	3,462	3,396
Momento de inércia (kg.m²)	0,00250909	0,00367082	0,00259043

Fonte: Autoria própria.

Os dados coletados através do experimento que utilizou a bancada de testes podem ser agrupados de acordo com o nível de energia utilizado no teste. É importante notar que a energia dissipada no impacto do robô com o alvo não foi obtida diretamente em Joules (J) na prática, mas sim em deslocamento angular da alavanca, ou seja, em graus (°). Por conta disso, é preciso realizar a conversão destes dados antes de efetivamente analisá-los.

A conversão de valores pode ser realizada ao analisar os próprios dados da bancada. Para isso, é preciso mensurar a distância entre o ponto de impacto e o centro da alavanca. A partir disso, podem-se utilizar relações trigonométricas para calcular o componente de altura que a alavanca alcança para cada graduação do goniômetro. Por fim, com estes dados tendo a massa que incide sobre o ponto de impacto – ou o trilho da bancada –, é possível calcular a energia necessária para deslocar o marcador entre cada graduação do goniômetro. Uma síntese dos resultados destes cálculos está distribuída na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades da bancada

PROPRIEDADES DA BANCADA	
Distâncias entre centros (mm)	1105
Massa sobre trilho (kg)	12,86
Altura / 0,5° (mm)	9,65
Energia (J) / 0,5° (aproximação)	1,2174
Energia (J) / 1° (aproximação)	2,4348

Fonte: Autoria própria.

Tendo isso em mente, podem-se avaliar os dados separadamente para cada nível de energia. Estes níveis de energia foram divididos em rodadas, uma vez que constituem tomadas de testes distintas. Posteriormente, os resultados dos testes vão ser novamente agrupados em gráficos para possibilitar a análise da evolução do desempenho de cada modelo de arma com base no aumento do nível de energia e da velocidade de rotação.

4.1.1. Rodada 1

Para alcançar os níveis de energia previstos na etapa de planejamento de testes, foi preciso encontrar as rotações correspondentes para cada modelo de arma – levando em consideração a massa e o momento de inércia dos três rotores. Estas rotações foram obtidas em Rotações por minuto (RPM), unidade que não é a reconhecida pelo Sistema Internacional de Unidades (SI) para mensurar a velocidade de rotação de um objeto. Por conta disso, foi realizada a conversão das medidas obtidas em RPM para a unidade de Radianos por segundo (Rad/s), de modo que as determinações do SI sejam respeitadas. Desta forma, na primeira rodada de testes, cuja energia foi fixada em 761 J, as configurações utilizadas estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 4 – Rotações utilizadas na primeira rodada de testes

Rodada 1 – 761 J			
	Rotor 1	Rotor 2	Rotor 3
Velocidade de rotação (RPM)	7436	6147	7325
Velocidade de rotação (Rad/s)	778,7	643,71	767,07

Fonte: Autoria própria.

Os resultados referentes à Rodada 1 para o parâmetro de “energia dissipada” estão enunciados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados obtidos na primeira rodada de testes

Rodada 1 – 761 J			
	Energia dissipada (J) – Rotor 1	Energia dissipada (J) – Rotor 2	Energia dissipada (J) – Rotor 3
Medida 1	36,1	21,8	21,8
Medida 2	39,6	26,6	18,2
Medida 3	40,8	20,6	20,6
Medida 4	31,4	20,6	17,0
Medida 5	33,7	21,8	19,4
Média	36,32	22,28	19,4

Fonte: Autoria própria.

4.1.2. Rodada 2

A segunda rodada de testes foi realizada sob a energia de 795 J. Novamente, foram realizados cinco testes com cada modelo de arma, com rotações correspondentes e individuais para cada caso. As configurações da Rodada 2 de testes, com as rotações convertidas para Rad/s, estão evidenciadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Rotações utilizadas na segunda rodada de testes

Rodada 2 – 795 J			
	Rotor 1	Rotor 2	Rotor 3
Velocidade de rotação (RPM)	7595	6286	7484
Velocidade de rotação (Rad/s)	795,35	658,27	783,72

Fonte: Autoria própria.

Os resultados referentes à Rodada 2 para o parâmetro de “energia dissipada” estão enunciados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos na segunda rodada de testes

Rodada 2 – 795 J			
	Energia dissipada (J) – Rotor 1	Energia dissipada (J) – Rotor 2	Energia dissipada (J) – Rotor 3
Medida 1	33,7	27,8	30,2
Medida 2	44,2	29,0	29,0
Medida 3	40,8	31,4	29,0
Medida 4	41,9	27,8	26,6
Medida 5	38,4	30,2	29,0
Média	39,8	29,24	28,76

Fonte: Autoria própria.

4.1.3. Rodada 3

A terceira rodada de testes foi realizada sob a energia de 831 J. Outros cinco testes foram executados com cada modelo de arma, utilizando novas rotações correspondentes e para este nível de energia. As configurações da Rodada 3 de testes, com a conversão das velocidades de rotação de cada rotor para Rad/s, estão evidenciadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Rotações utilizadas na terceira rodada de testes

Rodada 3 – 831 J			
	Rotor 1	Rotor 2	Rotor 3
Velocidade de rotação (RPM)	7770	6425	7642
Velocidade de rotação (Rad/s)	813,67	672,82	800,26

Fonte: Autoria própria.

Os resultados referentes à Rodada 3 para o parâmetro de “energia dissipada” estão enunciados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados obtidos na terceira rodada de testes

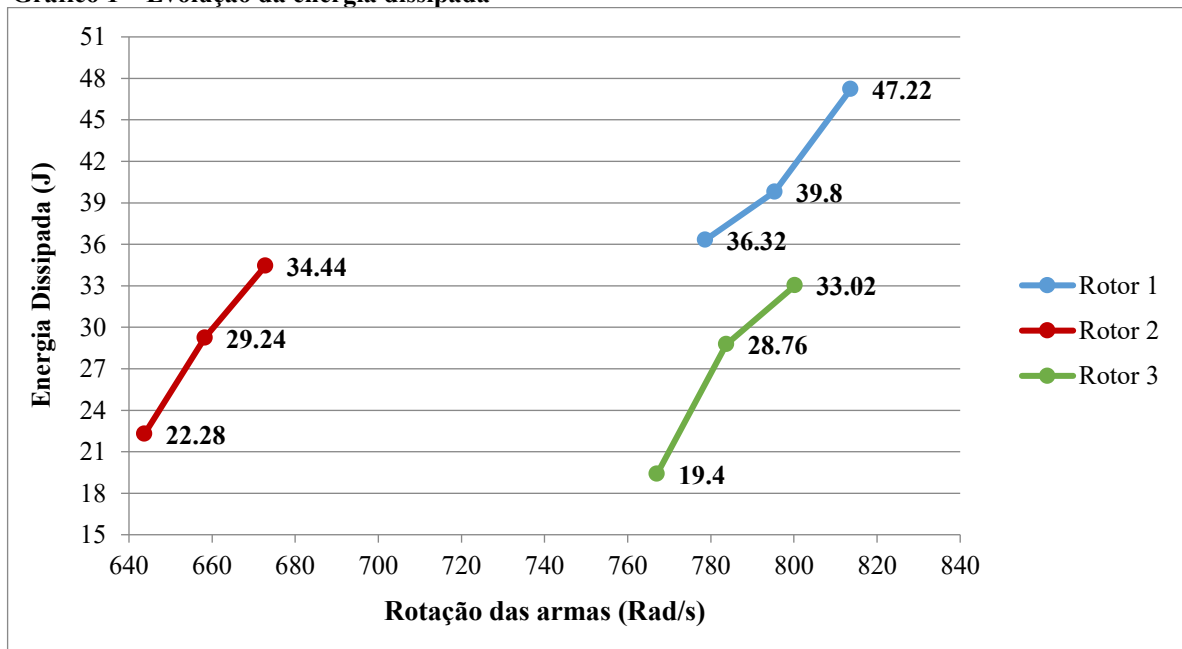
Rodada 3 – 831 J			
	Energia dissipada (J) – Rotor 1	Energia dissipada (J) – Rotor 2	Energia dissipada (J) – Rotor 3
Medida 1	50,0	31,4	34,9
Medida 2	48,8	36,1	31,4
Medida 3	44,2	34,9	31,4
Medida 4	50,0	34,9	32,5
Medida 5	43,1	34,9	34,9
Média	47,22	34,44	33,02

Fonte: Autoria própria.

4.1.4. Comparação das Rodadas de Teste

A partir dos resultados condensados em cada rodada de testes, podem-se visualizar claramente aspectos como a evolução do desempenho de cada arma com base no aumento da energia. Estes dados estão distribuídos no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Evolução da energia dissipada



Fonte: Autoria própria.

Nota-se que a progressão da energia transferida pela arma 2 foi muito mais estável em relação aos demais modelos. Por outro lado, o Rotor 1, que apresentou um melhor desempenho em relação à transferência de energia nos três níveis de energia estudados, teve uma progressão acentuada conforme a rotação crescia. O Rotor 3, contudo, não teve uma progressão satisfatória. Embora o terceiro rotor tenha aumentado o grau de energia transferida na segunda bateria de testes, este aumento não foi verificado de maneira expressiva na terceira rodada. Desta forma, eventuais escolhas do Rotor 2 ou do Rotor 3 como arma para um combate de robôs seriam muito mais embasadas pela configuração do adversário, do que no pelo próprio desempenho destes modelos de arma.

De um modo geral, pode-se declarar o Rotor 1 como o modelo que melhor atendeu às expectativas previstas no combate de robôs. Tendo em vista que esta é a arma mais capaz de transferir energia, é praticamente certo que, num combate, este modelo de arma é o que mais irá causar danos nos adversários. Além disso, a progressão do desempenho é algo fundamental para os momentos críticos de combate. Em casos onde se presume que o robô esteja em desvantagem, sabe-se que uma alternativa válida para tentar maior sucesso na luta é aumentar a rotação da arma do robô. Se o experimento indica que um melhor desempenho da arma é obtido mediante o aumento de sua velocidade de rotação, este pode ser um trunfo a ser utilizado pelos pilotos do robô.

Outro ponto interessante a ser observado no Rotor 1 é sua capacidade de aceleração. Por constituir o modelo de menor massa entre os três rotores estudados, é possível notar que este modelo de arma também terá maior aceleração que os demais – caso as condições de motor, polia e correia sejam as mesmas para os três casos. Em um combate de robôs, onde há o impacto repetitivo entre os dois combatentes, manter a arma funcionando em alta velocidade é fundamental para garantir um bom desempenho. Além disso, como os próprios experimentos mostraram, há um aumento significativo de energia transferida quando se aumenta a rotação da arma do robô. Portanto, há maior chance de sucesso no combate caso a arma se recupere mais rapidamente de um impacto e volte a girar em alta velocidade o mais rápido possível.

Por fim, ao comparar o desenvolvimento do Rotor 1 em relação ao Rotor 3, nota-se uma facilidade no processo de fabricação. Por envolver um modelo simétrico em relação ao eixo, o processo de balanceamento do Rotor 1 é muito mais simples de realizar que o processo de balanceamento do Rotor 3. Com isso, diversas características desejadas são atingidas em relação ao desempenho do robô munido do Rotor 1. São exemplos: dirigibilidade do robô, menor potencial de falha do sistema da arma, maior resposta em relação aos comandos de aceleração da arma, entre outros. Por conta deste e dos demais fatores já explicados, o Rotor 1 é certamente o que melhor atendeu às necessidades do combate em relação aos três modelos desenvolvidos.

Contudo, há de se destacar que os três modelos de arma têm capacidade de assegurar um bom desempenho no combate de robôs – basta que o piloto saiba adotar a estratégia adequada para cada modelo. A propriedade de aceleração da arma, por exemplo, deixa de ser tão influente ao notar que a arena da categoria *FeatherWeight*, vista de cima, forma um quadrado com 9 metros de lado. Com isso, após a maioria dos golpes, os robôs podem se deslocar para um espaço livre da arena com intuito de acelerar suficientemente a arma para o golpe seguinte – o que normalmente permite que os pilotos alinhem os robôs visando uma maior precisão no golpe. O que os diferencia, de fato, é a energia transferida, e por mais que outros fatores também sejam relevantes no estudo do desempenho das armas, a capacidade transferir energia é o ponto mais importante a ser avaliado.

4.2. PARÂMETRO PARA AVALIAÇÃO DAS ARMAS

A obtenção de um parâmetro confiável e que apresente uma justificativa convincente para a análise obtida através dos resultados demanda um estudo aprofundado sobre as condições específicas de cada Rotor. Para isso, é fundamental partir da própria comparação de resultados entre os três modelos de arma e utilizar ferramentas gráficas que estabeleçam a tendência entre

propriedades de massa, momento de inércia e rotação – que foram as condições variadas entre os três rotores estudados neste trabalho.

O início da construção teórica do indicador que pautará futuras seleções de armas ativas de robôs de combate partiu das próprias características das armas. Os alunos verificaram, através da própria Equação (3), que o incremento da energia da arma depende fundamentalmente do incremento da velocidade de rotação (w) e do aumento do momento de inércia (I) do rotor. Portanto, na teoria, é imprescindível amplificar ao máximo possível estes dois valores durante a elaboração de um projeto de arma de um robô de combate.

Por outro lado, como observado na etapa de testes, a massa não seguiu um padrão linear, tendo em vista que a arma de melhor desempenho foi a mais leve, seguida pela arma mais pesada e, por último, a arma com peso intermediário. Por conta disso, foi preciso estipular uma relação da variável massa com uma das outras variáveis estudadas – levando em consideração ainda que os valores de velocidade de rotação (w) e Momento de Inércia (I) precisariam ser os maiores possíveis.

Como a massa de cada rotor é um dos componentes do momento de inércia, a associação destas duas variáveis aparenta ser o caminho mais natural para a equação final buscada – visando ainda a simplificação entre os fatores de massa e momento de inércia em casos específicos. A procura pela simplificação dos fatores decorre de uma divisão simples dos termos de massa e momento de inércia. Para isso, os alunos analisaram inicialmente os valores numéricos atribuídos à massa e ao momento de inércia para os três rotores estudados no trabalho. Tendo em vista que a escolha do numerador da operação entre massa e momento de inércia não irá alterar significativamente o equacionamento do parâmetro buscado, – apenas definirá se a relação da massa e do momento de inércia com rotação será uma multiplicação ou uma divisão – optou-se por utilizar o momento de inércia como numerador. O motivo desta escolha também decorre da unidade final da divisão, definida pela análise dimensional como o m^2 - uma unidade de uso comum em diversas aplicações. Por fim, optou-se por multiplicar o resultado desta divisão por 1000 para facilitar a visualização dos dados. Os resultados das operações entre as duas variáveis estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados da divisão da massa por momento de inércia

Rotor	Massa (kg)	Momento de inércia (kg.m ²)	$\frac{\text{Momento de inércia}}{\text{Massa}} \times 1000$ (m ²)
Rotor 1	2,176	0,00250909	1,153
Rotor 2	3,462	0,00367082	1,060
Rotor 3	3,396	0,00259043	0,762

Fonte: Autoria própria.

Como definido previamente, o momento de inércia é um fator que deve ser amplificado para a obtenção dos melhores resultados. Por outro lado, também é sabido que a massa é um fator determinante para o incremento deste momento de inércia, atuando ainda na capacidade rotacional da arma – uma vez que uma arma com maior massa terá mais momento de inércia, e, portanto, maior dificuldade de aceleração. Apesar disso, verifica-se que outro fator que impacta no momento de inércia é a geometria da peça. Tendo isso em mente, a busca de uma maior eficiência da arma, como consequência do aumento do valor numérico do momento de inércia, deve ser pautada prioritariamente na alteração desta geometria ao invés do simples aumento da massa da peça.

Por conta dos aspectos avaliados até então, subentende-se que a correlação de massa e momento de inércia pode ter um ponto ótimo. No entanto, a obtenção deste ponto ótimo não será um objeto de estudo deste trabalho, tendo em vista que é fundamental realizar mais testes antes de destrinchar a equação do indicador de avaliação da arma a ser definido neste estudo. Posteriormente, caso a equação da propriedade obtida se demonstre como válida para o estudo das armas dos robôs de combate, novos estudos sobre isso poderão ser realizados.

A partir de todas as hipóteses elencadas, verifica-se que, para a obtenção de um resultado ideal, o fator de divisão entre momento de inércia e massa deve ser o maior possível – bem como a rotação da arma. Ao agrupar estes fatores em operações de multiplicação e divisão, obtém-se a Equação (7).

$$k = \frac{\text{Momento de inércia} \times 1000 \times \text{Rotação}}{\text{Massa}} \quad (7)$$

Onde k é o parâmetro de avaliação da eficiência da arma, cujo valor é diretamente proporcional à eficiência da arma.

A título de ilustração, a equação obtida mostra um cenário fidedigno aos resultados obtidos nos testes de cada rotor. O maior valor para “k” foi obtido com a rotação de teste mais alta do Rotor 1, enquanto o resultado menos satisfatório para “k” ocorreu com a menor rotação avaliada no Rotor 3. O cenário positivo na análise dos resultados dos testes, porém, não é suficiente para garantir que “k” seja um indicador confiável da eficiência da arma. É fundamental continuar os estudos com uma maior gama de armas e uma maior gama de testes para as armas já desenvolvidas.

A compilação dos resultados de “k” para os rotores que serviram como objeto de estudo deste trabalho está exposta na Tabela 11.

Tabela 11 – Valor de k para as condições dos testes

Rotor	$\frac{\text{Momento de inércia}}{\text{Massa}} \times 1000 \text{ (m}^2\text{)}$	Rotações (Rad/s)	k (m²/s)
Rotor 1	1,153	778,7	897,84
		795,35	917,04
		813,67	938,16
Rotor 2	1,060	643,71	682,33
		658,27	697,77
		672,82	713,19
Rotor 3	0,762	767,07	584,5
		783,72	597,19
		800,26	609,8

Fonte: Autoria própria.

A relação apresentada na Equação (7) pode ser ainda mais destrinchada para o caso de tambores simétricos – cuja seção do cilindro seja uniforme e desconsiderando a existência de dentes na arma, o que praticamente não ocorre na prática do combate de robôs. Sabe-se que o momento de inércia de um cilindro simétrico é calculado através da Equação (8).

$$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2) \quad (8)$$

Onde m é a massa do cilindro, R_1 é o seu raio interno e R_2 , seu raio externo.

Ao se realizar as devidas simplificações, a Equação de “k” obtida para este caso particular, transforma-se na forma disposta na Equação (9).

$$k = 500(R_1^2 + R_2^2) \times \text{Rotação} \quad (9)$$

Nota-se pela Equação (9) que o valor de “k” cresce à medida que o raio interno da peça se aproxima do raio externo. Há um ponto limitante neste sentido referente à própria resistência da peça, que deve ter espessura suficiente para aguentar os esforços decorrentes dos sucessivos golpes da arma do robô com o adversário. No entanto, isso comprova que uma alteração no momento de inércia e , conseqüentemente, no valor de “k”, pode ser realizada através da alteração da geometria da peça. Embora também haja uma alteração da massa quando há a mudança do raio interno, é importante procurar um ponto ótimo entre tais variáveis para garantir a excelência do desempenho da arma do robô.

Porém, como mencionado anteriormente, a Equação (9) dificilmente terá aplicabilidade prática, uma vez que a presença de dentes na superfície da arma é o que permite o encaixe dos golpes durante uma luta. Sendo assim, este exemplo apenas ilustra a influência da massa e da geometria da peça no cálculo de “k”. Além disso, ao utilizar *softwares* de modelagem 3D, a obtenção do valor numérico para os fatores de massa e momento de inércia torna-se simples e rápida. Com isso, a substituição de tais valores na Equação (7) é um processo até mais simples que o uso de equações simplificadas, que demandam casos ideais de simetria para sua aplicação correta.

4.2.1. Relevância Estatística e Regressão

Antes de iniciar a análise de relevância estatística e regressão, é importante observar a evolução dos valores obtidos para “k” com a energia dissipada nos experimentos práticos do trabalho, de modo a criar uma tendência. A Tabela 12 apresenta esta relação.

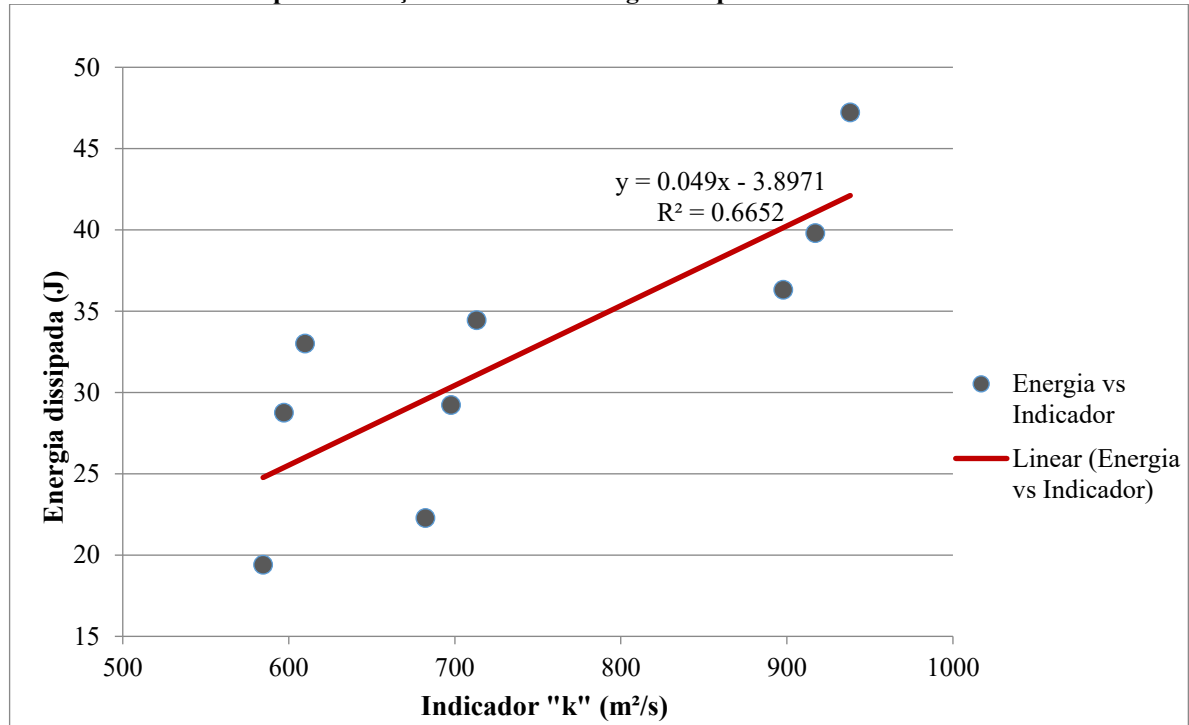
Tabela 12 – Evolução de “k” e energia dissipada

Rotor	k (m²/s)	Energia dissipada (J)
Rotor 1	897,84	36,32
Rotor 1	917,04	39,8
Rotor 1	938,16	47,22
Rotor 2	682,33	22,28
Rotor 2	697,77	29,24
Rotor 2	713,19	34,44
Rotor 3	584,5	19,4
Rotor 3	597,19	28,76
Rotor 3	609,8	33,02

Fonte: Autoria própria.

A tendência, por outro lado, é mais bem ilustrada através da compilação dos resultados em um gráfico. Por conta disso, foi traçado o Gráfico 2, que já contém uma linha de tendência elaborada a partir dos resultados dos testes.

Gráfico 2 – Tendência para a relação entre “k” e energia dissipada



Fonte: Autoria própria.

Para avaliar a relevância e a confiabilidade da solução obtida, é importante recorrer a referências estatísticas que consigam quantificar algumas particularidades do equacionamento e de suas variáveis constituintes. Por conta disso, optou-se por analisar os dados de relevância estatística e coeficiente de correlação sobre as propriedades anteriormente avaliadas.

No caso específico deste trabalho, a avaliação da progressão do valor de “k”, que contém as variáveis de massa, momento de inércia e rotação de cada arma nos testes, é realizada com relação à energia dissipada, uma vez que o valor de “k” precisa indicar uma maior dissipação de energia no golpe e, conseqüentemente, o maior impacto da arma com o alvo. Desta forma, utilizou-se o *software* Microsoft Excel para a obtenção do valor de “p”. Para o teste de descrito neste trabalho, optou-se por utilizar um coeficiente de significância (α) de 0,05. Com isso estabelecido, o valor calculado para “p” foi de 0,007367, fato que indica que há significância estatística na relação entre as variáveis de “k” e a energia dissipada.

Através do coeficiente de determinação (R^2), busca-se verificar qual o percentual das variações do eixo y – no caso do estudo, a variável de energia dissipada – pode ser explicado através do modelo de regressão. Além disso, a obtenção do R^2 permite o cálculo imediato de R,

que mostra se há uma tendência de crescimento do parâmetro energia dissipada caso haja um aumento no indicador “k”. Novamente, com auxílio do Microsoft Excel, verificou-se que o coeficiente de determinação da medida de energia dissipada foi de $R^2 = 0,6652$, indicando que 66,52% das variações de energia são justificadas através do modelo de regressão.

Na sequência, a extração da raiz quadrada de R^2 resulta no valor de $R = 0,8155$. Por ser positivo, observa-se que a evolução da energia dissipada é diretamente proporcional à evolução do indicador “k”. Isso já foi observado no próprio Gráfico 2, que apresenta a tendência linear entre os pontos de energia dissipada e o indicador “k”, mas o cálculo de R também permite que haja uma confirmação de que tais parâmetros têm uma correlação forte e devem ser avaliados em conjunto. Uma síntese dos resultados estatísticos obtidos nesta seção, juntamente de comentários sobre suas respectivas avaliações, está apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Síntese dos resultados verificados através dos modelos de regressão

Parâmetro	Valor	Comentário
p	0,007367	Há significância estatística na relação entre “k” e energia dissipada
R^2	0,6652	66,52% das variações de energia são justificadas através do modelo de regressão
R	0,8155	O valor de R positivo indica que a evolução da energia dissipada tem correlação forte com a evolução de “k”

Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÃO

Ainda que as batalhas de robôs tenham experimentado um rápido crescimento nas últimas décadas, foi observado que existem poucos sistemas ou parâmetros capazes de quantificar o desempenho dos robôs de combate. Através das pesquisas de literatura para o trabalho, foi possível verificar que os estudos utilizados na área nem sempre levam em consideração as particularidades do combate de robôs, fato que gera uma oportunidade de estudos mais direcionada a este segmento. Por conta disso, o presente estudo pode estimular outros estudantes universitários a produzirem pesquisas mais centralizadas para os casos observados no combate de robôs, ampliando as literaturas disponíveis para o campo de estudos e possibilitando que este “passatempo” constitua uma importante fonte de estudos para os alunos de Engenharia.

O desenvolvimento da bancada de testes também foi fundamental para a equipe de robótica DotBotz, uma vez que este protótipo constitui o primeiro sistema de testes padronizados construído pelos estudantes do projeto de extensão. De um modo geral, a fase de projeto foi capaz de identificar adequadamente os requisitos necessários para a execução dos testes, visto que o objetivo de executar testes padronizados para a coleta de dados do trabalho foi atendido. Além disso, a utilização da bancada foi imprescindível para a realização dos testes previamente planejados, pois caso este sistema não tivesse sido aplicado no trabalho, toda a etapa de análise experimental das armas seria impossibilitada. Contudo, há de se destacar que a bancada pode passar por ainda mais melhorias, e se estes pontos de melhoria forem colocados em prática, futuras utilizações do mecanismo de testes podem ser ainda mais eficientes e relevantes para a melhoria dos robôs fabricados pela equipe de robótica.

Dentre os três modelos de arma avaliados no experimento, o Rotor 1, de menor massa e menor momento de inércia, foi o que apresentou melhor desempenho, tendo em vista que este rotor foi o que mais transferiu energia para o alvo situado no ponto de impacto da bancada. Além disso, a progressão de desempenho do Rotor 1 foi mais acentuada em relação às outras duas armas avaliadas no experimento, fato que mostra que em rotações ainda maiores, o desempenho desta arma pode vir a ser ainda melhor. Outro ponto forte do Rotor 1 é a capacidade de aceleração da arma, que por ter menor massa, é muito maior em relação aos outros dois modelos, garantindo uma vantagem significativa no combate.

O modelo que apresentou desempenho intermediário foi o Rotor 2, de maior massa e maior momento de inércia entre os três avaliados. Nota-se, portanto, que o desempenho da arma do robô não está limitado apenas à variação da massa da peça – é fundamental avaliar ainda aspectos de simetria e a própria configuração de dentes do robô. O Rotor 2, que operou em

rotações mais baixas em relação aos outros dois modelos, apresentou evolução de desempenho mais estável em relação às outras armas. Contudo, como o Rotor 2 tem menor capacidade de transferência de energia e maior tempo de aceleração da arma em relação ao Rotor 1, sua atuação no combate deve estar alinhada com a estratégia desenhada pelos pilotos.

O Rotor 3, com massa e momento de inércia intermediários em relação aos outros dois modelos que compuseram o estudo, apresentou o pior desempenho entre as armas avaliadas no trabalho. Além disso, a evolução de desempenho desta arma não apresentou comportamento constante, tendo uma variação acentuada na transição do primeiro nível de energia para o segundo nível de energia, e uma variação reduzida na transição do segundo nível para o terceiro nível. Há de se destacar ainda que o processo de fabricação do Rotor 3 foi prejudicado pela falta de precisão no balanceamento da ponta do eixo, uma vez que os lados do Rotor não são simétricos pelo fato de a arma possuir apenas um dente. Caso um processo de balanceamento mais preciso seja aplicado, o desempenho deste modelo pode vir a melhorar, e novos estudos podem surgir a partir disso.

Ao fim do trabalho, o objetivo de desenvolver um parâmetro capaz de quantificar o desempenho da arma de um robô foi atendido com a Equação (7), do parâmetro “k” – constituído pelas variáveis de massa, momento de inércia e rotação. Embora este parâmetro tenha atendido aos resultados dos testes realizados para a obtenção de resultados deste trabalho, é fundamental realizar novas baterias de testes, ampliando as faixas de energia ao mesmo tempo em que são avaliadas armas de diferentes configurações, para verificar se o equacionamento desenvolvido atende a múltiplos casos. Sendo assim, é imprescindível que os estudos sobre o desempenho de armas rotativas sejam contínuos e consigam abranger ainda mais categorias de peso do combate de robôs, tendo em vista que o parâmetro formulado foi validado apenas para a categoria *FeatherWeight*.

Outro ponto importante a ser destacado é o fato de existir significância estatística entre a variação do parâmetro “k” e de energia dissipada, mostrando que caso o parâmetro não forneça a solução ideal para todos os casos de estudo, é um ponto de partida para o desenvolvimento de outros possíveis parâmetros. Além disso, outros estudos sobre o modelo de regressão da tendência obtida mostram que o modelo de regressão consegue explicar uma maioria significativa dos valores, e que há uma correlação forte entre o parâmetro “k” e os valores de energia dissipada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, Joshua H.; KUZMAN, Caleb; LEIBRANDT, Andrew. **BattleBot: Project Design Report**. 2009.

AHLUWALIA, Preet. **2013 UC Battlebot Team: Weapon Design**. 2013. University of Cincinnati. College of Engineering and Applied Science.

ALBERTAZZI, Armando. SOUSA, André Roberto. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. São Paulo: Manole, 2008.

ALTAFINI, Djulio Maronez et al. Estudo de indicadores de desempenho para máquinas CNC em um ambiente de ferramentaria. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STO_091_616_13525.pdf> Acesso em: 26 abr. 2019.

ASIMOV, Isaac. **Eu, robô**. 2. ed. Tradução: Luiz Horácio da Matta. 1969.

BACK, Nelson et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Volume 1, Barueri: Manole, 2007.

BARNHORST, Jake. **2008 CAS BattleBot**. 2008. University of Cincinnati. College of Engineering and Applied Science.

BATISTA, Bruna Danielle; GOMES, Glayce Kelly; BALTAZAR, Aline Vieira. **A árvore de falhas (FTA) como ferramenta para o alcance da excelência no processo de fornecimento de água quente por aquecedores solares**. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves, 2012.

BORGES, Julia Garaldi; CARVALHO, Marly Monteiro de. Sistemas de indicadores de desempenho em projetos. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 2, n. 1, p. 174-207, 2011.

BRANDÃO, Hugo Pena; GUIMARÃES, Tomás de Aquino. Gestão de competências e gestão de desempenho: tecnologias distintas ou instrumentos de um mesmo construto?. **Revista de Administração de empresas**, v. 41, n. 1, p. 8-15, 2001.

BUDYNAS, Richard; NISBETH, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. 8ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 6ed. Editora Saraiva, 2010.

CATES, Brenton et al. **2016 UC battlebot team**. 2016. University of Cincinnati. College of Engineering and Applied Science.

CHEIN, Flávia. **Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas**. Brasília, Enap: 2019.

- COSTA, Adilson Rodrigues et al. Desenvolvimento de modelo de seleção de materiais metálicos aplicando uma abordagem logística – o caso de empresas do setor minerometalúrgico. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 2, p. 225-231, abr.jun. 2012.
- COSTA, Antônio Marcos Andrade da; OLIVEIRA, Alice Miranda de; PETTO, Jefferson. Você entende o valor de P?. **Fisioterapia Brasil**, v. 20, n. 4, p. 460-461, 2019.
- CRAIG, John J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. 3ed. Prentice Hall, 2005.
- CREED, Wesley. **2014 UC Battlebot Team: Weapon Design**. 2014. University of Cincinnati. College of Engineering and Applied Science.
- CUNHA, Gilberto Dias. A evolução dos modos de gestão do desenvolvimento de produtos. **Produto & Produção**, v. 9, n. 2, 2008.
- DA SILVA, Douglas Aparecido Veloso; GOMES, Maria Helena Scalabrin Cardoso. Métodos De Avaliação De Desempenho Utilizados Pelas Quatro Maiores Instituições Financeiras Do País. **Revista Eletrônica Gestão e Negócios**, v. 1, 2016. Disponível em: < <http://s3.uninove.br/app/uploads/2016/12/08102034/1481210434-Douglas-Veloso.pdf> >.
- DONG, Janet; DAVE, Janak. Design-Build-Test-Compete A BattleBot. In: **American Society for Engineering Education**. American Society for Engineering Education, 2009.
- DONG, Janet; DAVE, Janak. Using simplex problem solving process to improve team project performance. In: **Proceedings of International Conference on Engineering and Technology Education**. 2014. p. 37-41.
- GURSTELLE, William. **Building Bots: Designing and Building Warrior Robots**. Chicago Review Press, 2002.
- HIBBELER, Russell C. **Dinâmica: mecânica para engenharia**. Pearson Education do Brasil, 2005.
- HIRAKATA, Vânia Naomi; VANCUSO, Aline Castello Branco; CASTRO, Stela Maris de Jesus. Teste de hipóteses: perguntas que você sempre quis fazer, mas nunca teve coragem. Teste de hipóteses: perguntas que você sempre quis fazer, mas nunca teve coragem. **Clinical & Biomedical Research**, v. 39, n. 2, 2019, p. 181-185.
- HOCKSTEIN, Neil et al. **A history of robots: from science fiction to surgical robotics**. 2007. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4247417/> >. Acesso em: 06 jun. 2019.
- HOUAISS, Antônio. Dicionário Houaiss eletrônico, versão 3.0. **Rio de Janeiro: Instituto Antônio Houaiss e Editora Objetiva Ltda**, 2009.
- HUNT, V. Daniel. **Understanding Robotics**. Academic Press, 2012.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10218: Manipulating Industrial Robots – Safety**. ISO Publications, France, 2006.

JÚNIOR, José Celso Pereira Cardoso. Indicadores: Orientações Básicas Aplicadas à Gestão Pública Brasília: Ministério do Planejamento. **Orçamento e Gestão**, 2012.

LEVIN, Jack; FOX, James A.; FORDE, David R. **Elementary statistics in social research**. 12 ed. Pearson Education, 2014.

LEITE, Daniel Saraiva; RINO, Lucia Helena Machado. Análise de Significância Estatística na Comparação entre Sistemas de Sumarização Automática. **Série de Relatórios do Núcleo Interinstitucional de Lingüística Computacional NILCICMC-USP**, São Carlos, 2009.

MAIA, Deborah Vieira de Alencar. **Automação Industrial e Robótica**. 2003. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/> >. Acesso em: 06 jun. 2019.

MATARIC, Maja J. **The Robotics Primer**. The MIT Press, 2007.

MCCOMB, Gordon. **The robot builder's bonanza**. McGraw-Hill, Inc., 2002.

MEGGIOLARO, Marco Antonio et al. **RioBotz Combobot Tutorial**. Rio de Janeiro, 2009. 367 p.

MELLO, Marconi Silva Vaz de. **Análise de desempenho e melhorias em robô manipulador**. 2016. xv, 101 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MILES, Pete. CARROLL, Tom. **Build your own combat robot**. 1ed. McGraw-Hill Professional, 2002.

MITTAL, R. K.; NAGGRATH, I. J. **Robotics and Control**. 4ed. McGraw-Hill India, 2013.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

NILSSON, Nils J. **Shakey the Robot: Technical Note 323**. Artificial Intelligence Center: Computer Science and Technology Division. 1984.

NORTON, Robert. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica, 1: mecânica**. 4ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002.

DE OLIVEIRA, Hélder Filipe Pinto. **Análise do desempenho e da dinâmica de robôs omnidireccionais de três e quatro rodas**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2007.

OLIVEIRA FILHO, Miguel Lopes de. A utilização da regressão linear como ferramenta estratégica para a projeção dos custos produção. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2002.

PAHL, Gerhard et al. **Projeto na engenharia**. 6ed. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

PIMENTEL, Renê. Dilema entre Liquidez e Rentabilidade: um Estudo Empírico em Empresas Brasileiras. In: ENCONTRO DA ANPAD, 32., 2008, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Maringá: ANPAD, 2008. Disponível em: <
<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/CON-A598.pdf> > Acesso em: 02 mai. 2019.

PSCHEIDT, Élio Rubens. **Robô Autônomo – Modelo Chão de Fábrica**. 2007. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) – Núcleo De Ciências Exatas E Tecnológicas - Centro Universitário Positivo, Curitiba, 2007.

RAMOS, João Luiz; MEGGIOLARO, Marco Antônio. Drum Shape Design and Optimization Using Genetic Algorithms. In: **RoboGames 2012 Symposium**, 2012, San Mateo, CA. Anais do RoboGames 2012 Symposium, 2012.

RODRIGUES, Sandra Cristina Antunes. **Modelo de regressão linear e suas aplicações**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior.

ROBOCORE. **Regras Combate**. 2019. Disponível em: <
http://www.robocore.net/upload/attachments/robocore__regras_combate_164.pdf >. Acesso em: 8 jun 2019.

RODRIGUES, Zulimar Márita Ribeiro. **Sistema de Indicadores e desigualdade socioambiental intraurbana de São Luis-MA**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ROSENFELD, Henrique et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**, 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2006

RUSSELL, Stuart. NORVIG, Peter. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 3ed. Prentice Hall, 2009.

SAMPAIO, Nilo de A.; LEONI, Roberto Campos. Utilização dos testes de hipóteses para a média na tomada de decisão. **Associação Educacional Dom Bosco**, v. 53, n. 9, p. 1-8, 2015.

SANTOS, Vítor. **Robótica Industrial**. Universidade de Aveiro, 2003-2004.

SÃO PAULO. Subprocuradoria-geral de Justiça de Planejamento Institucional. Ministério Público do Estado de São Paulo. **Manual de indicadores de desempenho**. São Paulo: MPSP, 2017.

SEIFFERT, Andreia. Os robôs de Asimov e o futuro da humanidade. **Revista Eletrônica da ANPHLAC**, São Paulo, n. 24, jan-jun. 2018. Disponível em: <
<http://revistas.fflch.usp.br/anphlac/article/download/2877/2544> > Acesso em: 06 jun. 2019.

SELL, Isair. Utilização da regressão linear como ferramenta de decisão na gestão de custos. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2005.

SILVA, Adriano da et al. **Robótica na Indústria Atual**. Associação Educacional Dom Bosco, Resende, 2015.

SILVA, Diego Maicon. **Thaler - Um Protótipo De Robô Investidor Utilizando Análise Técnica E Máquinas De Vetores De Suporte**. 2018. 116 f. TCC (Graduação em Ciência da Computação) – Instituto Federal de Minas Gerais – Formiga, 2018.

SOUTH, Ryan; BURDEN, Carson. **2018 UC BattleBot Team 60 lb Competition**. 2018. University of Cincinnati. College of Engineering and Applied Science.

SZABO II, Andrew et al. **Autonomous Combat Robot**. 2019. Williams Honors College, Honors Research Projects.

VALÉRIO, Roberto. GARCIA, Marcus Valério Rocha. O futuro da robótica. **Anais do VI Seminário Multidisciplinar ENIAC 2014**. v. 1, n. 6. p. 148-156.

VICTOR, Elivane da Silva; PAES, Ângela Tavares. Reflexões Sobre a Importância do Valor p–parte 1. **Einstein: Educ Contin Saúde**, v. 8, n. 3, p. 109-110, 2010.