

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - CAMPUS AVANÇADO ARCOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Eduardo Cambraia Viglione Nascimento

Raul Victor Alves

**PROJETO DE BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
EM ROLAMENTOS COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE
DEGRADAÇÃO**

ARCOS

2022

EDUARDO CAMBRAIA VIGLIONE NASCIMENTO
RAUL VICTOR ALVES

**PROJETO DE BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM
ROLAMENTOS COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DEGRADAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica
do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus
Avançado Arcos para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Marcos Paulo Gonçalves
Pedroso.

ARCOS
2022

Catalogação na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Avançado Arcos

N244p Nascimento, Eduardo Cambraia Viglione.
2022 Projeto de bancada didática para análise de
vibração em rolamentos com diferentes condições
de degradação / Eduardo Cambraia Viglione
Nascimento, Raul Victor Alves - Arcos, 2022.
39 f. : il. color.

Orientador: Marcos Paulo Gonçalves Pedroso.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação
em Engenharia Mecânica.) - Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
- Campus Avançado Arcos.

1. Manutenção preditiva (*Arduino*). I. Pedroso,
Marcos Paulo Gonçalves (orientador). III. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos. IV.
Título.

CDD: 001.6404

Elaborada por Meriely Ferreira de Almeida- CRB-6/2960



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**

Campus Avançado Arcos

Diretoria de Ensino

Docentes Área Técnica

Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG
3733515173 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DO TCC

Aos vinte e cinco dias do mês de novembro de dois mil e vinte e dois, às 14:30, se reuniu a banca composta pelo **Prof. Dr. Marcos Paulo Gonçalves Pedroso** (orientador), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; **Prof. Me. Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana**, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; **Prof. Me. Maurício Lourenço Jorge**, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; para avaliar o trabalho intitulado “**PROJETO DE BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM ROLAMENTOS COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DEGRADAÇÃO**”, apresentado pelos alunos **Eduardo Cambraia Viglione Nascimento** e **Raul Victor Alves**, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico. Após apresentação e arguição, emitiu-se o parecer “**APROVADO**”, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. Para fins de registro na disciplina Trabalho Acadêmico Integrador X, a banca avaliadora emite, em consenso, o conceito final 75. Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às quinze horas e quarenta e cinco minutos e eu, Marcos Paulo Gonçalves Pedroso, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 07 de dezembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Lourenco Jorge, Professor**, em 07/12/2022, às 17:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Paulo Gonçalves Pedroso, Professor**, em 08/12/2022, às 14:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, Professor**, em 08/12/2022, às 14:52, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1399874** e o código CRC **DED9EB93**.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, que nos deu saúde e forças para superar todos os momentos difíceis que deparamos ao longo da graduação, aos nossos pais e familiares que sempre estiveram do nosso lado e acreditaram em nós, sempre dando todo o suporte para alcançarmos nossos sonhos.

Aos amigos que conquistamos no período da graduação, pelo incentivo e ajuda nas atividades realizadas. Por partilharmos risadas nos momentos mais difíceis, e que sem dúvida contribuíram para a nossa formação acadêmica e profissional.

Agradecemos também ao nosso orientador Marcos Paulo Gonçalves Pedroso, que deu todo o suporte, atenção e confiança para que esse trabalho fosse concluído.

E por fim todo o pessoal que contribuiu de alguma forma para a realização do trabalho de conclusão de curso.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. A maneira certa de ter sucesso é tentar apenas mais uma vez.”

Autor, Thomas Edison

RESUMO

Com o mercado cada vez mais competitivo, os futuros engenheiros necessitam sair mais capacitados das universidades, entendendo mais das funções que poderão atuar nas empresas. As mesmas buscam maior produtividade dos ativos, e a melhor maneira de controlar a disponibilidade dos equipamentos é através da manutenção preditiva. Sendo a implantação de sensores que captam sinais em tempo real, a maneira mais comum de realizar tal atividade, com esses dados é possível prever e analisar a vida útil de rolamentos de motores e afins, planejando as manutenções para que se tenha a menor perda possível. Nesse sentido, projetou-se um sistema em bancada de testes, onde os dados serão coletados através do *Arduino* e sensor acelerômetro, para visualização de vibrações dos rolamentos de prova.

Palavras-chave: Produtividade; Manutenção preditiva; Análise de vibrações; *Arduino*.

ABSTRACT

With the increasingly competitive market, future engineers need to leave universities more qualified, understanding more of the functions that they will be able to perform in companies. They seek greater asset productivity, and the best way to control equipment availability is through predictive maintenance. Since the implementation of sensors that capture signals in real time is the most common way to carry out such an activity, with this data it is possible to predict and analyze the useful life of motor bearings and the like, planning maintenance so that there is the lowest possible loss. In this sense, a test bench system was designed, where data will be collected through the Arduino and accelerometer sensor, to visualize the vibrations of the test bearings.

Keywords: Productivity; Predictive maintenance; Vibration analysis; Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de falhas x tempo	11
Figura 2 - <i>Arduino Uno</i>	13
Figura 3 - Exemplo de Rolamento de Esferas	15
Figura 4 - Exemplo de Rolamento de Rolos.....	15
Figura 5 - Exemplo de Rolamento de Engenharia.....	16
Figura 6 - Exemplo de Rolamento de Leva.....	16
Figura 7 - Exemplo de Rolamento de Super Precisão	17
Figura 8 - Exemplo de Rótulas	17
Figura 9 - Exemplo de Unidade de Rolamentos	18
Figura 10 - Pista interna de rolamento danificado.....	19
Figura 11 - Rolamento 6203	21
Figura 12 - Rolamento 6203 dimensões	21
Figura 13 - Mancal SY 503 M	22
Figura 14 - Acoplamento	23
Figura 15 - Eixo	23
Figura 16 - Motor DC 6V	24
Figura 17 - Fonte de bancada	24
Figura 18 - Arduino com ligação de Acelerômetro	25
Figura 19 - Fluxograma das ações realizadas no código	26
Figura 20 - Desenho Bancada.....	28
Figura 21 - Desenho Renderizado	29
Figura 22 – Montagem do protótipo.....	30
Figura 23 - Resultado gráfico do teste.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo bancada de teste	29
Tabela 2 - Custo do equipamento para análise de vibração.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Justificativa	8
1.2	Objetivos	8
1.2.1	Objetivo geral	8
1.2.2	Objetivos específicos	8
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1	Manutenção.....	9
2.1.1	Manutenção corretiva	9
2.1.2	Manutenção preventiva.....	9
2.1.3	Manutenção preditiva	10
2.2	Análise de vibrações	11
2.3	Equipamentos e sensores	12
2.4	Normas de vibração	13
2.5	Rolamentos.....	14
2.5.1	Tipos de rolamentos	14
2.5.2	Vida útil dos rolamentos	18
3	METODOLOGIA	20
3.1	Escolha dos rolamentos.....	20
3.2	Mancal.....	21
3.3	Acoplamento	22
3.4	Eixo	23
3.5	Motor	23
3.6	Fonte DC	24
3.7	Coleta de dados.....	25
3.8	Método de ensaio	26
3.9	Realização do ensaio.....	26
4	RESULTADOS.....	28
4.1	Projeto	28
4.2	Ligação dos componentes elétricos	30
4.3	Programação.....	31
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

APÊNDICE A – Vistas da bancada.....	35
APÊNDICE B – Códigos da programação	36
APÊNDICE C – Esquema de ligação dos componentes da bancada	39

1 INTRODUÇÃO

A manutenção já passou por grandes mudanças durante sua história, de acordo com Moraes (2004), a evolução da manutenção passa por três gerações. A primeira geração de 1930 a 1940, na qual baseava-se apenas na manutenção reativa, no reparo após a falha, denominando-se manutenções corretivas. A segunda, de 1940 a 1970, já se inicia a era das manutenções proativas, visando o aumento da vida útil e da disponibilidade dos equipamentos, após a implementação da manutenção planejada, denominando-se manutenções preventivas. Por fim, a terceira geração a partir de 1970, aumentou significativamente a disponibilidade e confiabilidade, com adoção de equipamentos de análise de condição e risco de falha, iniciando a manutenção preditiva.

A necessidade da manutenção preditiva surgiu devido a dois principais motivos, custo elevado por troca de peças desnecessárias e a necessidade do monitoramento dos ativos em tempo real, de tal forma que as paradas fossem realizadas apenas quando surgia a necessidade.

Dentre as manutenções preventivas e preditivas, não há uma melhor, mas a que mais se enquadra a cada situação. Para este estudo adotou-se a manutenção preditiva pela necessidade de monitoramento dos ativos em funcionamento.

Dentro da manutenção preditiva o ensaio de vibrações tem grande utilização, de acordo com Moro e Auras (2007), o acompanhamento e análise de vibrações são um dos mais importantes métodos de predição em vários tipos de indústria. Sendo a ênfase em equipamentos rotativos, mas também aplicável a muitos outros (asa de avião, molas de vagão de trem, estrutura sujeita à ação do vento, etc.).

As vibrações são movimentos que se repetem dado um intervalo de tempo, as primeiras a serem observadas foram em cordas e pêndulos. A teoria de vibração estuda os movimentos oscilatórios de corpos, ou, sistemas de corpos e as forças ligadas a eles, através da quantificação e análise dos fenômenos da vibração. A partir deles é possível a extração de informações relevantes que podem ser utilizadas em diversas áreas, uma delas a manutenção (RAO, 2008).

Essa análise tem como principal função evitar a falha do componente, de acordo com a ABNT (1994), falha é o evento no qual interrompe o funcionamento do equipamento. Na indústria deve se evitá-la, pois com ela vem despesas onerosas, além de comprometer a produtividade.

Com a elaboração desse projeto os futuros profissionais poderão sair mais preparados, pois conseguirão alinhar a teoria aprendida com a visualização na prática através da bancada de testes desenvolvida.

1.1 Justificativa

Com a evolução dos equipamentos industriais, uma gama de tecnologias está sendo implementada. Acompanhando as novas tecnologias surge a necessidade de uma manutenção ativa que prevê as falhas, melhorando a disponibilidade, confiabilidade e produtividade dos equipamentos.

Isso ocorre pela coleta e análise de dados contínua, prevendo as falhas, estimando a vida útil dos ativos e realizando as manutenções de forma programada, tendo menor custo atrelado às manutenções.

Para que isso ocorra são necessário profissionais capacitados, com experiência prática na área da manutenção preditiva, que, se adquirida durante a formação do profissional, será de grande aplicabilidade na indústria. Dessa forma, o trabalho visa o desenvolvimento de uma bancada de teste de baixo custo, com finalidade de utilização no *campus*.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um projeto de bancada didática para análise de vibração em rolamentos, tendo baixo custo usando equipamentos simplificados como *Arduino* e um sensor acelerômetro.

1.2.2 Objetivos específicos

- Selecionar os componentes comerciais para o projeto;
- Desenvolver códigos que façam a comunicação dos componentes eletrônicos, capture os dados gerados pela vibração dos rolamentos e os retorne graficamente;
- Desenhar a bancada de testes em *software 3D*;
- Desenvolver um projeto elétrico que demonstre as ligações dos componentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Manutenção

Segundo Cabral (2006) o termo manutenção engloba o conjunto de ações conduzidas com o objetivo de assegurar o correto funcionamento de equipamentos e instalações, procurando evitar e diminuir o rendimento ou sua funcionalidade. Sendo assim, se tal acontecer, garantindo que sejam rapidamente repostas as boas condições de operacionalidade. A Norma EN 13306:2010 (ed.2), citada por Trojan (2013, p.4), diz que a manutenção combina ações técnicas, administrativas e gestão para manter um bem em pleno funcionamento durante toda sua vida, executando o papel que lhe é requerido.

Para Nepomuceno (1989, p.15-16) a finalidade essencial da manutenção é conservar os equipamentos e máquinas em condições satisfatórias de operação, e as suas atividades cobrem uma faixa bastante ampla de funções sendo que todo equipamento apresenta desgaste, e tal desgaste leva, repetidamente, ao rompimento ou quebra de um ou mais componentes.

2.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva foi uma das primeiras formas de manutenção a existir. Seu próprio nome já diz, o intuito é corrigir algum problema que já aconteceu, e fazer com que o equipamento volte ao seu funcionamento com eficiência máxima. Segundo Stephens (2010 apud TROJAN, 2013, p.7) , na maior parte das vezes as falhas acontecem em períodos inoportunos, causando paradas longas da produção, com o intuito de reparar sem nenhum planejamento pré-definido do equipamento.

Para Santos (2007, p.13) a manutenção corretiva foi a primeira a ser criada, na época em que os mecânicos apenas consertavam o que estava quebrado, não se preocupando com as causas ou efeitos que resultam em defeitos.

2.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é ordenada por critérios pré-determinados, seu principal objetivo é reduzir a probabilidade de ocorrência de avarias, sendo assim garantindo que os equipamentos funcionem de maneira segura e eficiente. Para Trojan (2013) manutenção preventiva são todos os procedimentos e formas, de se evitar ou reduzir o acontecimento de falhas em equipamentos, com base em um planejamento preliminarmente feito considerando o tempo médio.

É aquela em que o mecânico deve antecipar a vida útil do equipamento, sendo que para esse tipo de manutenção exige-se do mecânico uma intuição e um conhecimento técnico melhor, então mecânicos deixam de ser comuns e passam a ser profissionais qualificados (SANTOS 2007 p.14).

Segundo Rodrigues (2009, p.19) esse tipo de manutenção é a ação realizada de forma para evitar a falha ou quebra que atrapalham no desempenho das máquinas, sendo assim sujeitando-se a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo pelo fabricante.

2.1.3 Manutenção preditiva

Para Trojan (2013) a manutenção preditiva é um programa de manutenção preventiva, porém funcionando com base na análise do equipamento e suas condições de funcionamento, diferente de considerar tempo médio. Com o acompanhamento feito pelo programa de manutenção é possível maximizar a eficiência do equipamento, e possibilita indicar o tempo real até a parada ou perda de eficiência do mesmo. Sendo assim ela utiliza a análise de vibrações, termografia, ferrografia, análise de óleo entre outros, sendo capaz de registrar diferentes fenômenos como: vibração das máquinas, pressão, temperatura, desempenho e aceleração. Realizando uma avaliação segura das condições de funcionamento dos equipamentos, possibilitando saber quais são as falhas nas máquinas e seguir suas evoluções.

Rodrigues (2009, p.21) ressalta que o grande trunfo da utilização da manutenção preditiva é o fato de não necessitar parar o processo produtivo para ser realizada. Para aplicação do monitoramento se faz necessário que os sistemas estejam em pleno funcionamento, sendo que a mesma pode ser definida para ele como a atuação realizada com base em modificação dos princípios de condições ou desempenho, prevendo quando acontecerão determinadas falhas.

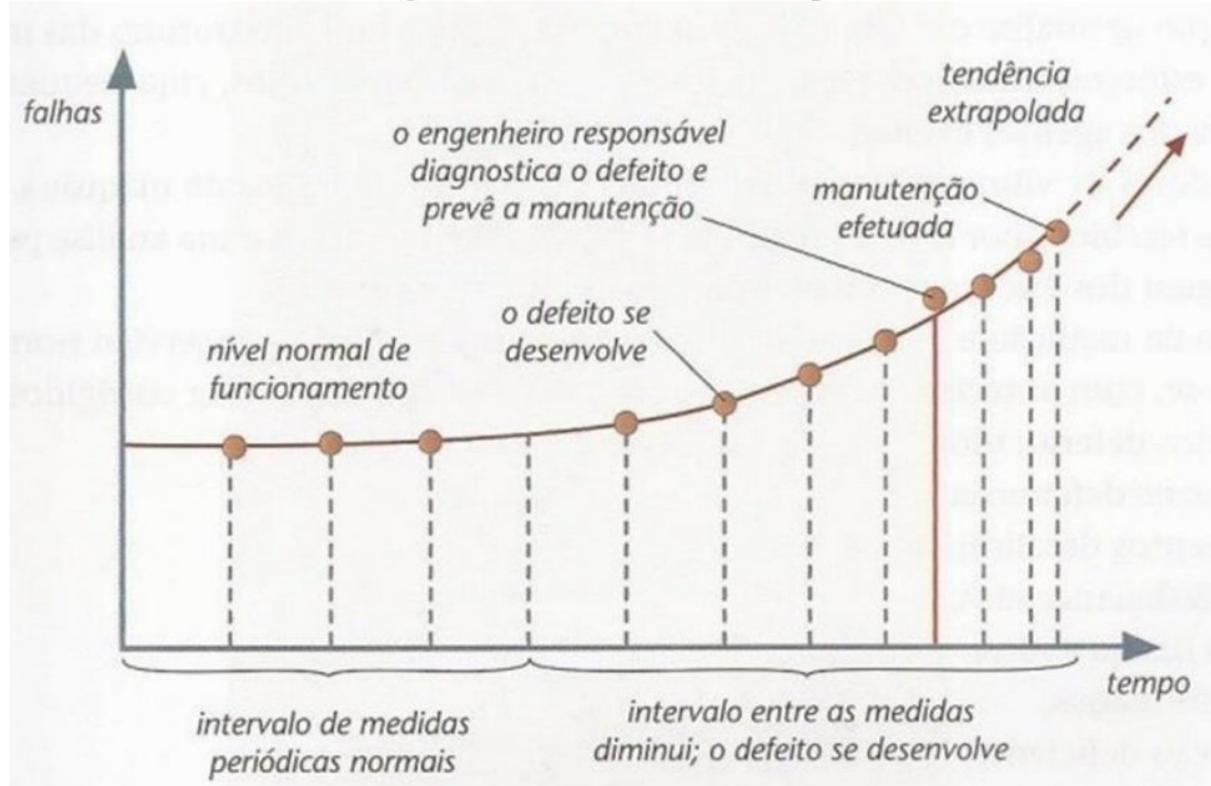
Weber et al., (2009, p.43) destaca os objetivos da manutenção preditiva, que são:

- Determinar, antecipadamente, a necessidade de serviço de manutenção numa peça específica de um equipamento;
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos;
- Reduzir o trabalho de emergência não planejado;
- Impedir o aumento de falhas;
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;

- Aumentar o grau de confiança no desempenho de um equipamento ou linha de produção;
- Determinar, previamente, as interrupções de fabricação para cuidar dos equipamentos que precisam de manutenção.

A seguir a Figura 1 representa o gráfico que estabelece uma relação das falhas com o tempo.

Figura 1 - Gráfico de falhas x tempo



Fonte: Weber *et al.*, (2009)

A partir do gráfico, é possível observar que na medida em que o tempo desenvolve, existe a necessidade de reduzir os intervalos entre as medidas periódicas normais, sendo que o objetivo é controlar os defeitos e consequentemente minimizar as falhas.

2.2 Análise de vibrações

A análise de vibrações é a ferramenta a ser aplicada na manutenção preditiva para a avaliação de máquinas rotativas, sendo que apresenta o melhor custo benefício em relação a outras técnicas. Sendo assim essa ferramenta fornece dados que possibilitam prolongar a vida dos equipamentos, baseando-se nas informações obtidas durante o ensaio. Para Rao (2008) um sistema vibratório, na maioria das vezes, é composto por um elemento acumulador de energia

cinética, por um acumulador de energia potencial, e por um terceiro, responsável por dissipar gradualmente a energia acumulada, esses componentes são conhecidos como massa, mola e amortecedor.

Segundo Engefaz (2005) a resultado da análise de vibrações é por monitoramento dos parâmetros estabelecidos, sendo eles: aceleração, velocidade e deslocamento. Através dessa técnica é possível detectar defeitos e manter a saúde dinâmica dos equipamentos, evitando a evolução de não conformidades. A partir disso, existem alguns tipos de análise, que são: análise de onda no tempo, FFT (*Fast Fourier Transform* - Transformada rápida de *Fourier*), ODS (*Operational Deflection Shape* - Forma de Deflexão Operacional), modal, medição síncrona, análise de corrente elétrica, análise de órbita, ensaios de ressonância estática e dinâmica.

Weber *et al.*, (2009) realizaram ensaios de vibrações de uma máquina operando regular, podendo identificar defeitos que podem ser antecipados pela inspeção, que são:

- Acoplamentos desalinhados;
- Eixos deformados;
- Folga excessiva em buchas;
- Problemas aerodinâmicos;
- Cavitação;
- Engrenagens defeituosas;
- Rotores desbalanceados;
- Vínculos desbalanceados;
- Lubrificação deficiente;
- Falta de rigidez;
- Problemas hidráulicos;
- Rolamentos deteriorados.

2.3 Equipamentos e sensores

Existem diferentes tipos de equipamentos que podem desempenhar funções iguais, mas com níveis de complexidade diferentes, além de sensores distintos para um único equipamento. Porém os resultados podem não ser fidedignos em todas as aplicações em ambos os casos.

Arduino é uma plataforma simples que permite variados usos, com diversos sensores, usando de programação para que sejam executados os trabalhos desejados. Além de

permitir a coleta de dados a partir dos sensores, é possível enviar sinais para atuadores, isso pode ser escalonado de acordo com a necessidade no programa (THOMSEN, 2014). O sensor acelerômetro, por exemplo, coleta a diferença de velocidade e com isso pode retornar dados que gerem informações vibracionais como resultado. A Figura 2 refere-se ao *Arduino Uno*.

Figura 2 - *Arduino Uno*



Fonte: *Arduino* (2021)

Os acelerômetros são sensores que podem ser ligados ao *Arduino*, são construídos por uma estrutura estacionária que suspende uma massa de reação, devido à inércia, resiste ao movimento caso a estrutura acelere. Segundo Stevan (2015) a descompensação de equilíbrio gerada pelo movimento, é medida por meios capacitivos, no qual o movimento da massa de reação entre duas placas paralelas e energizadas provocam a alteração da capacitância do elemento, causando oscilações na corrente elétrica do sinal enviado.

2.4 Normas de vibração

Os métodos e equipamentos usados para executar as análises são normalizados, tendo o intuito de manter um certo padrão na execução, e não só nacionalmente, mas também internacionalmente. E a responsável por essa norma é a ISO, *International Organization for Standardization*. A ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, se baseia na ISO para criação de suas normas e algumas vezes faz apenas a tradução. Para análise de vibrações existem algumas normas ISO diferentes, que dependem de como a vibração é causada, no caso específico do trabalho a norma seria a ISO 20816:2016. A norma 20816 trata de vibrações em peças rotativas, não rotativas e não reciprocantes de máquinas completas e pode ser usada apenas quando envolvem folgas radiais absolutas ou relativas, excluindo a axial (ISO, 2016).

No Brasil as normas envolvidas são as NBR 10082:2021 e NBR 15928:2011. A NBR 10082 trata da análise de vibrações para equipamentos mecânicos com velocidade dentro de um intervalo pré-definido (ABNT, 2021). Já a NBR 15928 diz sobre a terminologia das análises de vibrações (ABNT, 2011).

2.5 Rolamentos

Rolamento é um componente mecânico que tem a função de transmitir uma ação de rotação de um objeto, carregando e suportando cargas, reduzindo o esforço. Existem diferentes aplicações para seu uso, porém são utilizadas em componentes na fabricação de produtos, ferramentas e máquinas, sendo encontrados em carros, motores, bombas, eletrodomésticos entre outros. Os modelos mais utilizados no mercado são os rolamentos de esfera, rolamentos de rolos e autocompensadores, mesmo que existam muitas variedades de rolamentos no mercado atual, sendo que depende para qual ambiente de trabalho foi projetado (ABECOM, 2022).

Sua história vem de muitos anos atrás, no antigo Egito trabalhadores utilizavam troncos de árvore como rolo para deslizar e transportar grandes blocos de pedra para a construção de monumentos. No século XV Leonardo da Vinci descobriu o princípio da rotação, notou que haveria menos atrito entre as esferas se elas não se tocassem, sendo assim desenvolveu separadores que permitem que esferas se moverem livremente. Na revolução industrial surgiram novas aplicações e utilidades para os rolamentos, mudando o seu processo de fabricação e materiais, então passou a ser utilizado em metalúrgicas e nos projetos de motores, porém foi no final da Segunda Guerra mundial que os japoneses desenvolveram tecnologias que trouxeram progressos aos rolamentos (ABEC, 2022).

2.5.1 Tipos de rolamentos

Para a escolha dos rolamentos, deve se conhecer os principais modelos presente no mercado, a fim de identificar os mais usuais e que terão maior necessidade de avaliação. Ressalta-se que dentre os vários grupos de rolamentos, cada um tem uma característica principal, que mantida em todos os modelos do grupo. Será apresentado a seguir os grupos e suas características (ABECOM, 2022).

Rolamentos de esferas são os mais usados, pode ser visto um exemplo do modelo na Figura 3, até pela sua grande variação de modelos e aplicações possíveis. São indicados para casos onde o contato é pequeno, e possibilita atingir grandes velocidades.

Figura 3 - Exemplo de Rolamento de Esferas



Fonte: ABECOM (2022)

Rolamentos de rolos usam rolos em formato de cilindro em vez de esferas, podendo ser observado na Figura 4, são projetados para suportar maior carga radial, exibem atrito baixo, e uma vida útil prolongada. A principal diferença é o número de rolos, flanges de anéis internos e externos, *designs* das gaiolas e dos materiais que são fabricados.

Figura 4 - Exemplo de Rolamento de Rolos



Fonte: ABECOM (2022)

Rolamentos de engenharia são específicos para certas aplicações, isso porque eles têm características especiais. Com eles, rolamentos personalizados podem ter seu uso descartado, barateando o custo final, demonstrando na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de Rolamento de Engenharia



Fonte: ABECOM (2022)

Rolamentos de leva têm como característica principal o anel externo mais espesso, fato observado na Figura 6, isso permite que suporte maiores cargas radiais, além de possibilitar a redução das tensões de dobra e torção.

Figura 6 - Exemplo de Rolamento de Leva



Fonte: ABECOM (2022)

Rolamentos de super precisão têm como diferencial um desempenho superior dos seus componentes cilíndricos ou esféricos, a Figura 7 possue um exemplo de modelo. Ele permite que o rolamento suporte maiores cargas ou velocidades, além de também ter maior durabilidade.

Figura 7 - Exemplo de Rolamento de Super Precisão



Fonte: ABECOM (2022)

Rótula é um mecanismo mecânico que permite movimento em qualquer tipo de articulação conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Exemplo de Rótulas



Fonte: ABECOM (2022)

Unidades de rolamentos são peças previamente montadas, já lubrificadas e vedadas pela fábrica, com os tipos de rolamentos disponíveis e necessários para exercer sua função. Suas vantagens são a facilidade de aplicação e manutenção, maior durabilidade e confiabilidade, pode ser vista na Figura 9 um modelo de exemplo.

Figura 9 - Exemplo de Unidade de Rolamentos



Fonte: ABECOM (2022)

2.5.2 Vida útil dos rolamentos

ABECOM (2022) define que o principal influenciador para o custo da manutenção de uma máquina certamente é a vida útil dos rolamentos.

A vida útil dos rolamentos está ligada diretamente a fatores de fabricação e às condições de trabalho, onde os principais fatores mecânicos do rolamento são o atrito, velocidade, carga dinâmica, folga interna e condições de lubrificação. Portanto quando trabalha de maneira em que os fatores não estão corretos, acaba comprometendo sua vida útil, consequentemente gerando gastos para empresa.

Dessa forma a Figura 10 representa um rolamento danificado, sendo a pista interna e as esferas. Ele estava sendo utilizado em um eixo que liga um motor a uma bomba. O motivo pelo qual foi deteriorado é o desalinhamento entre os componentes, resultando uma força desigual em um dos lados. Fato detectado pelo instrumento de análise de vibrações, no qual técnicos foram alertados devido ao aumento da vibração, a partir disso foi constatado que o rolamento estava realmente com a vida útil comprometida, ocasionando a substituição.

Figura 10 - Pista interna de rolamento danificado



Fonte: Próprios Autores (2022)

3 METODOLOGIA

Para realização dos testes e coleta dos dados do sistema, foi projetada uma bancada de testes formada por um eixo acoplado a um motor, onde é possível testar diferentes rolamentos. O intuito é testar dois rolamentos, um novo e outro deteriorado com baixa eficiência e comparar os dados coletados pelo sensor.

Para execução será utilizado um *Arduino*, *protoboard*, juntamente com um sensor, por se tratar de algo muito disseminado nos tempos de hoje e também pela facilidade de acesso a um equipamento como esse.

Para elaboração do sistema têm-se plataformas abertas que permitem acesso a muito material para consulta de forma gratuita. E se necessário informações ainda mais específicas e profissionais, existem cursos da área com fácil acesso.

O intuito é executar o ensaio com um plano de monitoramento, que permitirá manter sempre os mesmos padrões, mesmo que os valores alcançados não sejam fidedignos, o padrão deve se manter.

A bancada de testes foi projetada para rolamentos, isso porque o dimensionamento é específico para essa utilização, visando também um tamanho reduzido para facilitar na montagem e transporte. Assim sendo realizado o projeto 3D no *software Solidworks*, para facilitar a visualização e a futura montagem.

3.1 Escolha dos rolamentos

Os rolamentos são o ponto chave, mas não necessariamente precisam ser específicos, pois o intuito é testar o protótipo de baixo custo. Escolhê-los torna-se um pouco mais simples, podendo ser usados modelos genéricos, encontrados em veículos, equipamentos, entre outros. Importante citar que quanto mais complexo é o rolamento e sua aplicação, maior será seu custo e a dificuldade de encontrá-lo, isso porque precisa-se de dois rolamentos, com diferentes condições de conservação.

O rolamento escolhido foi o 6203, sendo um rolamento rígido de esferas de uma carreira particularmente versátil, possuindo baixo atrito e são otimizados para baixo ruído e baixa vibração, permitindo uma alta velocidade de rotação. Eles suportam cargas radiais e axiais em ambas direções, sendo fáceis de montar e necessitam de pouca manutenção. As Figuras 11 e 12 demonstram o rolamento e suas dimensões (SKF, 2022).

Figura 11 - Rolamento 6203



Fonte: Próprios Autores (2022)

Figura 12 - Rolamento 6203 dimensões



Fonte: SKF (2022)

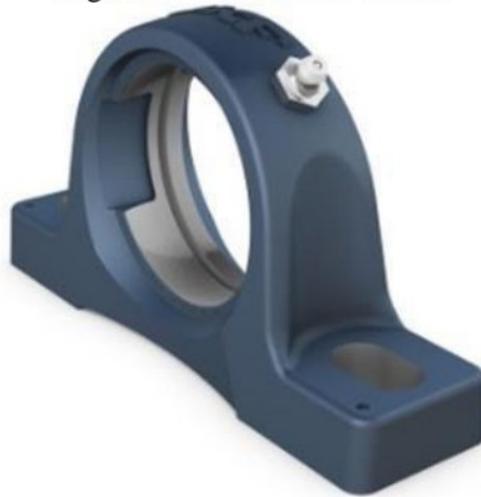
3.2 Mancal

Mancal é um componente muito utilizado nas indústrias, tendo como função servir de apoio para eixos de diferentes tamanhos. Dessa maneira consegue dar apoio e suporte a uma carga que está em contato com o eixo ou elemento rolante. Os mancais estão sujeitos às

forças de atrito devido à rotação do eixo, sendo assim o atrito ocorre devido ao contato da superfície do eixo com o mancal.

O mancal definido foi o SY 503 M da marca SKF, demonstrado na Figura 13. As caixas de mancal são fabricadas de ferro fundido, sendo assim mais resistentes, rígidas e econômicas. Elas são adequadas para a maioria das aplicações e podem ser aparafusadas diretamente a uma superfície de apoio. Suas principais vantagens são: suportar cargas elevadas em diferentes direções, alto grau de rigidez e por fim o modelo é estreito (SKF, 2022).

Figura 13 - Mancal SY 503 M



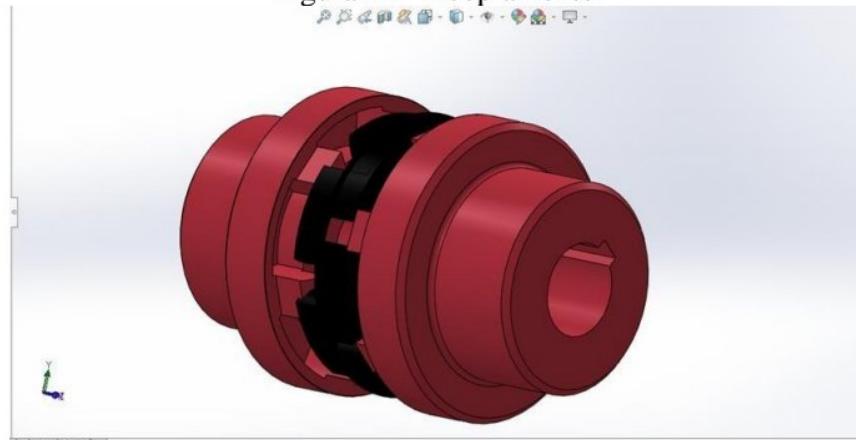
Fonte: SKF (2022)

3.3 Acoplamento

Os acoplamentos são definidos por elemento de transmissão mecânica que é capaz de conectar dois sistemas distintos, sendo sua função promover a transmissão de torque de um acionamento. É muito utilizado nas indústrias em que possuam algum tipo de acionamento rotativo ou sistema de transmissão.

Existem diversos tipos de acoplamento, porém será utilizado o modelo de garras E, que é composto por dois cubos simétricos de ferro fundido, acompanhado de um elemento elástico fabricado de borracha sintética de elevada resistência a abrasão, sendo assim ficará localizada entre os dois cubos. Como podemos observar na Figura 14.

Figura 14 - Acoplamento



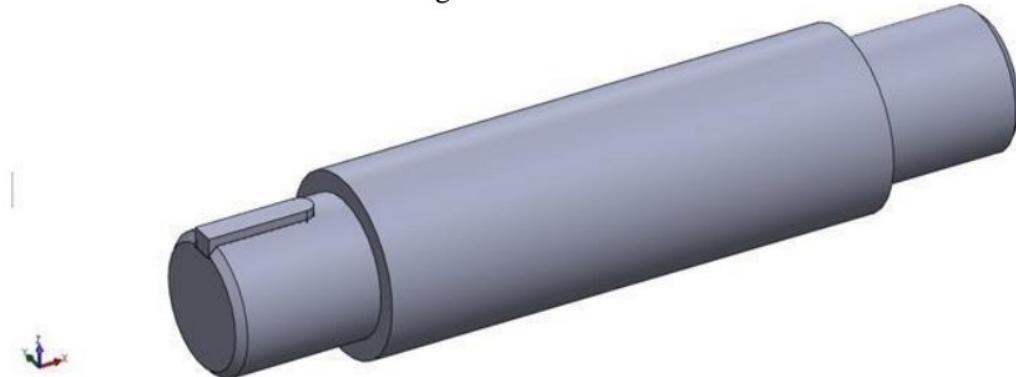
Fonte: Próprios autores (2022)

3.4 Eixo

Os eixos são definidos como elementos mecânicos utilizados para articular um ou mais elementos de máquinas. Quando móveis, os eixos transmitem potência por meio do movimento de rotação.

O projeto utilizará um eixo com comprimento de 100 milímetros por 17 milímetros de diâmetro, com um rasgo de chaveta para fixar o eixo no acoplamento, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Eixo



Fonte: Próprios autores (2022)

3.5 Motor

O motor a ser utilizado é de corrente contínua, então é acionado por uma fonte de alimentação de corrente contínua a uma tensão de 6 *volts*. O modelo tem por característica permitir uma velocidade máxima de 100 RPM, ele pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16 - Motor DC 6V



Fonte: Eletrônica (2022)

3.6 Fonte DC

Fonte de bancada é um dispositivo eletrônico que permite ter sua potência regulada com grande variedade, sendo assim, ela consegue estabilizar a corrente, conseguindo também energizar componentes.

O modelo de fonte de alimentação externa escolhido foi a S-25-6 da fabricante Chantop, tendo como características a alimentação em corrente alternada de 110-220V, com a tensão de saída de 6 *volts*, e com corrente contínua na saída de 4 *amperes*. A Figura 17 a seguir demonstra a fonte utilizada.

Figura 17 - Fonte de bancada



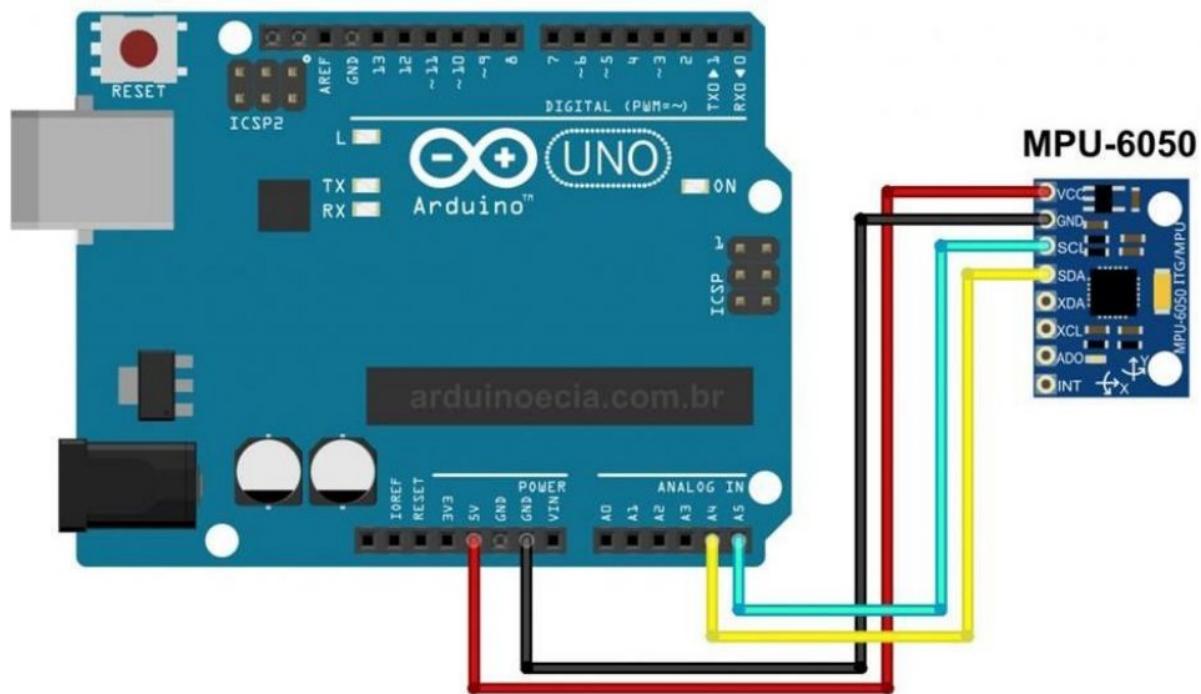
Fonte: Próprios autores (2022)

3.7 Coleta de dados

A coleta de dados se deu através do *Arduino*, em específico do modelo UNO. É simples de se manusear, versátil e fácil de se encontrar. Fora seu custo que é baixo se comparado a outros modelos, o que é um dos focos do presente trabalho.

Para o sensor, existem algumas opções, isso porque um acelerômetro permite essa coleta de dados, mas existem sensores que fazem a leitura de vibrações. Ainda que existam muitos modelos de sensores, o fator que mais pesou na escolha foi a facilidade de encontrá-los, dessa forma têm-se duas opções de sensores de vibração sendo os modelos SW-420 e o SW-18010p. E a opção de acelerômetro é modelo MPU-6050, ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Arduino com ligação de Acelerômetro



Fonte: Arduino e Cia (2015)

A escolha foi pelo sensor MPU-6050, pois além de cumprir a função necessária, ele facilita seu uso por ser grandemente usado, assim é simples de encontrar maiores informações e conteúdos sobre. Na Figura 18 é possível visualizar um exemplo de ligação do sensor ao Arduino.

No APÊNDICE B encontra-se o código realizado no *Arduino* IDE, utilizado para realização do ensaio. O código realiza a interface entre o sensor, *Arduino* e o computador, gerando gráficos que permitem a visualização dos dados.

3.8 Método de ensaio

Para a realização dos testes, o intuito é manter um padrão para todos os ensaios, e para isso a forma de realização deve ser mantida a mesma. O parâmetro que tem maior capacidade para alterar os resultados é o tempo, não apenas de execução, mas do ensaio e da captura de dados.

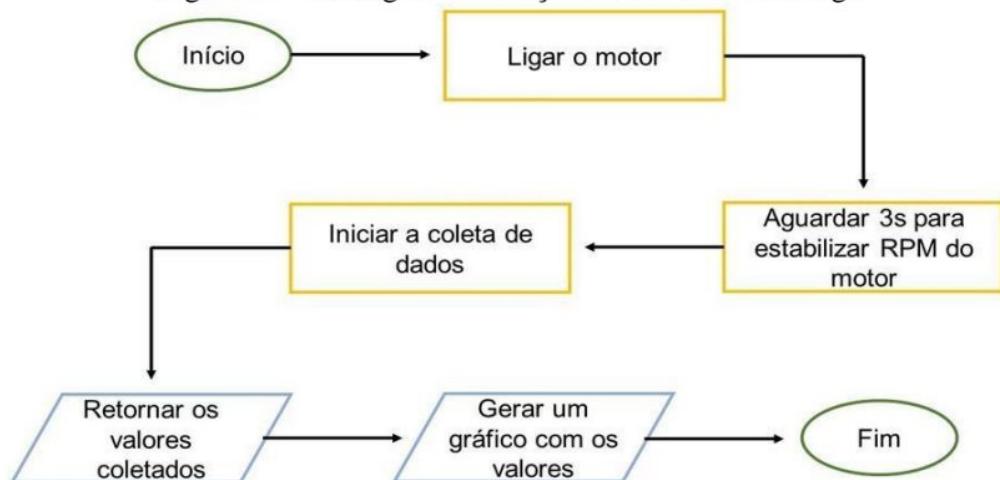
A bancada permitirá que esse padrão seja alcançado, pois será feito de forma que não gere variações entre os ensaios, desde a variável do tempo ao posicionamento no qual o rolamento deve ter.

3.9 Realização do ensaio

O Arduino é alimentado por uma conexão USB ligada a um computador, que não só alimenta como envia e recebe informações do Arduino. O Arduino tem capacidade de alimentar até 5 *volts* em corrente contínua, e o motor necessita de uma alimentação de 6 *volts*, sendo necessária uma fonte. Logo que carregado o código no Arduino, já feitas as devidas conexões, pode ser iniciado o teste. O código foi feito de forma que o próprio inicie e pare o motor, ou seja, o tempo gasto em todos será sempre o mesmo, garantindo linearidade. No código estará a formulação para coletar as informações, que permitirão o tratamento para geração de gráficos. O próprio *software Arduino IDE* gera informações gráficas a partir dos dados registrados.

O fluxograma, Figura 19, mostra de forma simplificada o funcionamento do código, possibilitando a coleta de dados e o trabalho feito com eles para retorná-los graficamente.

Figura 19 - Fluxograma das ações realizadas no código



Fonte: Próprios autores (2022)

Por fim deve ser feita uma análise dos resultados alcançados, uma comparação entre os gráficos para que seja tirada uma conclusão da viabilidade de uso do protótipo. Além de que os gráficos podem permitir análises mais profundas e técnicas, usando conhecimentos distintos.

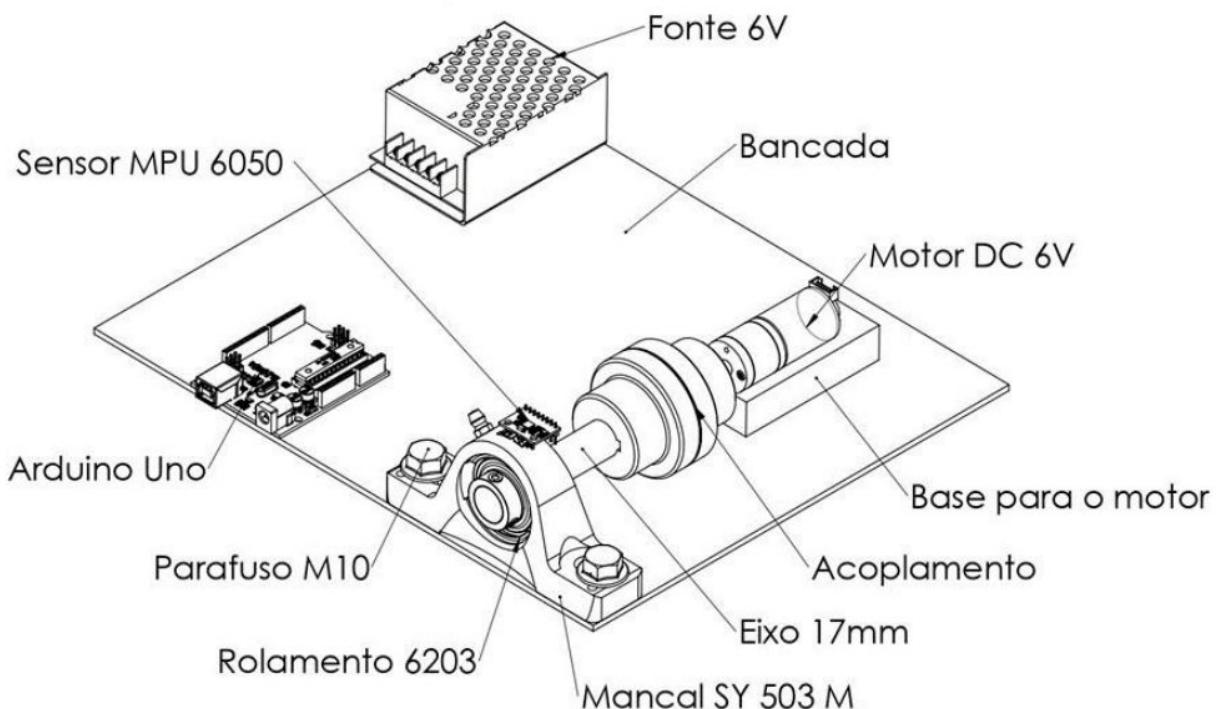
4 RESULTADOS

4.1 Projeto

O projeto da bancada iniciou-se pelo desenho, o qual foi desenvolvido pelo programa *SolidWorks*. A primeira etapa diz respeito ao desenho do rolamento 6203, onde todas as dimensões estão disponíveis no site da SKF. Em seguida o mancal e o eixo foram desenhados e posicionados nas suas devidas localizações e, posteriormente, o acoplamento foi dimensionado com as medidas dos dois eixos.

Após as etapas anteriores, montou-se o suporte do motor e os dois parafusos para fixar o mancal. Salienta-se que os componentes eletrônicos como o *Arduino Uno*, sensor MPU-6050 e a fonte alimentadora foram fixados na bancada dimensionada ao final. A Figura 20 mostra o desenho da bancada de teste.

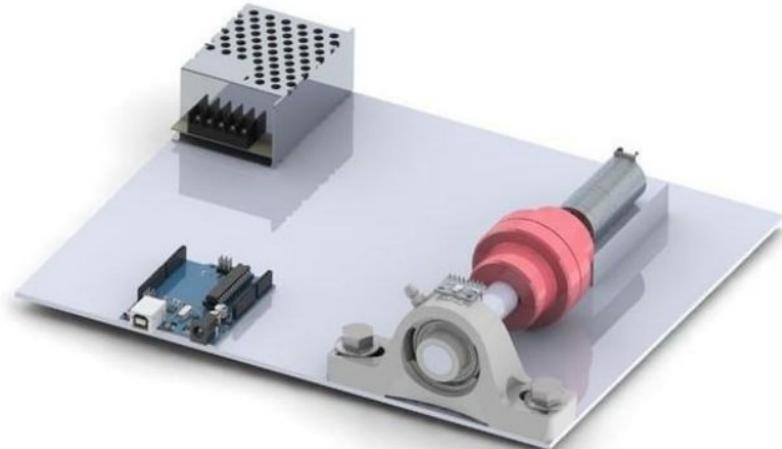
Figura 20 - Desenho Bancada



Fonte: Próprios autores (2022)

Posteriormente o desenho foi renderizado para melhor visualização, demonstrado na Figura 21.

Figura 21 - Desenho Renderizado



Fonte: Próprios autores (2022)

Para confecção futura do projeto são mostrados nas tabelas abaixo os custos de cada componente. A tabela 1 refere-se aos gastos da bancada de teste, já a tabela 2 menciona os componentes do equipamento para análise de vibrações.

Tabela 1 - Custo bancada de teste

Gastos com a bancada de teste			
Descrição	Quantidade	Preço	
Rolamento 6203	2	R\$	40,00
Mancal SY503	1	R\$	180,00
Motor	1	R\$	143,91
Acoplamento	1	R\$	63,00
Fonte 6 V	1	R\$	66,42
Serviços gerais	1	R\$	300,00
Total =	R\$		793,33

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Tabela 2 - Custo do equipamento para análise de vibrações

Gastos com equipamento de vibração			
Descrição	Quantidade	Preço	
Kit Arduino	1	R\$	200,00
Sensor MPU	1	R\$	19,00
Total =	R\$		219,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

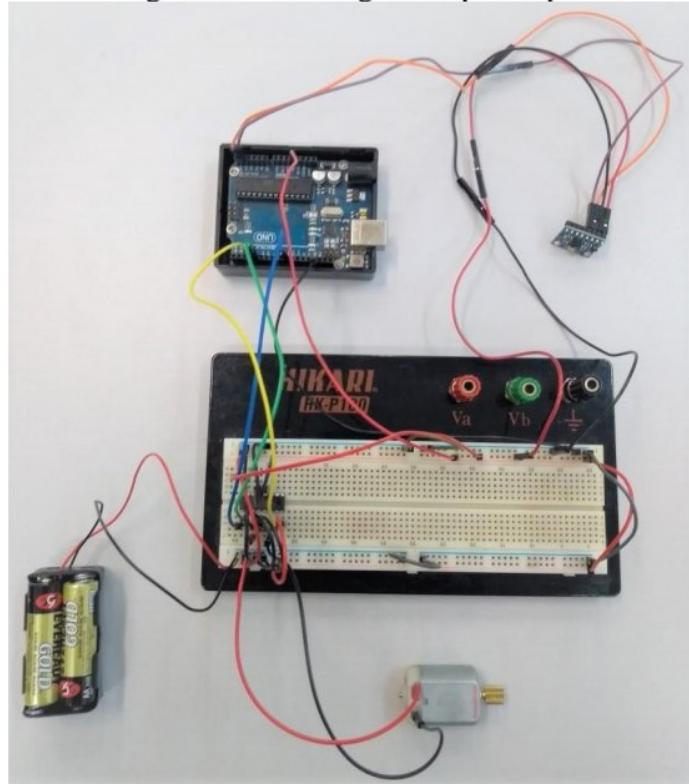
Com os valores demonstrados nas Tabelas 1 e 2 chega-se a um valor total de R\$1.012,33, valor esse que seria gasto para confecção da bancada e montagem do equipamento de análise de vibrações.

4.2 Ligação dos componentes elétricos

Após estudo realizou-se a confecção do esquema das ligações, sendo entre o *Arduino*, sensor e motor. Com isso é possível usá-lo no momento da construção da bancada, pois são representadas as portas que irão enviar e receber informações do *Arduino*. Isso é imprescindível, pois no código, as portas devem ser iguais para o pleno funcionamento.

Na Figura 22 observa-se a montagem do protótipo, no qual não constam todos os componentes especificados no decorrer deste trabalho, visto que a montagem foi realizada, a fim de testar a funcionalidade do código como interface entre sensor e *Arduino*.

Figura 22 – Montagem do protótipo



Fonte: Próprios autores (2022)

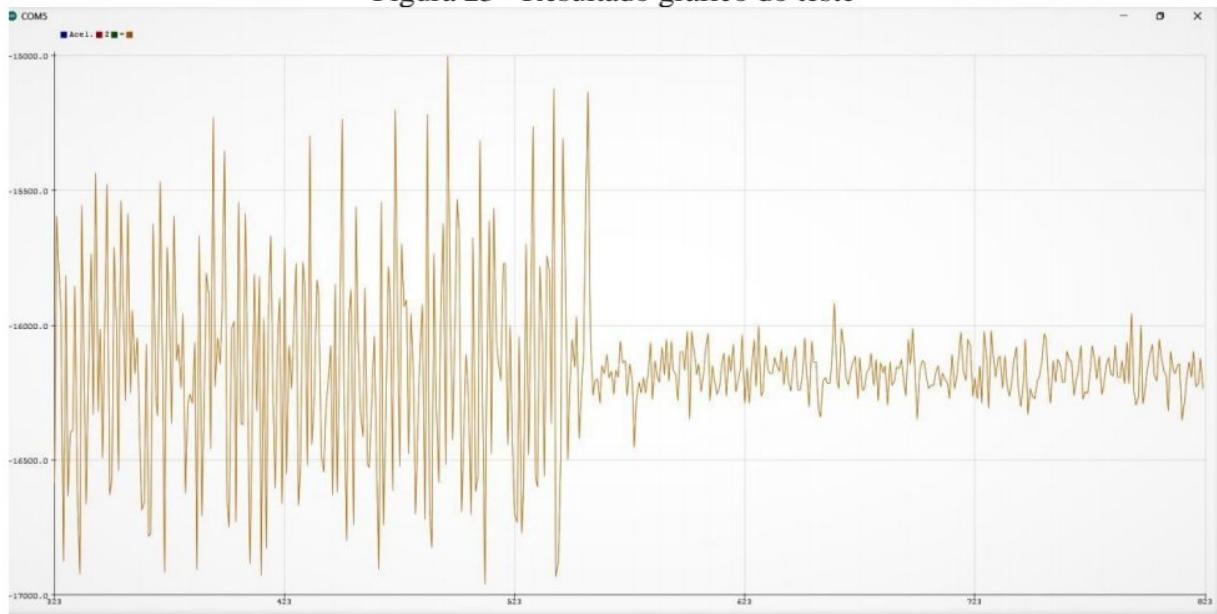
No APÊNDICE C é possível observar os componentes, sendo que o único não consta é a fonte, sua representação é feita pelas baterias. Um diferencial é o uso de uma ponte H, que permite principalmente a mudança do sentido de rotação do motor.

4.3 Programação

O código realizará a coleta das informações para os testes a programação não é utilizada apenas para coletar os valores e gerar os gráficos, também acionará o motor no tempo definido e utilizará o sensor para retornar os resultados desejados. O código pode ser encontrado no APÊNDICE B do presente relatório.

O teste do código e do sensor foi realizado e demostrado na Figura 23. Gerou-se um gráfico com o resultado da análise de vibrações. Realizou-se o teste no próprio motor, pelo fato de não haver a bancada montada para testes nos rolamentos. No gráfico é demonstrado o período em que o motor permaneceu em funcionamento, após 10 segundos ele foi desligado, fato que pode ser notado nas frequências das vibrações que reduziram conforme a rotação do motor reduziu, comprovando o funcionamento do protótipo e código de forma efetiva.

Figura 23 - Resultado gráfico do teste



Fonte: Próprios autores (2022)

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que foi alcançado entendimento teórico e realizado o projeto da bancada. A partir da teoria ficou evidente que é possível aplicação prática, sendo de muito aprendizado para os futuros profissionais que irão usufruir da bancada projetada para maximizar seus entendimentos teóricos.

Pensando no projeto, chegou-se a um resultado extremamente alinhado com o planejado, pois a forma executada permite uma facilidade de montagem da bancada para realizar os testes. O passo a passo é simples, direto e todo o material é indicado, facilitando o processo para comprovar a viabilidade final.

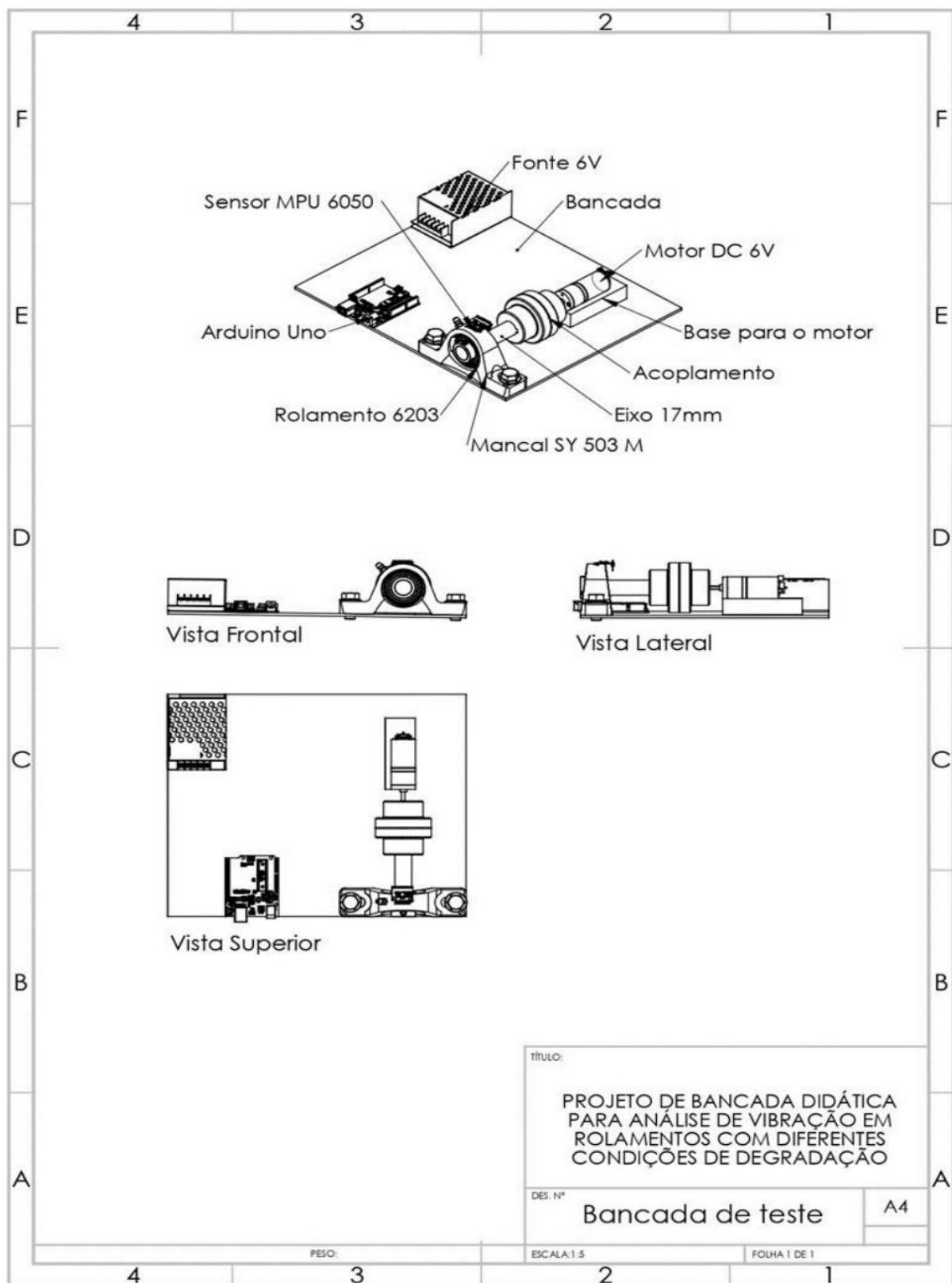
Um equipamento para análise de vibração profissional custa em média R\$10.000,00. Existem no mercado aparelhos que tem o custo benefício melhor, porém são de baixa qualidade, gerando resultados imprecisos. O protótipo de vibração tem o custo de R\$219,00 e oferece dados significativos, capaz de identificar rolamentos danificados com baixo investimento, mostrando sua possível viabilidade de implementação futura. A bancada terá um custo maior, porém será de grande utilidade didática para o laboratório de vibrações do *campus*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABECOM. **Tudo sobre rolamentos - O guia definitivo.** <https://rolamentos.abecom.com.br/ebook-abecom>, acessado em 02 jun de 2022.
- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 15928 de 03/2011: Ensaios não destrutivos - Análise de vibração - Terminologia. <https://www.normas.com.br>, acessado em 02 junho de 2022, 2011.
- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 10082 de 12/2021: Ensaios não destrutivos - Análise de vibração. <https://www.normas.com.br>, acessado em 02 jun de 2022, 2021.
- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 5462: Confiabilidade e manutenabilidade. Rio de Janeiro: Abnt, 1994. 37 p.
- ACOPLAST, B. **O que são acoplamentos?**, 2018. <https://blog.acoplastbrasil.com.br/o-que-sao-acoplamentos/>, acessado em 02 nov de 2022.
- ARDUINO. **Store USA.Arduino**, 2021. <https://store-usa.arduino.cc/>, acessado em 02 jun de 2022.
- BARBOZA. Tiudorico Leite. **Um histórico da manutenção e conceitos sobre sua função.** Revista Marítima Brasileira, v. 138, n. 10/12, 2018.
- Cabral, J. P. S. **Organização e Gestão da Manutenção dos conceitos à prática.** Lisboa: Lidel, 2006.
- CIA, A. E. **Acelerômetro e Giroscópio MPU6050**, 2015. <https://www.arduinoecia.com.br/acelerometro-giroscopio-mpu6050-arduino/>, acessado em 02 jun de 2022.
- ELETRÔNICA, B. D. **Motor DC 6V com Encoder 100 RPM**, 2022. <https://www.baudaelectronica.com.br/motor-dc-6v-com-encoder-100-rpm.html>, acessado em 08 nov de 2022.
- ENGEFAZ. **Apostila análise de vibração - Nível 1.** <https://www.engefaz.com/curso-de-analise-de-vibracao-nivel-1/>, acessado em 02 jun de 2022, 2005.
- ISO: 20816-1:2016. Mechanical vibration - Measurement and evaluation of machine vibration. <https://www.iso.org/standard/63180.html>, acessado em 02 jun de 2022, 2016.
- MORAES. Paulo Henrique de Almeida. **Manutenção produtiva total**: estudo de caso em uma empresa automobilística. 2004.
- MORO, N.; AURAS, A. P. **INTRODUÇÃO À GESTÃO DA MANUTENÇÃO.** Florianópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007. 33 p.
- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção preditiva**, vol. 1. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.
- RAO, S. S. **Mechanical Vibrations**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008., 4^a ed.
- RODRIGUES, M. **Curso técnico em eletrotécnica**. Curitiba: Base Livros Didáticos, 2009.

- SANTOS, V. A. d. **Manual prático da manutenção industrial**. São Paulo: Ícone, 2007.
- SKF. **6203 Rolamento rígido de esferas**, 2022. <https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6203>, acessado em 02 nov de 2022.
- SKF. **SY 503 M, 2022**. <https://www.skf.com/br/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/pillow-block-ball-bearing-units/productid-SY%20503%20M>, acessado em 02 nov de 2022.
- STEPHENS, M. P. **Productivity and Reliability-Based Maintenance Management**. Indiana: Purdue University Press, 2010.
- STEVAN, S. L.; Silva, R. A. **Automação e instrumentação industrial com Arduino: Teoria e projetos**. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2015., 1^a ed.
- THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino, para que serve e primeiros passos**. 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 02 nov. 2022.
- TROJAN, F. e. a. **Classificação dos tipos de manutenção pelo método de análise multicritério** electre tri. Simpósio Brasileiro de pesquisa operacional - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa - Paraná, p. 15, 2013. <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>, Acessado em 01 jun. 2022.
- WEBER, A. J. e. a. **Telecurso: Profissionalizante de Mecânica: Manutenção**. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2009.

APÊNDICE A – Vistas da bancada



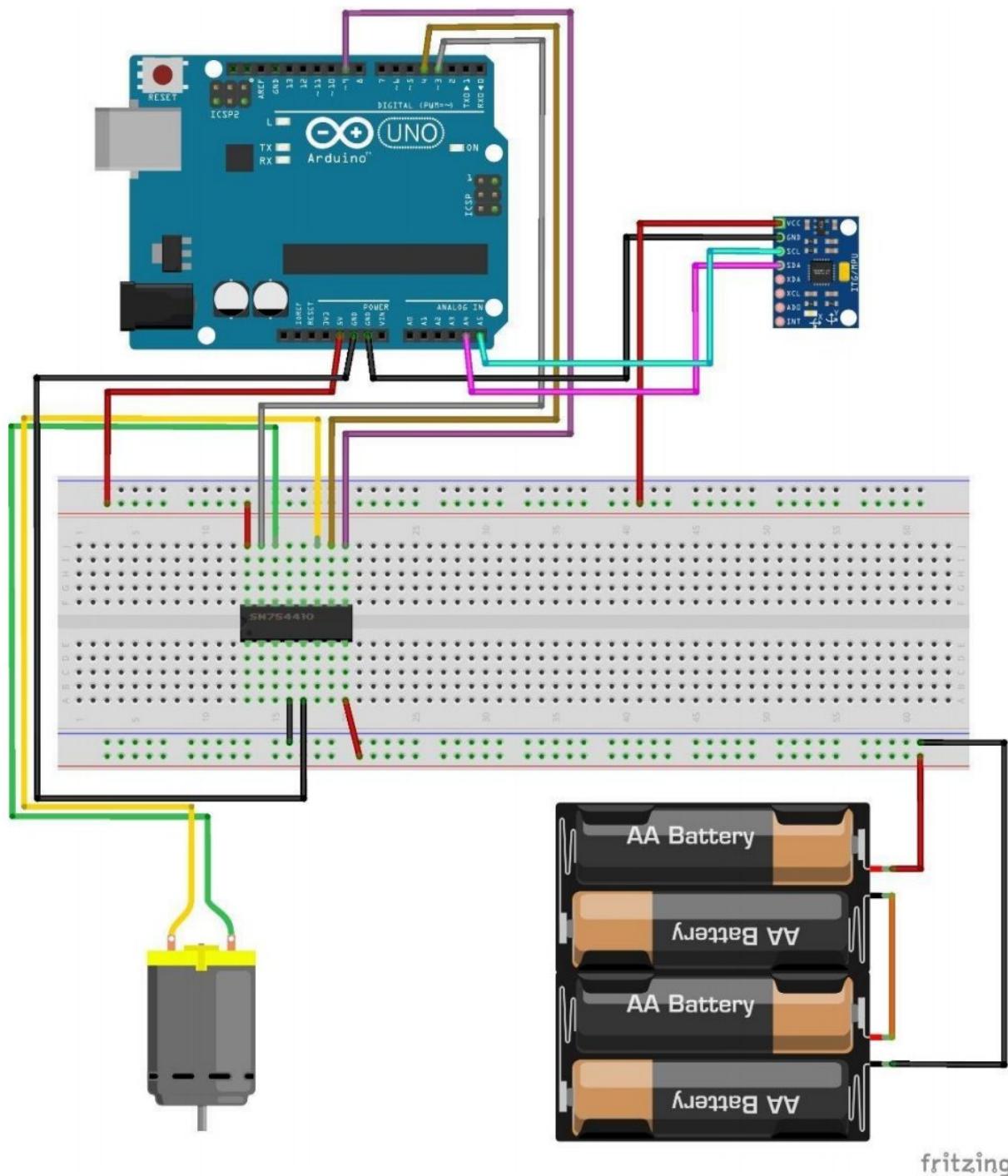
APÊNDICE B – Códigos da programação

```
1 //Carrega a biblioteca Wire
2 #include<Wire.h>
3
4 //Endereco I2C do MPU6050
5 const int MPU=0x68;
6
7 //Variaveis para armazenar valores dos sensores
8 int AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ;
9
10 //Variaveis para o controle do motor
11 int motor1Pin1 = 3; // Pino 2 do CI L293D
12 int motor1Pin2 = 4; // Pino 7 do CI L293D
13 int enablePin = 9; // Pino 1 do CI L293D
14
15 //Variaveis de tempo
16 int tempo_inicial = 0;
17 int intervalo_1 = 10000;
18 unsigned long tempo_atual = 0;
19
20 void setup()
21 {
22     Serial.begin(9600);
23     Wire.begin();
24     Wire.beginTransmission(MPU);
25     Wire.write(0x6B);
26     pinMode(motor1Pin1,OUTPUT);
27     pinMode(motor1Pin2,OUTPUT);
28     pinMode(enablePin,OUTPUT);
29
30 //Inicializa o MPU-6050
31     Wire.write(0);
32     Wire.endTransmission(true);
```

```
33 //Inicia com o motor desligado
34 digitalWrite(enablePin,LOW);
35 }
36
37 void loop()
38 {
39     tempo_atual = millis();
40
41     if (tempo_atual - tempo_inicial <= intervalo_1)
42     {
43         Wire.beginTransmission(MPU);
44         Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
45         Wire.endTransmission(false);
46
47         //Solicita os dados do sensor
48         Wire.requestFrom(MPU,14,true);
49
50         //Armazena o valor dos sensores nas variaveis correspondentes
51         AcX=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C
52         (ACCEL_XOUT_L)
53         AcY=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E
54         (ACCEL_YOUT_L)
55         AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40
56         (ACCEL_ZOUT_L)
57
58         //Mostra os valores na serial
59         Serial.print("Acel. X = "); Serial.print(AcX);
60         Serial.print(" | Y = "); Serial.print(AcY);
61         Serial.print(" | Z = "); Serial.println(AcZ);
62
63         //Liga o motor
64         digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
65         digitalWrite(motor1Pin2, HIGH);
```

```
63  digitalWrite(enablePin,HIGH);
64  }
65
66  if (tempo_atual - tempo_inicial > intervalo_1)
67  {
68      Wire.beginTransmission(MPU);
69      Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
70      Wire.endTransmission(false);
71
72      //Solicita os dados do sensor
73      Wire.requestFrom(MPU,14,true);
74
75      //Armazena o valor dos sensores nas variaveis correspondentes
76      AcX=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C
77      (ACCEL_XOUT_L)
78      AcY=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E
79      (ACCEL_YOUT_L)
80      AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40
81      (ACCEL_ZOUT_L)
82
83      //Mostra os valores na serial
84      Serial.print("Acel. X = "); Serial.print(AcX);
85      Serial.print(" | Y = "); Serial.print(AcY);
86      Serial.print(" | Z = "); Serial.println(AcZ);
87
88      //Desliga o motor
89      digitalWrite(motor1Pin1, LOW);
90      digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
91      digitalWrite(enablePin,LOW);
92  }
```

APÊNDICE C – Esquema de ligação dos componentes da bancada



Fonte: Próprios autores (2022)