



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GUSTAVO CARVALHO PEREIRA

**CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISES PRELIMINARES DAS RES-
POSTAS EM FREQUÊNCIA DE UM GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁ-
VEL PARA TESTES MODAIS EM ESTRUTURAS DE LIGA DE MEMÓRIA DE
FORMA (LMF)**

JOÃO PESSOA – PB

2019

GUSTAVO CARVALHO PEREIRA

CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISES PRELIMINARES DAS RESPOSTAS EM FREQUÊNCIA DE UM GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL PARA TESTES MODAIS EM ESTRUTURAS DE LIGA DE MEMÓRIA DE FORMA (LMF)

Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado a Coordenação de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica. Orientador: **Dr. Professor Cícero da Rocha Souto**

JOÃO PESSOA – PB

2019

Catlogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436c Pereira, Gustavo Carvalho.

CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E ANÁLISES PRELIMINARES DAS
RESPOSTAS EM FREQUÊNCIA DE UM GERADOR ELETRODINÂMICO
VARIÁVEL PARA TESTES MODAIS EM ESTRUTURAS DE LIGA DE
MEMÓRIA DE FORMA (LMF) / Gustavo Carvalho Pereira. -
João Pessoa, 2019.
f77.

Orientação: Cícero da Rocha Souto.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. gerador eletrodinâmico variável, força magnética. 2.
frequência de resposta, campo magnético. I. da Rocha
Souto, Cícero. II. Título.

UFPB/BC

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **minha família** que me apoiou nessa jornada cansativa entre curso de graduação, trabalho e gerenciamento familiar. Em especial a minha esposa **Juliana Sampaio** e aos meus filhos **Breno de Carvalho Sampaio** e **Letícia Sampaio Pereira**.

Ao meu pai **Otacílio José Pereira** e a minha mãe **Sônia Maria Carvalho Pereira** que sempre apoiaram a minha escolha pela ciência e pelo conhecimento acadêmico.

À **Sergio Pessoa de Lima Marques** técnico do Centro de Energias Alternativas e Renováveis como eu, apoiou-me nessa jornada.

À **Fellipe Bruno Barbosa Bandeira**, aluno de mestrado e responsável por me ajudar na aquisição dos gráficos do dispositivo.

Ao professor **Dr. Cícero da Rocha Souto** que, além de ser meu chefe, aceitou-me como orientando, e confiou em mim ao propor esse desafio.

RESUMO

As ligas de memória de forma (LMF) estão cada vez mais sendo aplicadas em diversas áreas de estudo, pesquisa e industrial. As instituições de ensino superior e os centros acadêmicos de todo o mundo tem investido consideravelmente no desenvolvimento dessa tecnologia e suas aplicabilidades nos seguintes setores industriais: aeroespacial, robótica, automotiva e biomédica. Porém, não basta construir diversos modelos químicos estruturados dessas ligas, como por exemplo o 'nitinol' que seria a liga Ni-Ti (níquel 50% - titânio 50%), sem testá-los sob cargas cíclicas e variação de temperatura. Logo, os testes vibracionais eletrodinâmicos são equipamentos que promovem os testes de cargas cíclicas nos corpos de prova afim de obter resultados de fadiga estrutural, fadiga funcional e análise da perda de capacidade que o material tem de se submeter a uma transformação de fase reversível. Essa última pela mudança gradual devido ao somatório de deslizamentos e deslocamentos a nível molecular. Neste trabalho, relata-se a concepção, construção e análises preliminares das respostas em frequência de um equipamento eletrodinâmico de variação cíclica para aplicação de carregamento variável nos corpos de prova em LMF's. Esse dispositivo foi construído partir de um ímã de ferrite sob uma base fixa. A bobina ligada ao eixo central, neste caso o atuador, através da variação do sentido da corrente promove uma magnetização, tornando-o um ímã. A fixação foi feita a partir de bases de apoio ligada a três guias com molas de compressão ligadas ao atuador para facilitar a dinâmica do mecanismo em se alternar os sentidos de trabalho. E na ponta do atuador foi posicionado um acelerômetro. Na análise preliminar, a energia foi fornecida ao sistema com varredura entre 0Hz a 100Hz de frequência de excitação. Durante a aquisição de dados em tempo real foi utilizado FRF (função de resposta em frequência) pelo LabView®, gerando assim as imagens da aceleração e do deslocamento nos gráficos de resposta.

Palavras – chave: gerador eletrodinâmico variável, processos de fabricação, força magnética, campo magnético, frequência de resposta.

ABSTRACT

Shape memory alloys (LMF) are increasingly being applied in various fields of study, research and industry. Higher education institutions and academic centers around the world have invested considerably in the development of this technology and its applicability in the following industrial sectors: aerospace, robotics, automotive and biomedical. However, it is not enough to build several structured chemical models of these alloys, such as the "nitinol" that would be the Ni-Ti alloy (nickel 50% - titanium 50%), without testing them under cyclic loads and temperature variation. Therefore, the electrodynamic vibrational tests are equipments that promote the tests of cyclic loads in the specimens in order to obtain results of structural fatigue, functional fatigue and analysis of the loss of capacity that the material has to undergo a reversible phase transformation. . The latter due to the gradual change due to the sum of slips and displacements at the molecular level. In this work, we describe the design, construction and preliminary analysis of the frequency responses of a cyclically varying electrodynamic equipment for application of variable loading to specimens in LMF's. This device was constructed from a ferrite magnet under a fixed base. The coil connected to the central axis, in this case the actuator, by rotating the current direction promotes a magnetization, making it a magnet. The fixation was made from support bases connected to three guides with compression springs attached to the actuator to facilitate the dynamics of the mechanism in alternating working directions. And at the end of the actuator was positioned an accelerometer. In the preliminary analysis, power was supplied to the system with a scan between 0Hz to 100Hz excitation frequency. During real time data acquisition, FRF (frequency response function) was used by LabView®, thus generating the acceleration and displacement images in the response graphs.

Key words: variable electrodynamic generator, manufacturing processes, magnetic force, magnetic field, frequency response.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Vetor campo magnético, vetor corrente, vetor força magnética.....	16
Figura 3.2 – Processo de fabricação de ímãs de ferrite.....	17
Figura 3.3 – Linhas do campo magnético e força magnética de um ímã toroidal permanente.....	18
Figura 3.4 – Disposição do circuito magnético de uma bobina cilíndrica induzida.....	19
Figura 3.5 – Disposição do circuito magnético em corte de um solenoide tipo autofalante.....	19
Figura 3.6 – Campos e forças do binário durante o momento polar sul.....	20
Figura 3.7 – Campos e forças do binário durante o momento polar norte.....	21
Figura 3.8 – Análise vetorial de forças e movimento da bobina.....	21
Figura 3.9 – Altura mínima da bobina longa imersa do GAP daplaca polar superior.....	22
Figura 3.10 – Ciclo de histerese de um ímã permanente.....	23
Figura 3.11 – Ponto de operação do ímã permanente.....	24
Figura 3.12 – Gráfico da força elástica e trabalho.....	29
Figura 3.13 – Deslocamento do atuador na direção vertical e nos dois sentidos.....	30
Figura 4.1 – Gerador eletrodinâmico variável comercial.....	33
Figura 4.2 – Pré-montagem conceito do gerador eletrodinâmico variável.....	33
Figura 4.3 – Fluidos de corte.....	36
Figura 4.4 – Informações técnicas da placa NI USB – 6216.....	39
Figura 4.5 – Informações técnicas do gerador de função Agilent 3220 ^a	40
Figura 4.6 – Informações técnicas do acelerômetro BK 4507.....	41
Figura 4.7 – Amplificador de sinal PCP – modelo: 480E09.....	41
Figura 4.8 – Primeiro esboço do projeto.....	42
Figura 4.9 – Análise de temperatura da base magnética.....	44
Figura 4.10 – Fabricação dos discos de apoio em aço inox 304.....	44
Figura 4.11 – Disco base sob ímã com tirantes roscados.....	45
Figura 4.12 – Discos de apoio finalizados.....	45
Figura 4.13 – Disco estabilizador com buchas de latão sob interferência.....	46

Figura 4.14 – Usinagem da bobina.....	46
Figura 4.15 – Bobina com enrolamento no alojamento.....	46
Figura 4.16 – Tirantes roscados 3/8”.....	47
Figura 4.17 – Eixo central.....	47
Figura 4.18 – Eixo secundário.....	48
Figura 4.19 – Pinos guias do disco estabilizador do movimento.....	48
Figura 4.20 – Vigas principais da estrutura.....	49
Figura 4.21 – Primeira parte da montagem.....	50
Figura 4.22 – Segunda parte da montagem.....	50
Figura 4.23 – Terceira parte da montagem.....	51
Figura 4.24 – Quarta parte da montagem.....	51
Figura 4.25 – Coincidência do ponto médio da bobina com o disco base.....	52
Figura 4.26 – Quinta parte da montagem.....	52
Figura 4.27 – Fluxograma de outra possível sequência de montagem.....	53
Figura 4.28 – Mesa de teste no LASEA.....	54
Figura 4.29 – Tela do MatLab correspondente ao circuito de aquisição de dados.....	55
Figura 5.1 – Gráfico FRF da aceleração pela frequência [Hz;g].....	56
Figura 5.2 – Gráfico FRF do deslocamento pela frequência [Hz;mm].....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Relação de materiais, quantidade e custo para a produção do dispositivo.....	34
Tabela 4.2 – Processos de fabricação, maquinário, quantidade e horas de usinagem.....	35
Tabela 4.3 – Relação de ferramentas, suas medidas e processos de usinagem.....	36
Tabela 4.4 – Informações técnicas da fonte de tensão.....	37
Tabela 4.5 – Amplificador de potência STETSOM modelo CL 500.....	38
Tabela 5.1 – Análise numérica da resposta de frequência em aceleração e deslocamento.....	57

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
2. Objetivos.....	14
2.1 Gerais.....	14
2.2 Específicos.....	14
3. Referencial teórico.....	15
3.1 Força eletromotriz.....	15
3.2 Corrente elétrica.....	15
3.3 Campo Magnético na bobina.....	16
3.4 Campo magnético no ímã toroidal permanente.....	17
3.5 Análise do campo magnético, forças e deslocamento em um solenoide tipo autofalante.....	18
3.5.1 Análise do campo magnético e da força na bobina induzida de um solenóide.....	18
3.5.2 Análise de forças no circuito magnético do ímã permanente.....	19
3.5.3 Análise dos campos magnéticos, forças e sentido da corrente no binário “bobina x ímã permanente”.....	20
3.5.4 Análise do deslocamento da bobina solenoide dentro do GAP.....	22
3.6 Energia resultante de um solenoide com molas de compressão e retorno nos dois sentidos do movimento.....	22
3.6.1 Energia magnética dos ímãs permanentes toroidais com entreferro em relação ao movimento de corpos.....	23
3.6.2 Energia armazenada no indutor de bobinas cilíndricas.....	26
3.6.3 Energia potencial de um corpo.....	27
3.6.4 Análise da energia potencial elástica das molas de compressão..	28

3.7 Transformada rápida de Fourier (FFT).....	31
4. Materiais e metodologia.....	33
4.1 Materiais.....	33
4.1.1 Materiais não ferrosos.....	34
4.1.2 Processos de fabricação e equipamentos utilizados.....	35
4.1.3 Equipamentos para análises preliminar do dispositivo.....	37
4.1.3.1 Fonte de alimentação de tensão e corrente.....	37
4.1.3.2 Amplificador de potência.....	37
4.1.3.3 Placa de aquisição de dados.....	38
4.1.3.4 Gerador de função.....	40
4.1.3.5 Acelerômetro.....	41
4.1.3.6 Condicionador de sinal para sensores.....	41
4.2 Metodologia.....	42
4.2.1 Metodologia de produção.....	42
4.2.1.1 Concepção.....	42
4.2.1.2 Dimensionamento.....	43
4.2.1.3 Construção.....	43
4.2.1.4 Montagem.....	49
4.2.1.5 Teste.....	53
4.2.2 Análise preliminar do Gerador Eletrodinâmico Variável.....	54
5. Resultados e discussão.....	56
5.1 Análise da resposta em frequência e aceleração.....	56
5.2 Análise da resposta em frequência e deslocamento do atuador	56
5.3 Análise numérica modal.....	57

6. Conclusões.....	60
7. Referências.....	61
8. Anexo I: Desenho construtivo do GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL – páginas de 01/00 a 01/15	

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas de novos materiais em liga de memória de forma e suas aplicabilidades tendem a crescer diariamente. Essas ligas que podem ser aplicadas nas indústrias de robótica, automotiva, aeroespacial e biomédica precisam ser testadas dinamicamente sob cargas cíclicas.

Um desses testes é a aplicação de cargas cíclicas variáveis através de um equipamento chamado gerador eletrodinâmico variável. O dispositivo trabalha por indução eletromagnética através da excitação de uma bobina imerso no campo magnético constante de um ímã de ferrite, ou seja, um solenoide. Essa característica indutiva e de campo da bobina desenvolve a força de Lorentz, ou força magnética. Assim, a energia aplicada a bobina na forma de força eletromotriz alternada promove o movimento cíclico do atuador na mesma direção com vetores de sentidos alternados. Esse princípio é diretamente relacionado a lei de FARADAY-NEUMANN-LENZ, ou simplesmente lei de indução de FARADAY.

Devido a relação de afinidade magnética de atração, repulsão e perturbação de campo que os materiais ferrosos possuem, a escolha dos materiais para a construção do dispositivo foi baseada na lei do magnetismo. Na perspectiva moderna, condutores de correntes elétricas, especificamente entre tais materiais são portadores de cargas elétricas em movimento. O alumínio, o aço inox e o latão foram selecionados a partir de suas propriedades não magnéticas. Assim, evita-se a interação atrativa parcial ou total, caso um referencial seja fixo-móvel e móvel-móvel respectivamente.

O objetivo desse trabalho é construir fisicamente o dispositivo utilizando como aporte teórico as leis de Faraday, magnetismo, energia potencial de molas e vibrações mecânicas. E analisa-lo através da energia fornecida ao sistema com frequência inicial e final determinada para obter as funções de respostas em frequência da aceleração e deslocamento do atuador.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAIS

Esse trabalho objetiva construir um gerador eletrodinâmico variável, que possa ser utilizado para testar fadiga estrutural e fadiga funcional em ligas de memória de forma, utilizando-se as teorias da indução eletromagnética, força de Lorentz e comportamento magnético de ímãs permanentes. Aplicar conhecimentos na concepção do projeto mecânico e de processos de fabricação, como também aplicar o estudo de materiais paramagnéticos.

2.2 ESPECÍFICOS

Construir um gerador eletrodinâmico variável com possibilidade de trabalhar com respostas entre 0 a 2kHz, e amplitude de deslocamento até 8 mm.

Alimentar o sistema com um sinal de 6Vpp e gerar uma verredura de frequência de 0 a 100Hz durante 100 segundos.

Durante esse intervalo, analisar preliminarmente o gerador eletrodinâmico variável utilizando o LabView para gerar a FRF (função de resposta em frequência) e adquirir:

- a função de resposta em aceleração do sistema;
- a função de resposta em amplitude de deslocamento do atuador;
- análise numérica modal a partir dos parâmetros de resposta do equipamento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FORÇA ELETROMOTRIZ

A força eletromotriz é a propriedade que um dispositivo tem de gerar corrente (I) em um circuito com resistência em Ohms (Ω) fixa. Essa força, também chamada de tensão de sinal se configura pelas diferenças de potenciais entre dois polos. Por isso sua expressão é a ($E_2 - E_1$).

Suas equações se resumem em:

- Para geradores: $(E_2 - E_1) = U + rI$
- Para consumidores: $(E_2 - E_1) = U - rI$

Onde o (U) é a tensão aferida no resistor (r) e (I) é a corrente elétrica que atravessa ele.

3.2 CORRENTE ELÉTRICA

A corrente elétrica é o movimento ordenado das partículas eletrizadas em um sentido. Isso só ocorre quando há íons e elétrons livres no interior dos corpos. Esses corpos possuem partículas eletrizadas de forma livre e são chamadas de condutores. Existe dois tipos de correntes: as alternadas e as contínuas.

As correntes alternadas possuem alternância no sentido das cargas que varia com o tempo, por isso que ela possui comportamento oscilatório. Nos circuitos de potência a sua característica é através de onda senoidal. Já as contínuas possuem um único sentido no ordenamento do fluxo de cargas elétricas.

Pela lei de Ampere, a corrente elétrica pode ser calculada através do campo eletromagnético formado pelo sistema. A inversa da permeabilidade magnética (μ_0) como uma constante multiplicada pela integral cíclica do campo pelo infinitesimal (dl) para cada ponto do comprimento do solenoide é dada através da expressão abaixo:

$$I = \frac{1}{\mu_0} \oint_c B \cdot dl$$

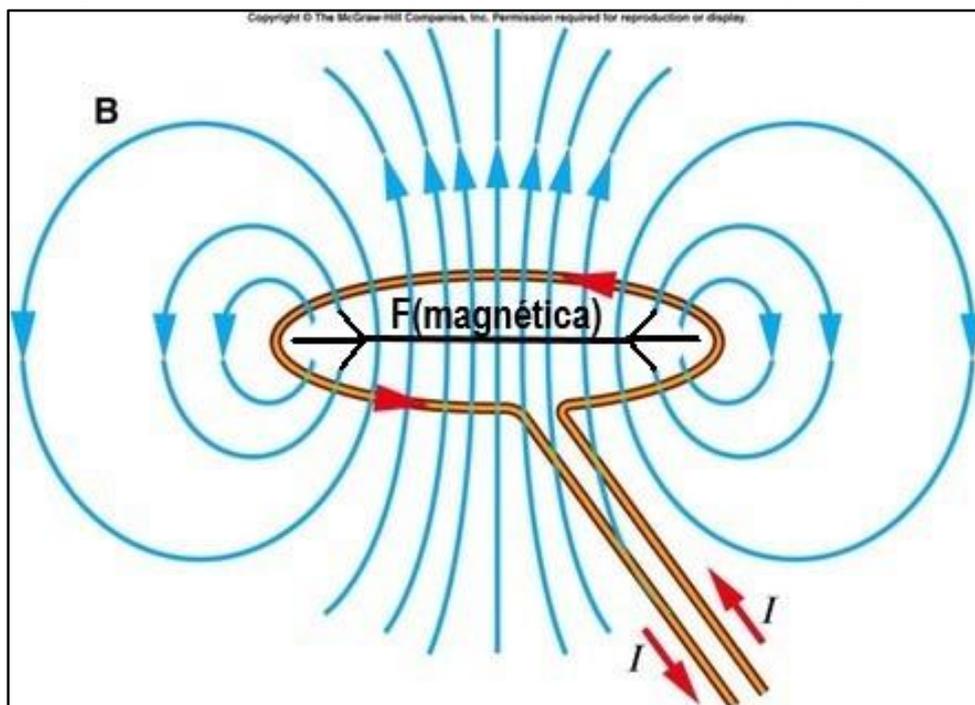
Pela lei de Ohm, a diferença de potencial medida no resistor em Volts dividida pela resistência (r) do condutor em Ohms é igual a corrente que passa pelo resistor, então temos:

$$I = \frac{U}{R}$$

3.3 CAMPO MAGNÉTICO NA BOBINA

A bobina de indução é basicamente um ímã em seu comportamento magnético. O enrolamento da bobina sob tensão de sinal é eletricamente carregada, e através da passagem da corrente elétrica, um campo magnético é formado por um vetor que gira perpendicularmente ao vetor corrente e varre toda a extensão do enrolamento.

Figura 3.1 – Vetor campo magnético, vetor corrente, vetor força magnética



Fonte: Adptado de Fundamentos da Física 3, Halliday;Resnick

A corrente quando é submetido a oscilação de sentido, o vetor campo magnético muda de direção. A bobina trabalha nos dois sentidos vetoriais paralelos a força magnética, e como tal está perpendicular ao campo magnético. A corrente eletrizante (I_e) da bobina tem relação com a corrente (I) gerada pela relação tensão de sinal (V_{ca}) e resistência do enrolamento (Ω), número de espiras com comprimento da bobina (nL). Já o campo magnético (B) possui relação com a permeabilidade magnética do vácuo pelo número de espiras no vetor Z . A lei de Ampere é a integral de circulação da equação do campo aplicada em um comprimento infinitesimal (dl) da bobina entre os intervalos de a até b .

$$\oint B \cdot dl = \int_a^b B \cdot dl = B \cdot L$$

$$I_e = n \cdot L \cdot I$$

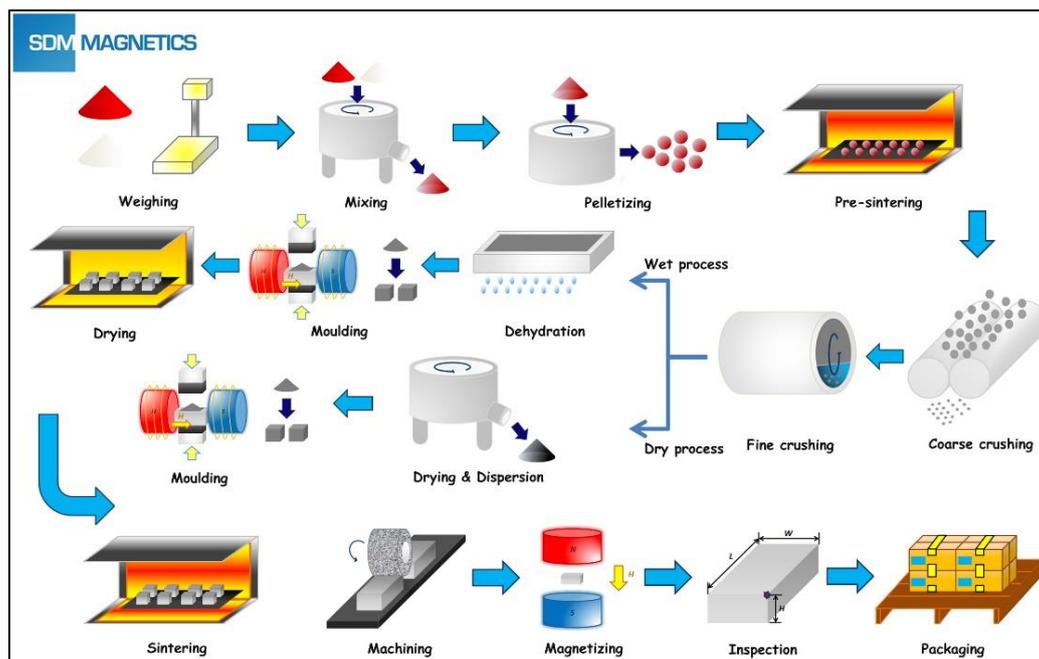
$$N = n \cdot L$$

$$B_{bobina} = \mu_0 \cdot N \cdot I \cdot \hat{Z}$$

3.4 CAMPO MAGNÉTICO NO IMÃ TOROIDAL PERMANENTE

Na **figura 3.2**, o processo de fabricação de ímãs de ferrite anisotrópicos consiste na mistura de óxidos de ferro, carbonatos de bário ou estrôncio com nomeclaturas Y-25 e Y30 respectivamente. Após essa mistura, o pó é prensado em um molde. Depois de secar o molde, o ímã vai para uma câmara onde é submetido a sinterização sob elevadas temperaturas. Terminado esta etapa, ele é usinado na forma que se deseja e magnetizado por bobinas eletromagnéticas. Esse último processo causa um efeito quântico chamado de acoplamento de câmbio, pois os spins dos elétrons de um átomo interagem com os spins dos elétrons dos átomos vizinhos. Logo, há um alinhamento dos momentos dipolares magnéticos dos átomos, (Halliday, David: 2010). Após esse processo, o material não pode ser mais aquecido acima da temperatura de Curie, pois a agitação molecular após essa temperatura crítica é alta o suficiente para prevalecer sobre o acoplamento de câmbio, tornando-se o material paramagnético.

Figura 3.2 – Processo de fabricação de ímãs de ferrite



Fonte: SDM MAGNETICS

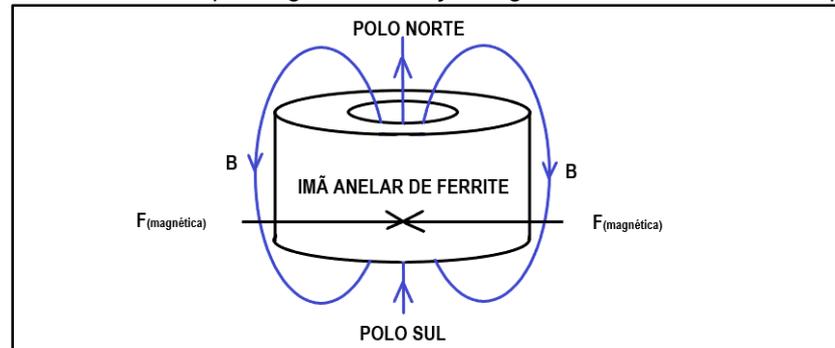
O campo magnético do ímã de ferrite, conhecido também como anel de Rowland (Halliday, David: 2010) tipo toroide possui funcionamento parecido ao da bobina eletromagnética. Porém, como não há indução magnética por corrente elétrica, o campo magnético existente é proveniente do acoplamento de câmbio citado acima. Logo, sua estrutura assume dois polos paralelos entre si.

A caracterização desses ímãs são realizadas através da equação do campo resultante do processo de acoplamento de câmbio, onde configura o alinhamento dos momentos dipolares dos átomos de ferro.

$$B_{imã} = B_0 + B_M$$

O campo (B_0) é o módulo do campo magnético produzido pela indução da corrente elétrica no enrolamento, chamado de magnetização. E o (B_M) é a contribuição do material ferromagnético em alinhar os dipolos magnéticos devido ao acoplamento de câmbio dos spins em escala quântica durante a aplicação de (B_0) (Halliday, David: 2010).

Figura 3.3 – Linhas do campo magnético e força magnética de um ímã toroidal permanente



Fonte: depositphotos

As linhas de campo (B) ou densidade de fluxo (Assumpção., Bastos, João Pedro, 2008) circundam ao redor do ímã toroidal e a força magnética (F) é perpendicular a elas, como está exemplificado na **figura 3.3**. Os fabricantes de ímãs disponibilizam dados em seus catálogos de ímãs de ferrite que indicam: medidas físicas, a densidade de fluxo (B) em Tesla ou Webbers, a intensidade do campo magnético em (OE) Oersteds, e o principal indicador que é o produto energético máximo de um ímã em MEGA-GAUSS-OERSTEDS (MGOe). Assim, o campo magnético dos ímãs pode ser calculado ao aplicar o produto da permeabilidade magnética (μ) do ímã especificado em catálogo pela força magnética (H) caracterizado pelo próprio fabricante.

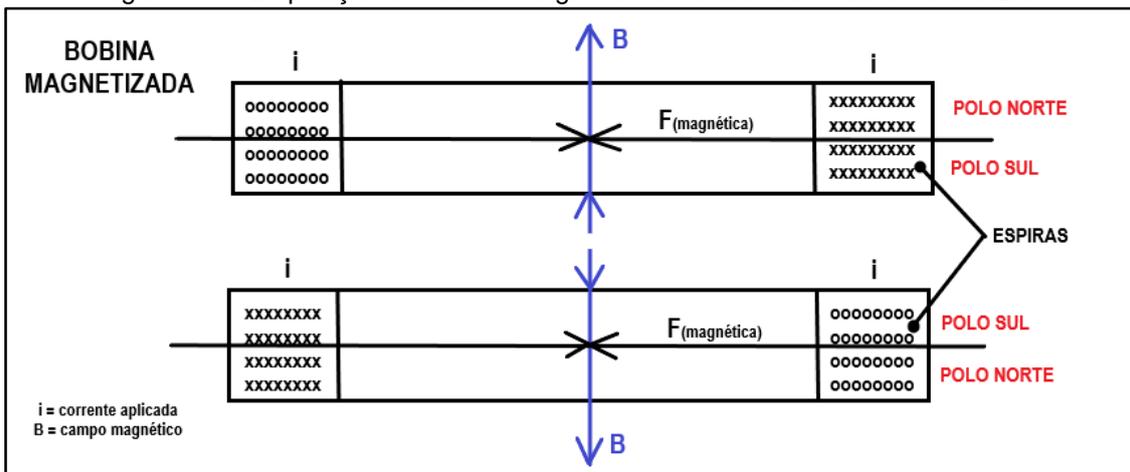
$$B_{imã} = \mu_{imã} \cdot H_{imã}$$

3.5 ANÁLISE DO CAMPO MAGNÉTICO, FORÇAS E DESLOCAMENTO EM UM SOLENOIDE TIPO AUTO FALANTE

3.5.1 ANÁLISE DO CAMPO MAGNÉTICO E DA FORÇA NA BOBINA INDUZIDA DE UM SOLENOIDE

A intensidade da força magnética desenvolvida na bobina ($F_{magnética}$) varia de acordo com o sentido do campo magnético e da corrente. Essas duas variam seus sentidos também, conforme **figura 3.4**. O campo induzido da bobina circula perpendicularmente o fio do enrolamento e varre toda a circunferência ao redor do eixo dela de 0 a 2π .

Figura 3.4 – Disposição do circuito magnético de uma bobina cilíndrica induzida



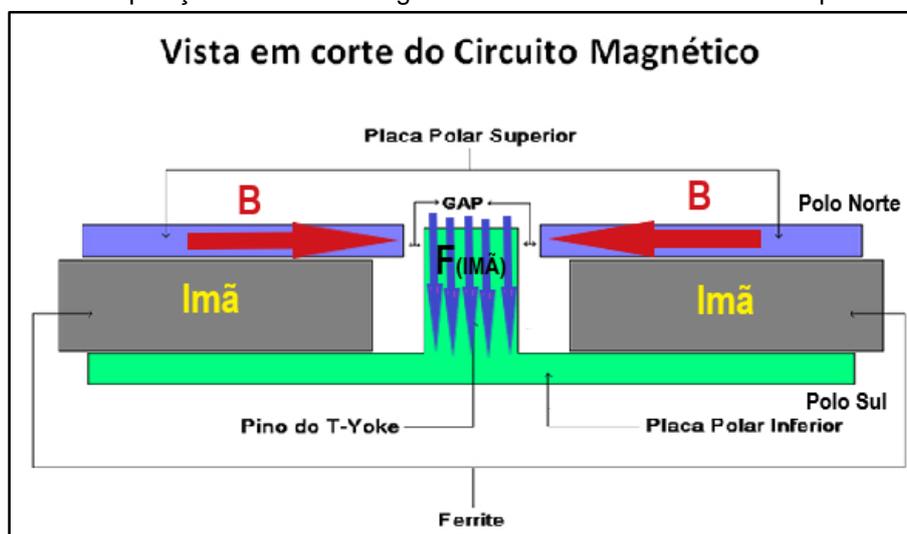
Fonte: Adaptado de <https://www3.ufpe.br/fontana/Eletromagnetismo1>

Na figura 3.5, a bobina solenoide induzida se movimenta no GAP. A repulsão acontece quando a bobina se torna sul e é repelido pelo pino T-Yoke, no caso entreferro. Quando a corrente e o campo trocam de sentido, a bobina se torna norte. Logo sofre atração do pino T-Yoke. Essa oscilação do sentido da corrente emprega o movimento oscilatório da bobina.

3.5.2 ANÁLISE DE FORÇAS NO CIRCUITO MAGNÉTICO DO IMÃ PERMANENTE

Já no imã, as placas polares inferior e superior são imantadas por indução de contato pelos polos sul e norte, respectivamente. O campo magnético do imã permanente reorganiza sua direção e sentido e aponta para o centro do pino T-Yoke, entreferro. O campo varre toda a circunferência de 0 a 2π . As linhas de campo possuem direção horizontal e sentido NORTE-SUL em relação ao eixo do imã.

Figura 3.5 – Disposição do circuito magnético em corte de um solenoide tipo autofalante



Fonte: Adaptado de Polo Magnético

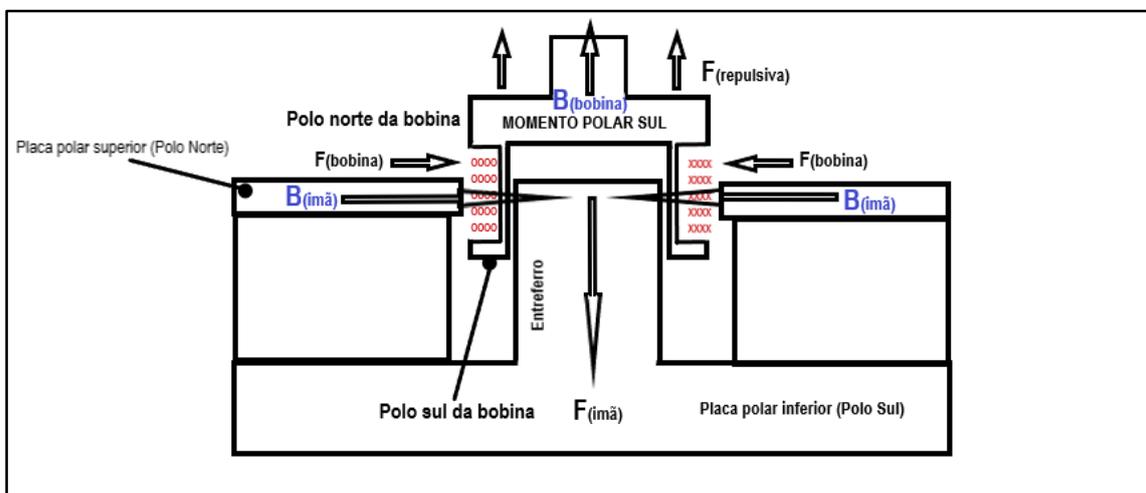
A força magnética ($F_{imã}$), como é perpendicular às linhas de campo, direcionam-se verticalmente e com sentido atrativo para baixo. Devido a esse fenômeno, como está demonstrado na **figura 3.5**, infinitesimalmente o vetor força ($F_{imã}$), varre toda a circunferência de 0 a 2π no pino. Assim, essa indução concentrada explica porque a intensidade da força magnética aumenta significativamente no entreferro, ou seja, no pino T-Yoke.

3.5.3 ANÁLISE DOS CAMPOS MAGNÉTICOS, FORÇAS E SENTIDO DA CORRENTE NO BINÁRIO “BOBINA X IMÃ PERMANENTE”

A bobina se torna um ímã quando suas espiras são energizadas e o fluxo de corrente alternada flui nas espiras. Nesse momento, cria-se o campo magnético induzido na bobina.

A intensidade do campo magnético do ímã possui direção horizontal e se encontra perpendicular ao campo da bobina, **figura 3.6**. A força repulsiva na bobina quando ela se encontra em momento polar sul é igual em módulo e valor a força magnética do ímã, mas com sentido contrário. Logo ocorre repulsão entre polos iguais, pois o entreferro do ímã está em momento polar sul constante.

Figura 3.6 – Campos e forças do binário durante o momento polar sul



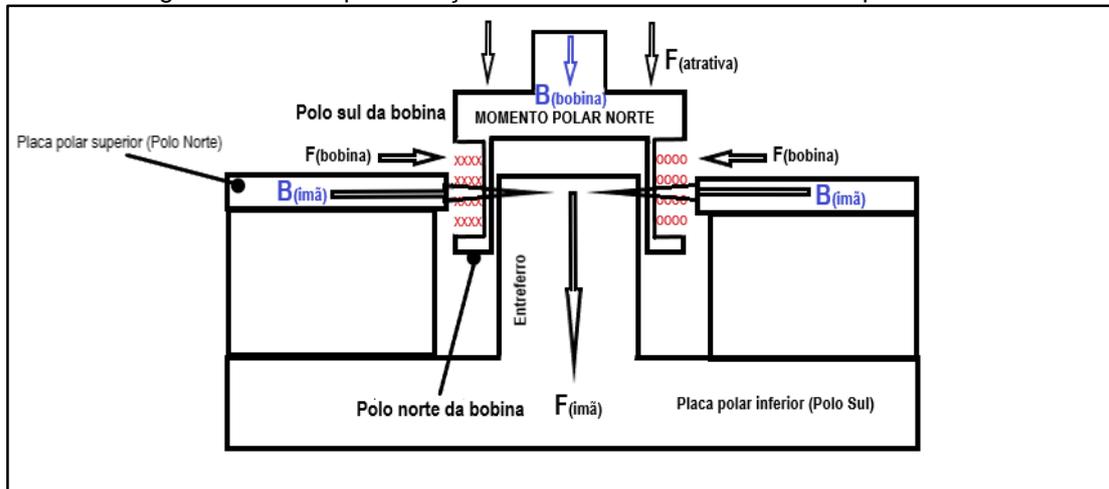
Fonte: Ilustração

Conforme a **figura 3.7**, quando a corrente muda de sentido, o vetor campo da bobina (B_{bobina}) troca de sentido. Essa alternância também modifica os momentos polares da bobina. Devido a essa variação da corrente, a bobina assume momento polar norte. Já que o campo do ímã é constante e o entreferro possui momento polar sul constante, a bobina é atraída pelo pino T-Yoke no mesmo sentido da força magnética do ímã. Esse fenômeno acontece porque os polos agora se encontram com identidades diferentes.

Devido ao fato da força magnética que a bobina gera ser muito pequena ao ser eletrizada, mesmo assim, ela consegue estabilizar a bobina

dentro do **GAP**. Essa estabilização é importante para o movimento porque o sistema magnético de forças que se anulam não deixam a bobina deflexionar (Zhang, Zhipeng; Menq, Chia-Hsiang; 2007). Isso ocorre no momento que a bobina está em momento polar norte quanto em sul.

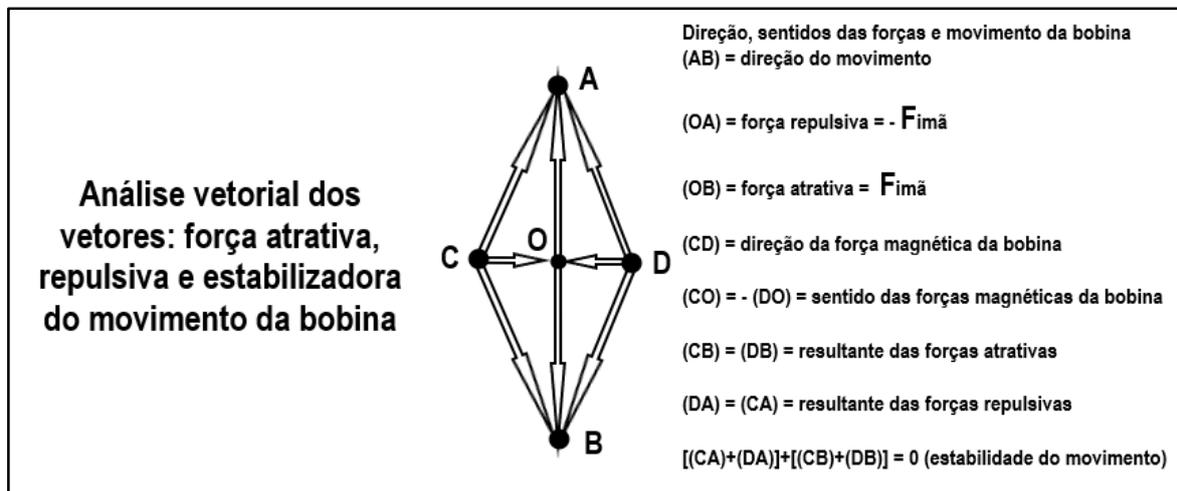
Figura 3.7 – Campos e forças do binário durante o momento polar norte



Fonte: Ilustração

Na teoria, pode-se aplicar o vetor força resultante que é o módulo entre o vetor da força atrativa ou repulsiva com o vetor força da bobina, **figura 3.8**. Pois como os vetores resultantes dessa força possui intensidades iguais e apontam para o centro do eixo do movimento, a bobina se mantém parada na direção horizontal.

Figura 3.8 – Análise vetorial de forças e movimento da bobina

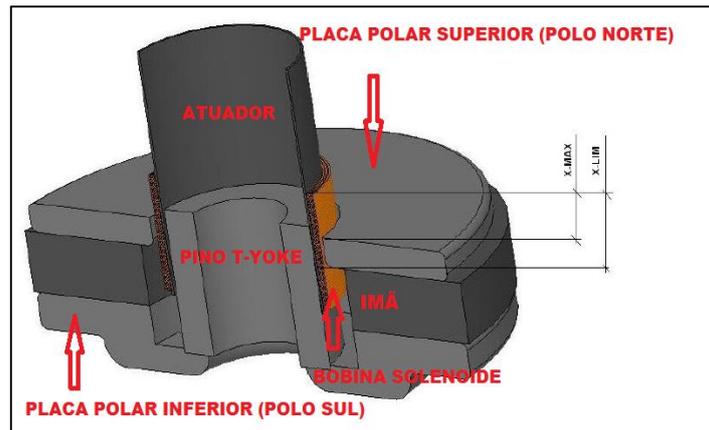


Fonte: Ilustração

3.5.4 ANÁLISE DO DESLOCAMENTO DA BOBINA SOLENOIDE DENTRO DO GAP

As bobinas longas são as mais utilizadas e possuem uma altura máxima de deslocamento nos dois sentidos, que se estendem além da espessura da placa polar superior, (SILVA, Homero Sette, 1996). Elas não podem exceder esse comprimento, pois correm o risco de sair do GAP, explicito na **figura 3.6**. Elas se movimentam imersas no GAP, como na **figura 3.5**.

Figura 3.9 – Altura mínima da bobina longa imersa no GAP da placa polar superior



Fonte: Adaptado de www.autosom.net

Essa altura máxima (X-MAX) é o comprimento de trabalho da bobina, quando a mesma está em ciclo tanto no avanço quanto no retorno. Então o cálculo dessa altura máxima é de:

$$X_{MAX} = \frac{H_{enrolamento} - H_{placapolar superior}}{2}$$

O comprimento de trabalho é a amplitude máxima que o atuador do solenoide consegue avançar em um sentido ou outro, já que sua posição inicial se relaciona com a espessura da placa polar superior.

3.6 ENERGIA RESULTANTE DE UM SOLENOIDE COM MOLAS DE COMPRESSÃO E RETORNO NOS DOIS SENTIDOS DO MOVIMENTO

A energia resultante do movimento do atuador requer uma análise das várias energias envolvidas no sistema em regime estacionário. Essa é feita balanceando as energias de entrada e saída do sistema. As energias envolvidas no processo estacionário são:

- Energia magnética do ímã ($E_{ímã}$);
- Energia armazenada no indutor de bobinas cilíndricas ($E_{indutor}$);

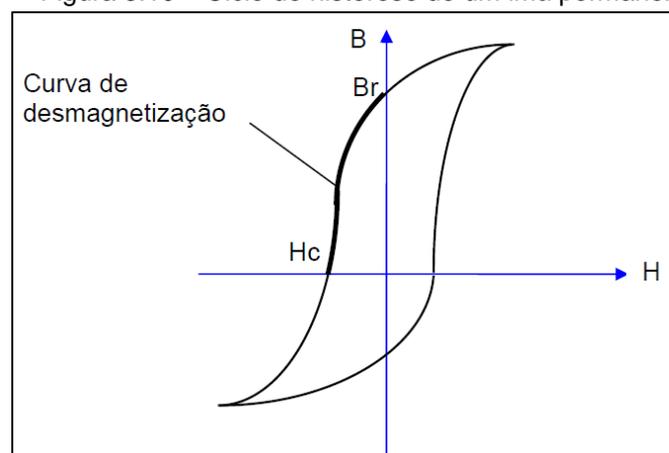
- Energia potencial de um corpo ($E_{\text{potencial}}$);
- Energia potencial elástica das molas de compressão ($E_{\text{potencial elástica}}$).

$$E_{\text{imã}} + E_{\text{indutor}} + E_{\text{potencial}} + E_{\text{potencial elástica}} = 0$$

3.6.1 ENERGIA MAGNÉTICA DOS IMÃS PERMANENTES TOROIDAIS COM ENTRE FERRO EM RELAÇÃO AO MOVIMENTO DE CORPOS.

A energia magnética de um imã é a quantidade de trabalho (W) que o material ferromagnético desenvolve ao acelerar um corpo na repulsão ou na atração. Então, existe uma relação de força, distância e campo magnético devido a sua aceleração. Quando uma partícula entra em seu campo, sua velocidade aumenta de acordo com a aproximação dos polos na atração, ou é expulso a partir dos polos.

Figura 3.10 – Ciclo de histerese de um imã permanente

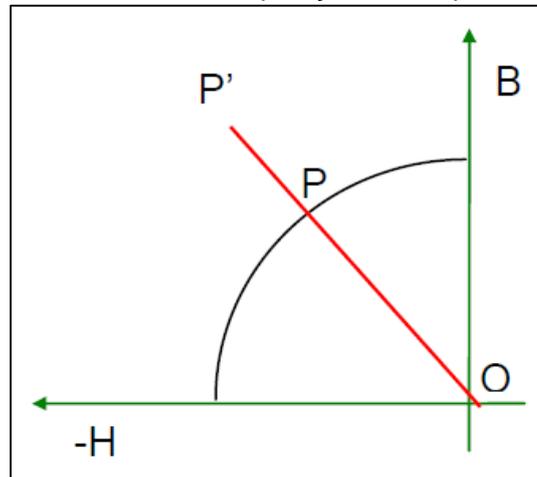


Fonte: UNESP

A região do segundo quadrante, como mostra a **figura 3.7** é aquela que se analisa a curva de desmagnetização e representa as características de um imã permanente. Os imãs com melhores rendimentos têm sua remanência indicada no ponto B_r de inserção da curva de histerese com o eixo B , como também uma alta coercitividade no ponto (H_c) de inserção da mesma curva com o eixo horizontal (Vara de Aquino, Cláudio; Pereira de Alcantara Junior, Naason; 2012), que explicita a medida de relutância à desmagnetização do imã. O máximo valor do produto (BH) é uma característica singular, ou seja, ele indica a máxima densidade de energia que pode ser armazenada no imã permanente. Se o valor de (BH) for alto, menos material vou precisar na confecção do imã para atingir um determinado valor de fluxo magnético.

Quando há o entreferro no circuito magnético, a densidade de fluxo residual adquire um valor menor que (B_r) (dado pelo fabricante do ímã), e ela se situa em um ponto P qualquer da curva, **figura 3.8**.

Figura 3.11 – Ponto de operação do ímã permanente



Fonte: UNESP

Ao traçarmos a reta OP' que possui comportamento linear, encontramos o ponto de operação P.

Na análise do em termos de equações para se chegar ao campo do ímã ($H_{ímã}$), aplica-se a lei de ampere:

$$\oint_l H \cdot dl = N \cdot I = 0$$

Devido ao fato que no ímã permanente a corrente elétrica tem valor zero, a relação é escrita da seguinte forma:

$$H_{ímã} \cdot l_{ímã} + H_{entreferro} \cdot l_{entreferro} = 0$$

Assim, como no entreferro (g) a permeabilidade é baixa e linear, configura-se o campo no entreferro como:

$$B_{entreferro} = \mu_0 \cdot H_{entreferro}$$

Através da expressão acima, reformula-se a equação em função de (B_g), logo:

$$B_{entreferro} = -\mu_0 \cdot \left(\frac{H_{ímã} \cdot l_{ímã}}{l_{entreferro}} \right)$$

O núcleo do entreferro possui as mesmas linhas de influência do campo magnético do imã permanente. Logo, considerando a irradiação do fluxo magnético, temos:

$$B_{\text{entreferro}} \cdot S_{\text{entreferro}} = B_{\text{imã}} \cdot S_{\text{imã}} \Rightarrow B_{\text{entreferro}} = B_{\text{imã}} \cdot \left(\frac{S_{\text{imã}}}{S_{\text{entreferro}}} \right)$$

Igualando as expressões do campo magnético do entreferro ($B_{\text{entreferro}}$), temos:

$$\left(\frac{B_{\text{imã}} \cdot S_{\text{imã}}}{S_{\text{entreferro}}} \right) = \left(\frac{\mu_0 \cdot H_{\text{imã}} \cdot l_{\text{imã}}}{l_{\text{entreferro}}} \right)$$

Isolando o campo magnético do imã ($B_{\text{imã}}$), a expressão se torna:

$$B_{\text{imã}} = -H_{\text{imã}} \left(\frac{\mu_0 \cdot S_{\text{entreferro}} \cdot l_{\text{imã}}}{S_{\text{imã}} \cdot l_{\text{entreferro}}} \right)$$

As variáveis existentes nessa equação são: campo derivado do imã ($H_{\text{imã}}$); permeabilidade no vácuo (μ_0); área do entreferro ($S_{\text{entreferro}}$); comprimento do imã ($l_{\text{imã}}$); área do imã ($S_{\text{imã}}$); comprimento do entreferro ($l_{\text{entreferro}}$). Todas as dimensões estão nos desenhos construtivos localizado no anexo I.

O trabalho que o imã gera pela magnetização é descrito pelas equações abaixo:

$$W_{\text{imã}} = F_{\text{magnética}} \cdot d_{\text{corpo}}$$

O trabalho (W) varia de acordo com a posição (d) da partícula imersa no campo magnético do imã, e ganha velocidade. Então, aplicamos a lei de Lorentz para cargas puntiformes:

$$F_{\text{magnética}} = q_{\text{carga}} \cdot v_{\text{velocidade}} \cdot B_{\text{imã}}$$

E por fim, fazendo as devidas substituições de unidade na expressão acima:

$$B_{\text{imã}} = 1\text{Tesla} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{C.s}} \right)$$

$$W_{\text{imã}} = F_{\text{magnética}} \cdot d_{\text{corpo}} = \left[\text{C} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{Kg}}{\text{C.s}} \right] \cdot \text{m} = \text{Kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

3.6.2 ENERGIA ARMAZENADA NO INDUTOR DE BOBINAS CILÍNDRICAS

No indutor, existe uma energia armazenada que é igual ao trabalho necessário para estabelecer o fluxo de corrente constante nele, e consequentemente a formação do campo magnético. Nos testes com bobinas solenoides é comum fazer o fluxo de corrente variar de valor ou sentidos, dependendo do tipo de alimentação. As tensões de alimentações de sinais podem ser contínuas (V_{CC}) ou alternada (V_{CA}). Consequentemente, o campo magnético sofre modificação em sua área de imersão devido ao aumento da extensão das linhas de campo (Cardoso, José Roberto; 2011). A força magnética também sofre alternância em termos de sentidos vetoriais e valor devido a esse fenômeno.

Logo, a energia armazenada no indutor na forma de trabalho é descrita através da equação abaixo:

$$E_{armazenada} = W_{indutor} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

A corrente que circula no indutor é representada pela letra (I) e (L) é a indutância medida em henry (H). Essa característica das bobinas auto induzidas em solenoides obedecem ao fluxo de campo:

$$\phi_B = L \cdot I$$

Para o sistema do solenoide funcionar, a força eletromotriz induzida será a derivada do fluxo do campo magnético pelo tempo:

$$\mathcal{E}_{induzida} = -\frac{d\phi_B}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt} = -\left(\frac{L}{R}\right) \cdot \frac{dV}{dt}$$

Assim, temos pela lei de Faraday, e força eletromotriz necessária para estabelecer a indutância na bobina solenoide. Logo, a indutância possui parâmetros proporcionais entre fluxo magnético e corrente. Na equação da força insere-se o número de espiras (N) do solenoide como fator multiplicador:

$$\mathcal{E}_{induzida} = -N \cdot \frac{d\phi_B}{dt}$$

Então, a indutância com (N) espiras é dada por:

$$L_{indutância} = N \cdot \frac{\phi_B}{i} [H]$$

A relação da indutância por unidade comprimento da bobina solenoide é:

$$\frac{L}{l} = \frac{N \cdot \phi_B}{li} = \frac{(n \cdot L \cdot \mu_0 \cdot n \cdot i \cdot A)}{li} = \mu_0 \cdot n^2 \cdot A$$

$$B_{bobina} = N \cdot \frac{\mu_0 \cdot I}{D}$$

$$F_{bobina} = I_{aplicada} \cdot l_{comprimento} \cdot B_{bobina}$$

Logo, como o solenoide em questão possui um entreferro circular no núcleo do indutor, a indutância cresce devido a concentração das linhas de campo. Consequentemente, o fluxo também aumenta. O trabalho realizado pelo indutor, ao substituímos essa última equação na de energia indutiva, é:

$$E_{armazenada} = W_{indutor} = \frac{1}{2} \cdot [\mu_0 \cdot n^2 \cdot A \cdot l] I^2$$

3.6.3 ENERGIA POTENCIAL DE UM CORPO

A energia potencial se relaciona com a força e deslocamento de um corpo. Essa relação é estabelecida vetorialmente, onde um corpo sofre a ação de uma força em um determinado ponto inicial e desenvolve movimento até o ponto final. Essa energia é calculada por essa variação de deslocamento. Então temos:

$$W_{corpo} = E_{potencial} = \int_C F \cdot dr = U(r_2) - U(r_1) = \Delta U$$

O trabalho é igual a energia disponível que o corpo adquiri no momento da aplicação da força em um ponto até o outro. A força, pela segunda lei de Newton diz que é proporcional a segunda derivada do deslocamento, ou seja, a aceleração.

$$F = m \cdot \frac{d^2S}{dt^2} = m \cdot a$$

Por outro lado, a massa de um material está relacionada com seu volume e massa específica. Então, aplica-se essa relação para achar a massa do conjunto do atuador e bobina, aplicamos a seguinte expressão:

$$m_{\text{específica}} = \frac{Kg}{m^3} \Rightarrow m_{Kg} = m_{\text{específica}} \cdot V_{\text{corpo}}$$

Na forma estacionária, a força peso do solenoide e atuador na vertical é a única que se mantém constante durante o equipamento parado. Ou seja, se não tem deslocamento, não há trabalho e energia potencial de movimento. Então, o trabalho da força peso é igual a zero

$$P = m \cdot g$$

$$W_{\text{peso}} = \int_{-r}^{+r} P \cdot dr$$

$$-r < 0 < +r \Rightarrow r \in R$$

Porém quando solenoide entre em funcionamento devido ao ciclo de trabalho na mesma direção e sentidos apostos, as expressões e análises matemáticas mudam. Logo, temos:

Para o primeiro ciclo de deslocamento $[0;r]$, temos:

$$W_{\text{atuador}}^+ = \int_0^r F \cdot dr - W_{\text{peso}}$$

Para o segundo ciclo de deslocamento $[0;-r]$, temos:

$$W_{\text{atuador}}^- = \int_{-r}^0 F \cdot dr + W_{\text{peso}}$$

Logo, a energia potencial dinâmica resultante será a soma dos trabalhos do solenoide na mesma direção e com sentidos apostos.

$$W_{\text{total}} = W_+ + W_- = \int_0^r F \cdot dr + \int_{-r}^0 F \cdot dr$$

3.6.4 ANÁLISE DA ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA DAS MOLAS DE COMPRESSÃO

A energia potencial elástica se relaciona com a energia mecânica necessária para deformar uma mola, seja comprimindo o estendendo. Dessa forma, todas as duas deformações acumulam energia suficiente

para, caso a força seja retirada, o corpo voltar ao seu estado inicial. Isto é, a energia é igual ao trabalho cíclico que a mola desenvolve a partir do referencial de repouso até voltar a ele (Rao, Singiresu; 2008). As forças deformantes são proporcionais às deformações elásticas produzidas (Hooke, Robert; 1660). Então, a equação da energia potencial elástica adquire a seguinte configuração:

$$E_{elástica} = W_{mola} = \int_a^b F \cdot x \cdot dx = \frac{1}{2} \cdot [k_{equivalente} \cdot x^2]_a^b = \frac{1}{2} \cdot [k_{equivalente} \cdot b^2] - \frac{1}{2} [k_{equivalente} \cdot a^2]$$

O (K) da mola é a constante elástica da mola que está sendo utilizada no sistema. As disposições das molas podem ser em paralelo, em série ou utilizando os dois sistemas juntos (Landau, L.D.; Lifshitz, E. M; 1986).

Associação de molas em série são sistemas oscilatórios que podem ser reduzidas a uma constante equivalente, como na equação abaixo.

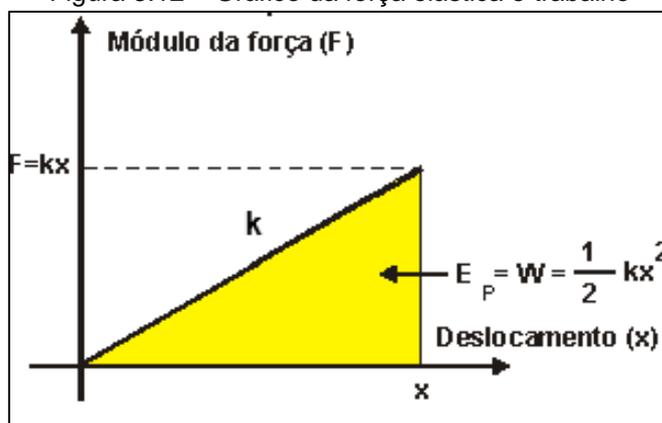
$$\frac{1}{K_{equivalente}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{K_i} \right)$$

Associação de molas em paralelo são sistemas oscilatórios que podem ser reduzidas também a uma constante equivalente, porém existe uma diferença equacional em relação a em série. A constante equivalente é regida pela equação abaixo.

$$K_{equivalente} = \sum_{i=1}^n K_i$$

A equação da força elástica, conhecida também como lei de Hooke é igual ao produto da constante elástica da mola pelo seu deslocamento sem retorno. Ou seja, é a força suficiente para deformar a mola até um determinado ponto tendo um referencial inicial de repouso. Ela é uma função linear [F(x)] dependente do seu deslocamento (x), e o seu gráfico [x;F(x)] é representado por uma reta ascendente com inclinação (k).

Figura 3.12 – Gráfico da força elástica e trabalho



Fonte: Adaptada de Alfaconnection

A área amarela do gráfico, **figura 3.11**, abaixo da reta (k) representa a energia potencial elástica do sistema massa-mola. Ela é igual ao trabalho necessário para que haja deformação de um determinado sistema de mola ou molas, como descrito acima.

$$\Delta F = k \cdot \Delta x$$

$$k_{\text{reta}} = \frac{\Delta F}{\Delta x}$$

$$k_{\text{reta}} = \frac{F_0 - F_1}{x_0 - x_1}$$

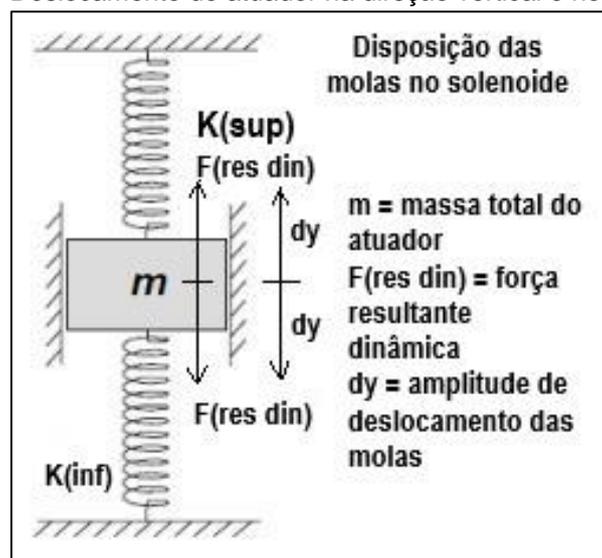
O sistema vibracional é classificado como forçado, pois recebe energia externa durante a vibração. Nesse caso a energia é proveniente do trabalho da força resultante dinâmica pelo deslocamento do corpo acionado. A sua classificação, perante a aplicação da força e movimento denomina-se de vibração determinística. Isto é, a magnitude de excitação possui relação com instantes temporais.

A vibração harmônica segue o modelo de vibração forçada não amortecida, onde a força de excitação $[F(t)]$ é calculada a partir das relações de amplitude (F_0), frequência (ω) e ângulo de fase (ϕ).

$$F(t) = F_0 \cdot \text{sen}(\omega t + \phi)$$

Na vibração forçada, onde há excitação de uma força externa, a equação do movimento é descrita por coordenadas. No caso do sistema na **figura 3.12**, a força resultante vertical recebe sua orientação de $y(t)$. Então, utiliza-se o modelo de equação diferencial ordinária (EDO) de segunda ordem para estabelecer a influência que a força de excitação possui de acordo com o deslocamento (dy), **figura 3.12**.

Figura 3.13 – Deslocamento do atuador na direção vertical e nos dois sentidos



Fonte: Adaptado de Vibrações Mecânicas; Rao, Singiresu; 2008)

O sistema vibracional acima possui dois graus de liberdade, pois temos dois deslocamentos e uma única massa. A equação diferencial ordinária de segunda ordem se configura conforme as matrizes de massa $[m]$ e constante de rigidez da mola $[k]$, coeficiente de amortecimento $[c]$ da seguinte forma:

$$F(t) = [m] \cdot \ddot{y}(t) + [c] \cdot \dot{y} + [k] \cdot y$$

$$[c] = 0$$

Na forma matricial, as matrizes de massa e rigidez respectivamente são relacionadas com a massa do corpo, e a constante equivalente de mola. Essa última é a soma das constantes, pois estão em paralelo as molas superiores e inferiores. Uma observação para o coeficiente de amortecimento que é igual a zero porque no sistema em estudo a vibração é não amortecida.

$$[m] = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{\text{sup}} + k_{\text{inf}} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[c] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$y(t) = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}$$

$$F(t) = \begin{Bmatrix} F(t) \\ 0 \end{Bmatrix}$$

3.7 TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER (FFT) E FUNÇÃO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA (FRF)

. A Transformada rápida de Fourier, em inglês Fast Fourier Transform ou simplesmente FFT, caracteriza-se por ser um algoritmo eficiente que calcula a Transformada discreta de Fourier (DFT) e a sua inversa com mais agilidade e precisão.

A análise de Fourier resume-se na conversão de um sinal, no caso desse presente trabalho o sinal de saída do acelerômetro, do seu domínio original para uma representação no domínio da frequência e vice-versa. Nesse caso a **FFT** é calculada em softwares de análise de dados, (**MatLab**®), em tempo real. Ele recebe os dados pelas portas de entrada e já produz o gráfico de resposta em frequência instantaneamente.

Uma Transformada rápida de Fourier calcula eficazmente essas transformações ao fatorar a matriz da Transformada discreta de Fourier

(DFT) em um produto de fatores esparsos incluindo o zero. Os seus resultados demonstram conseguir a redução da complexidade em calcular a Transformada discreta de Fourier de ordem **(n^2)**. Ou seja, na ordem de n elevado ao quadrado, que surge se alguém simplesmente aplica a definição de Transformada discreta de Fourier, com ordem **($n \log n$)**, onde n é o tamanho dos dados. E isso, se aplica às funções de resposta em frequência que utiliza esse tratamento de dados para construir os gráficos de resposta em aceleração e deslocamento, no caso desse trabalho.

4. MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

Os aspectos geométricos construtivos do gerador eletrodinâmico variável foram preponderantes para a escolha dos processos de usinagem, ferramentas de corte e materiais não ferrosos.

A concepção do projeto foi preparada a partir de conceitos de dispositivos já existentes no mercado, como na **figura 4.1**. A primeira medida tomada foi elaborar uma proposta utilizando o INVENTOR® como plataforma de desenho e modelagem.

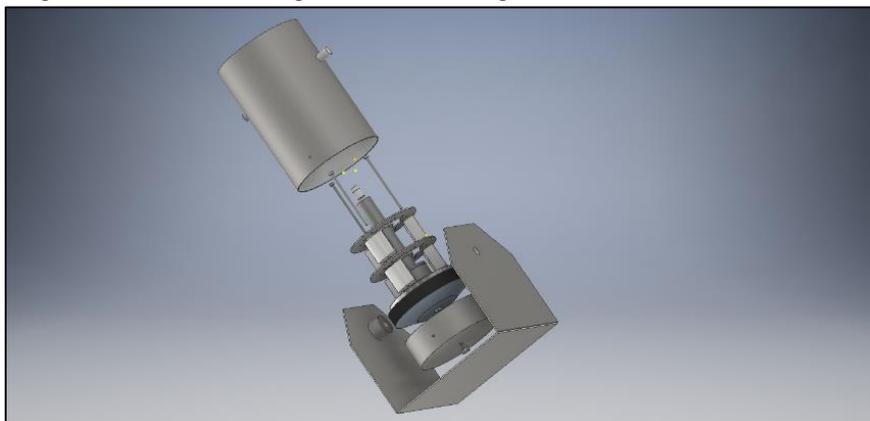
Figura 4.1 – Gerador eletrodinâmico variável comercial



Fonte: PSP Brasil

O objetivo foi visualizar a pré-montagem com o recurso de vista explodida no espaço, ou seja, na terceira dimensão. Dessa forma fica mais claro as características construtivas do equipamento, **figura 4.2**.

Figura 4.2 – Pré-montagem conceito do gerador eletrodinâmico variável



Fonte: Autoria própria

4.1.1 MATERIAIS NÃO FERROSOS

As peças e suas funcionalidades foram discutidas e analisadas. Há uma restrição de fabricação em relação a escolha de materiais. Pois devido ao fato do gerador trabalhar com campos magnéticos, os componentes do gerador não podem ser ferromagnéticos.

Assim, optou-se pelos seguintes materiais relacionados na **tabela 4.1**:

Tabela 4.1 – Relação de materiais, quantidade e custo para a produção do dispositivo

MATERIAIS	DIMENSÕES E MASSAS BRUTAS	QUANTIDADE DE PEÇAS	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL ITEM (R\$)
BARRA CIRCULAR DE ALUMÍNIO – 6061	Ø115X50 MM	1	64,77	64,77
BARRA CIRCULAR DE ALUMÍNIO – 6061	Ø165X50 MM	1	110,23	110,23
BARRA CIRCULAR DE ALUMÍNIO – 6061	Ø25X400 MM	1	41,33	41,33
BARRA CIRCULAR DE ALUMÍNIO – 6061	Ø50X100 MM	1	55,29	55,29
BARRA CIRCULAR DE LATÃO – C360	Ø25X250 MM	1	68,65	68,65
CHAPA DE INOX - 304	2000X1000 MM	1	1260,00	1260,00
BARRA ROSCADA DE INOX - 304	Ø9,525X1000 MM	1	25,00	25,00
PARAFUSO BORBOLETA DE INOX - 304	Ø9,525 MM	9	2,65	23,85
ARRUELAS DE INOX - 304	Ø9,525 MM	9	0,90	8,10
FIO DE COBRE ES-MALTADO: AWG 15 – B194	Ø1,6X14000 MM	1	14,00	14,00
PARAFUSO PRISIONEIRO INOX - 304	ØM6X25 MM	1	0,35	0,35
COLA EPÓXI 120 MINUTOS	90 G	1	20,00	20,00
COLA EPÓXI 10 MINUTOS	75 G	3	19,89	59,67
BASE DO CIRCUITO MAGNÉTICO – FOFO CINZENTO	Ø170X50 MM	1	40,00	40,00
MOLAS DE COMPRESSÃO	Ø18X15X33/1.1	6	8,00	48,00
IMÃ DE FERRITE	Ø200X108X24 MM	1	-	-
CUSTO TOTAL (R\$)			1.839,24	

4.1.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

O gerador eletrodinâmico variável foi parcialmente produzido a partir de diversos processos de fabricação na oficina do Centro de Tecnologia e Centro de Engenharia de Energias Renováveis, exceto o circuito magnético proveniente de um alto falante usado. Os processos requereram a utilização de vários equipamentos, vide **tabela 4.2**.

Tabela 4.2 – Processos de fabricação, maquinário, quantidade e horas de usinagem

FABRICAÇÃO DO GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL					
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO					
TÉCNICO RESPONSÁVEL: GUSTAVO CARVALHO PEREIRA					SIAPE
					1980193
PEÇA	PROCESSO	MÁQUINA	MAT.	QUAN.	TEMPO DE PRODUÇÃO
CORPO DA BOBINA	TORNEAMENTO	TORNO MECÂNICO	ALUMÍNIO	1	6 HORAS
DISCO BASE	FURAÇÃO; ROSQUEAMENTO	FURADEIRA E DESANDADOR	AÇO 1020	1	1 HORA
DISCO ESTABILIZADOR	TORNEAMENTO; FURAÇÃO; CORTE POR ESMERIL; AJUSTAGEM	TORNO MECÂNICO; FURADEIRA; ESMERILHADEIRA; LIMA	ALUMÍNIO	1	8 HORAS
DISCOS DE APOIO	CORTE POR ESMERIL; FURAÇÃO; TORNEAMENTO; ESCOVAMENTO	ESMERILHADEIRA; FURADEIRA; TORNO MECÂNICO; ESCOVA ROTATIVA	AÇO INOX 304	4	8 HORAS
EIXO CENTRAL	TORNEAMENTO; ROSQUEAMENTO	TORNO MECÂNICO; DESANDADOR	ALUMÍNIO	1	4 HORAS
EIXO SECUNDÁRIO	TORNEAMENTO; ROSQUEAMENTO	TORNO MECÂNICO; DESANDADOR	ALUMÍNIO	1	4 HORAS
PINO GUIA VAZADO	TORNEAMENTO	TORNO MECÂNICO	LATÃO	3	2 HORAS
TIRANTE PRENDEDOR DA ESTRUTURA	CORTE POR ESMERIL; ESCOVAMENTO	ESMERILHADEIRA; ESCOVA ROTATIVA	AÇO INOX 304	3	¼ DE HORA
TIRANTE PRENDEDOR DO PINO GUIA DA MOLA	CORTE POR ESMERIL; ESCOVAMENTO	ESMERILHADEIRA; ESCOVA ROTATIVA	AÇO INOX 304	3	¼ DE HORA
VIGAS DE SUSTENTAÇÃO	TORNEAMENTO	TORNO MECÂNICO	ALUMÍNIO	6	3 HORAS
BUCHA DO DISCO ESTABILIZADOR	TORNEAMENTO	TORNO MECÂNICO	LATÃO	3	2 HORAS
TOTAL DE HORAS DE FABRICAÇÃO					38,5

As ferramentas utilizadas para a produção e acabamento foram escolhidas pela compatibilidade do material em obter a melhor eficiência possível. A **tabela 4.3** traz a relação das ferramentas e seus respectivos processos de fabricação.

Tabela 4.3 – Relação de ferramentas, suas medidas e processos de usinagem

FABRICAÇÃO DO GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E FERRAMENTAS		
TÉCNICO RESPONSÁVEL: GUSTAVO CARVALHO PEREIRA		MATRICULA
		1980193
PROCESSO	FERRAMENTAS	MEDIDAS EM MM E POLEGADAS
TORNEAMENTO	PASTILHA DE METAL DURO	-
FURAÇÃO	BROCA DE AÇO RÁPIDO (HSS)	Ø2,4,5,6,8,10,11,12,13,15,16,18,20, 3/8"
CORTE POR ES-MERIL	DISCO ROTATIVO PARA INOX	4 ½" X 1,2
ROSQUEA-MENTO	MACHO DE ROSCA INTERNA DE AÇO RÁPIDO	M6; M12; W3/8"
ESCOVAMENTO	ESCOVA ROTATIVA DE AÇO	4 ½"

O fluido de corte para usinagem de metais foi utilizado para melhorar a usinabilidade e acabamento superficial durante o corte. Os fluidos escolhidos foram o “óleo solúvel”, **figura 4.3**, que é uma emulsão quando misturado com água e o óleo para abertura de rosca.

Figura 4.3 – Fluidos de corte



Fonte: Quimatic e Vonder

4.1.3 EQUIPAMENTOS PARA ANÁLISES PRELIMINAR DO DISPOSITIVO

4.1.3.1 FONTE DE ALIMENTAÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE

A fonte de tensão utilizada para alimentar circuitos elétricos em bancadas experimentais. No caso do gerador eletrodinâmico variável, a fonte escolhida foi o modelo Intelbrás EFM 1210. Vide **tabela 4.4**, para maiores informações técnicas do equipamento.

Tabela 4.4 – Informações técnicas da fonte de tensão

TENSÃO NOMINAL DE ENTRADA	100 A 240 VAC
MÁXIMA VARIAÇÃO DA TENSÃO	90 A 264 VAC
CORRENTE	3 A MÁXIMO (COM TENSÃO E CARGA NOMINAIS)
FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA	50 OU 60 HZ
MÁXIMA VARIAÇÃO NA FREQUÊNCIA DA REDE ELÉTRICA	47 A 63 HZ
TENSÃO NOMINAL DE SAÍDA	12,8 VDC
VARIAÇÃO DA TENSÃO	11,5 A 13,8 VDC
CORRENTE MÍNIMA:	0 A
MÁXIMA:	10 A
POTÊNCIA SEM CARGA:	1,2 W MÁXIMO
CARGA NOMINAL:	128 W
EFICIÊNCIA >	75% (CARGA NOMINAL)
RIPPLE E RUÍDO	150 MV (PICO A PICO)

Fonte: <https://backend.intelbras.com>

4.1.3.2 AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA

O amplificador de potência é o equipamento que recebe uma pequena quantidade de energia nos pinos de entrada e distribui na sua saída

um sinal de energia maior. Na eletrônica são chamados de amplificadores eletrônicos de sinal e servem para transmissão de áudio e vídeo.

Tabela 4.5 – Amplificador de potência STETSOM®, modelo CL 500

NÚMERO DE CANAIS	2
POTÊNCIA RMS EM 4 OHMS 12,6V	2 x 65W RMS
TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO	13,8V
RESPOSTA EM FREQUÊNCIA	20Hz ~ 20.000Hz
IMPEDÂNCIA DE ENTRADA	50 Ohms
IMPEDÂNCIA MÍNIMA DE SAÍDA	4 ~ 8 Ohms
CONSUMO COM SINAL MUSICAL	200mA ~ 12A
DIMENSÕES (A X L X C) MM	6 x 19 x 15 cm
PESO KG	1,28 Kg

Fonte: STETSOM

A relação de entrada e saída do amplificador é geralmente expressa em função da frequência de entrada e é denominada de função de transferência do amplificador (Verhoeven CJM, van Staveren A, Monna GLE, Kouwenhoven MHL e Yildiz E; Structured electronic design: negative feedback amplifiers; 2003).

No teste do gerador eletrodinâmico variável foi aplicado o amplificador de potência STETSOM®, modelo CL 500, de acordo com as especificações técnicas na **tabela 4.5**.

4.1.3.3 PLACA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS

Interface que colhe e redireciona os dados ao computador por meio de interface. Combinações de E/S analógicas, E/S digitais e funções de

contador/temporizador em um único dispositivo para sistemas computacionais.

Figura 4.4 – Informações técnicas NI USB – 6216

Timing resolution	50 ns
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Input coupling	DC
Input range	± 0.2 V, ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V
Maximum working voltage for analog inputs (signal + common mode)	± 10.4 V of AI GND
CMRR (DC to 60 Hz)	100 dB
Input impedance	
Device on	
AI+ to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF
AI- to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF
Device off	
AI+ to AI GND	1,200 Ω
AI- to AI GND	1,200 Ω
Input bias current	± 100 pA
Crosstalk (at 100 kHz)	
Adjacent channels	-75 dB
Non-adjacent channels	-90 dB
Small signal bandwidth (-3 dB)	1.5 MHz
Input FIFO size	4,095 samples
Scan list memory	4,095 entries
Data transfers	USB Signal Stream, programmed I/O
Overvoltage protection for all analog input and sense channels	
Device on	± 30 V for up to two AI pins
Device off	± 20 V for up to two AI pins
Input current during overvoltage condition	± 20 mA maximum/AI pin
Settling Time for Multichannel Measurements	
Accuracy, full-scale step, all ranges	
± 90 ppm of step (± 6 LSB)	2.5 μ s convert interval
± 30 ppm of step (± 2 LSB)	3.5 μ s convert interval
± 15 ppm of step (± 1 LSB)	5.5 μ s convert interval

Fonte: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375198d.pdf>

Os dispositivos de E/S multifuncionais oferecem uma combinação de E/S com várias quantidades de canais, taxas de amostragem, taxas de saída e outros recursos que atendem a muitos requisitos comuns de medição.

Esses dispositivos são ideais para uma ampla variedade de aplicações da indústria, como automação de laboratórios, pesquisa, e verificação de projetos.

O software DAQExpress™ incluso fornece medições e análises básicas, enquanto o driver NIDAQmx fornece a capacidade de criar aplicações de controle e medição automatizadas e customizadas.

4.1.3.4 GERADOR DE FUNÇÃO

O gerador de função com informações técnicas na **figura 4.5** é um dispositivo eletrônico que serve para gerar sinais elétricos de tensão ao ajustar a forma de onda e frequência desejadas. A saída do gerador ligada ao circuito promove o controle de sinais do tipo senoidais, triangulares, quadrados, dente-de-serra.

Figura 4.5 – Informações técnicas do gerador de função Agilent 33220A

Waveforms		Noise	Rear Panel Output
Standard	Sine, Square, Ramp, Triangle, Pulse, Noise, DC	Bandwidth 9 MHz typical	Frequency 10 MHz
Built-in arbitrary	Exponential rise, Exponential fall, Negative ramp, Sin(x)/x, Cardiac	Arbitrary	Level 632 mVpp (0 dBm), typical
Waveforms Characteristics		Frequency range 1 µHz to 6 MHz	Impedance 50 Ω typical, AC coupled
Sine		Waveform length 2 to 64 k points	Phase Offset
Frequency Range	1 µHz to 20 MHz	Amplitude resolution 14 bits (including sign)	Range +360° to -360°
Amplitude Flatness ^[1] [2] (relative to 1 kHz)	< 100 kHz 0.1 dB 100 kHz to 5 MHz 0.15 dB 5 MHz to 20 MHz 0.3 dB	Sample rate 50 MSa/s	Resolution 0.001°
Harmonic distortion ^[2] [3]	< 1 Vpp ≥ 1 Vpp DC to 20 kHz -70 dBc -70 dBc 20 kHz to 100 kHz -65 dBc -60 dBc 100 kHz to 1 MHz -50 dBc -45 dBc 1 MHz to 20 MHz -40 dBc -35 dBc	Min. Rise/Fall Time 35 ns typical	Accuracy 20 ns
Total harmonic distortion ^[2] [4]	DC to 20 kHz 0.04%	Linearity < 0.1% of peak output	Modulation
Spurious (non-harmonic) ^[2] [4]	DC to 1 MHz -70 dBc 1 MHz to 20 MHz -70 dBc + 6 dB/octave	Settling Time < 250 ns to 0.5% of final value	AM
Phase noise (10 kHz offset)	-115 dBc / Hz, typical	Jitter (RMS) 6 ns + 30 ppm	Carrier waveforms Sine, Square, Ramp, Arb
Square		Non-volatile memory four waveforms	Source Internal/External
Frequency range	1 µHz to 20 MHz	Common Characteristics	Internal modulation Sine, Square, Ramp, Triangle, Noise, Arb (2 mHz to 20 kHz)
Rise/Fall time	< 13 ns	Frequency	Depth 0.0% to 120.0%
Overshoot	< 2%	Accuracy ^[5] ± (10 ppm + 3 pHz) in 90 days ± (20 ppm + 3 pHz) in 1 year	FM
Variable duty cycle	20% to 80% (to 10 MHz) 40% to 60% (to 20 MHz)	Resolution 1 µHz	Carrier waveforms Sine, Square, Ramp, Arb
Asymmetry (@ 50% duty)	1% of period + 5 ns	Amplitude	Source Internal/External
Jitter (RMS)	1 ns + 100 ppm of period	Range 10 mVpp to 10 Vpp into 50 Ω 20 mVpp to 20 Vpp into open circuit	Internal modulation Sine, Square, Ramp, Triangle, Noise, Arb (2 mHz to 20 kHz)
Ramp, Triangle		Accuracy ^[1] [2] [3] [4] (at 1 kHz) ± 1% of setting ± 1 mVpp	Deviation DC to 10 MHz
Frequency range	1 µHz to 200 kHz	Units Vpp, V _{rms} , dBm	PM
Linearity	< 0.1% of peak output	Resolution 4 digits	Carrier waveforms Sine, Square, Ramp, Arb
Variable Symmetry	0.0% to 100.0%	DC Offset	Source Internal/External
Pulse		Range (peak AC + DC) ± 5 V into 50 Ω ± 10 V into open circuit	Internal modulation Sine, Square, Ramp, Triangle, Noise, Arb (2 mHz to 20 kHz)
Frequency range	500 µHz to 5 MHz	Accuracy ^[1] [2] ± 2% of offset setting ± 0.5% of amplitude ± 2 mV	Deviation 0.0 to 360.0 degrees
Pulse width (period ≤ 10s)	20 ns minimum, 10 ns resolution	Resolution 4 digits	PWM
Variable edge time	< 13 ns to 100 ns	Main Output	Carrier waveform Pulse
Overshoot	< 2%	Impedance 50 Ω typical	Source Internal/External
Jitter (RMS)	300 ps + 0.1 ppm of period	Isolation 42 Vpk maximum to earth	Internal modulation Sine, Square, Ramp, Triangle, Noise, Arb (2 mHz to 20 kHz)
		Protection Short-circuit protected, overload automatically disables main output	Deviation 0% to 100% of pulse width
		External Frequency Reference (Option 001)	FSK
		Rear Panel Input	Carrier waveforms Sine, Square, Ramp, Arb
		Lock Range 10 MHz ± 500 Hz	Source Internal/External
		Level 100 mVpp to 5 Vpp	Internal modulation 50% duty cycle square (2 mHz to 100 kHz)
		Impedance 1 kΩ typical, AC coupled	Deviation
		Lock Time < 2 seconds	External Modulation Input^[6] (for AM, FM, PM, PWM)
			Voltage range ± 5 V full scale
			Input impedance 5 kΩ typical
			Bandwidth DC to 20 kHz

Fonte: <http://www.dasarodesigns.com>

O dispositivo é muito utilizado em laboratórios de eletrônica tendo como foco a geração de sinais em circuitos oscilatórios, filtros e amplificadores de potência.

4.1.3.5 ACELERÔMETRO

O acelerômetro é um sensor que é posto em um determinado local de um equipamento que se queira medir sua aceleração. Ele é muito utilizado em análises de vibração para verificar a frequência de excitação que um corpo está submetido, e assim analisar o tipo de vibração do sistema, **figura 4.6**.

Figura 4.6 – Informações técnicas do acelerômetro 4507



Fonte: <https://www.bksv.com>

Ele é largamente aplicado na indústria como sensores piezoelétricos instrumentados em sistemas autônomos de controle de vibrações. E também é aplicado em estudos científicos no campo da análise de vibrações, mais precisamente em sistemas que sofrem vibrações forçadas.

4.1.3.6 CONDICIONADOR DE SINAL PARA SENSORES

O condicionador de sinal é um dispositivo que amplifica o sinal de saída de um sensor, como por exemplo um acelerômetro, **figura 4.7**.

Figura 4.7 – Amplificador de sinal PCB – modelo: 480E09



Fonte: <https://www.johnmorrisgroup.com>

como não houve recursos disponibilizados pela universidade, o capital investido foi todo dividido entre o chefe demandante do trabalho e do orientando.

Após conseguirmos realocar esses recursos de forma eficiente para a consolidação da fabricação, voltamo-nos para a seguinte etapa.

4.2.1.2 DIMENSIONAMENTO

As discussões sobre as dimensões e as formas geométricas que as peças iriam ter foi de extrema relevância para iniciar-se essa segunda fase. Devido à complexidade teórica do sistema magnético e como ele funciona, retrocedeu-se algumas vezes a etapa da concepção. Quando o dimensionamento foi iniciado, as peças foram projetadas com o auxílio do programa INVENTOR® da empresa AUTODESK, e os últimos detalhes corrigidos. Após a montagem em terceira dimensão no próprio software, imprimiu-se todas folhas separadas das peças, **anexo I**. Então, foi-se ao centro de João Pessoa para comprar o material.

O material bruto com seus respectivos desenhos, após a compra foram separados para não misturar com peças que foram adquiridas já prontas, como por exemplo, arruelas, porcas, circuito magnético e porcas borboletas.

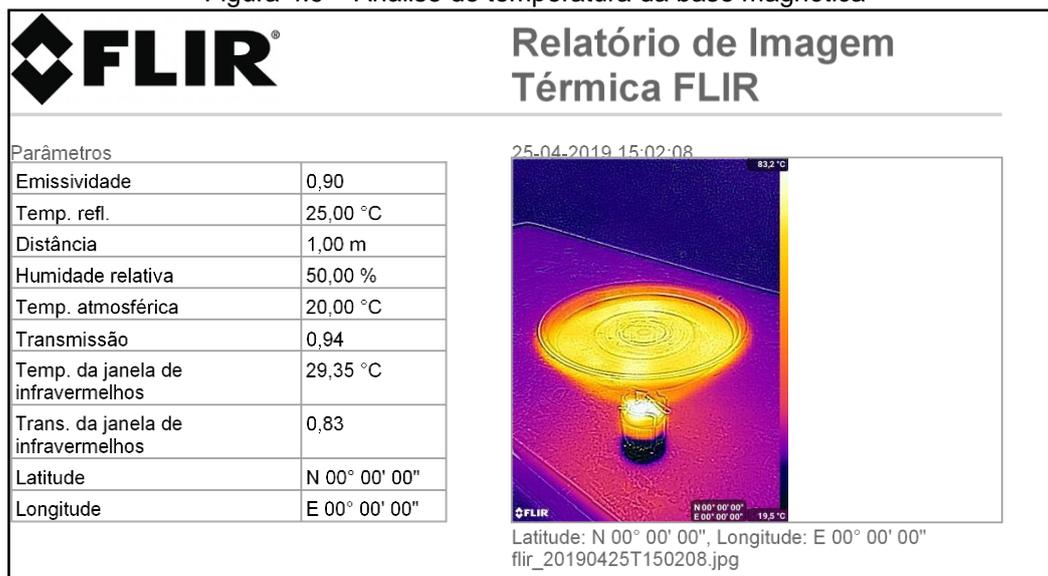
Após a separação, todo o material bruto seguiu para usinagem. As peças foram encaminhadas para a oficina mecânica do Centro de Tecnologia onde as máquinas do CEAR estão instaladas.

4.2.1.3 CONSTRUÇÃO

O grande problema da construção do projeto foi porque o disco base (placa polar superior) do circuito magnético do autofalante veio com furações descentralizadas e com diâmetro de cinco milímetros para parafusos M6.

Assim, desacoplou-se esse disco imergindo a base magnética completa em água quente a 100°C para amolecer a cola. Essa temperatura não oferece risco de desmagnetizar o ímã porque está abaixo da temperatura de Currie, que para o ferrite é de 250°C. Na **figura 4.9**, podemos observar uma fotografia tirada de uma câmera termográfica que mostra o relatório com os espectros de temperatura máximo e mínimo do aquecimento da base magnética. Dessa forma, pode-se controlar a temperatura.

Figura 4.9 – Análise de temperatura da base magnética



Fonte: Autoria própria

Após retirada o disco base, riscou-se na chapa de aço inox 304 quatro discos de 200 milímetros de diâmetro externo com a ajuda de um compasso e um riscador com ponta diamantada. A esmerilhadora com disco para inox de 4 ½" foi utilizada para cortar os discos de apoio, **figura 4.10**.

Figura 4.10 – Fabricação dos discos de apoio em aço inox 304



Fonte: Autoria própria

Então, após esse procedimento, centralizou-se o disco base, **figura 4.11**, com os discos cortados, com dois alicates de pressão em cada extremidade. Procedeu-se com a usinagem dos furos de 8.5 milímetros com a furadeira vertical. Depois de furados com defasagem em 360°, amarrou-se os quatro discos de apoio com parafusos e porcas de 8 milímetros. Os discos foram usinados no torno mecânico juntos para retirar material no diâmetro externo e abrir um furo interno de 94 milímetros.

Figura 4.11 – Disco base sob imã com tirantes roscados



Fonte: A autoria própria

Após usinados no torno, os discos de apoio voltaram para a furadeira, e os furos de 8 milímetros foram reabertos para 13 milímetros. Eles foram esmerilhados e escovados. Utilizou-se escova para rebolo de 4 ½” para dar acabamento superficial, **figura 4.12**.

Figura 4.12 – Discos de apoio finalizados



Fonte: A autoria própria

A próxima fase foi usinar o disco estabilizador. Ele, por apresentar uma complexidade maior, o número de operações requereu mais tempo que as outras peças. Então, basicamente utilizou-se um tarugo de alumínio bruto de 165x50 e 25x250 de latão, com todas as medidas em milímetros. Primeiro foi usinado as buchas de latão que ajuda o escorregamento do disco estabilizador no pino guia. O disco estabilizador do movimento foi torneado e furado com a mesma centralização dos furos dos discos de apoio. O furo central foi feito com broca de 16mm para o encaixe com o eixo central. Quando terminado, os furos foram reabertos para que as bu-

chas entrassem com interferência, **figura 4.13**. A sua característica singular de forma triangular foi adquirida com a ajuda da esmerilhadeira. Cortou-se a maior parte do vão com a máquina, e logo após foi utilizado a lima para ajustar o tamanho e dar acabamento lateral até complementar a sua forma geométrica.

Figura 4.13 – Disco estabilizador com buchas de latão sob interferência



Fonte: Autoria própria

O corte da bobina, **figura 4.14**, com a ajuda do torno se deu a partir de um tarugo de alumínio com 115x50 milímetros. A maior preocupação durante o processo foi na abertura do alojamento do fio AWG 15 com 1.6 milímetros de diâmetro.

Figura 4.14 – Usinagem da bobina



Fonte: Autoria própria

Foi necessário abrir um rasgo de 3mm de profundidade com muito cuidado, porque a parede do rasgo até o furo interno ficou com 2mm de comprimento no raio. Isso, poderia causar danos irreversíveis a peça caso as medições constantes com paquímetro não fossem realizadas, **figura 4.15**.

Figura 4.15 – Bobina com enrolamento no alojamento



Fonte: Autoria própria

Três peças de tirantes roscados de 3/8"Øx145 (prende a estrutura) e 3/8"Øx90 (prende o pino guia do disco estabilizador), respectivamente foram cortados com a esmerilhadeira a partir de uma peça de 1000mm de comprimento, vide **anexo I**. As suas extremidades foram desbastadas e escovadas para poder facilitar a entrada nas roscas do disco base e nas porcas borboletas, **figura 4.16**.

Figura 4.16 – Tirantes roscados de 3/8"



Fonte: Autoria própria

O eixo central foi usinado também no torno mecânico. Ele apresenta características de um eixo escalonado com várias medidas de diâmetros ao longo do seu comprimento, e possui duas roscas: uma externa que acopla na bobina; e a outra interna, aberto com macho de 6mm, que acopla no eixo secundário por um parafuso sem cabeça M6. O eixo também foi recartilhado no seu diâmetro maior para facilitar a montagem e desmontagem junto com o eixo secundário, já que as duas precisam rotacionar e permitir o acoplamento entre eles pelo parafuso prisioneiro. As duas peças se conectam ao disco estabilizador, que fica amarrado entre eles, **figura 4.13, 4.17, 4.18**.

Figura 4.17 – Eixo central



Fonte: Autoria própria

O eixo secundário é a última peça torneada do atuador, porque é ela que permite que o corpo de prova ou acelerômetro seja conectado na parte de cima. Então na parte superior foi aberto um furo com rosca M5 para tal finalidade, **figura 4.18**. A peça também foi projetada para ser recartilhada, como já foi explicado acima.

Figura 4.18 – Eixo secundário



Fonte: A autoria própria

Os pinos guias, **figura 4.19**, do disco estabilizador são em latão e foram produzidos também por torneamento. O tarugo desse material já tinha servido para construir as buchas do disco, **figura 4.13**. Então foi aproveitado o momento para também usinar os pinos. O projeto requereu 3 pinos. Logo após a furação interna e o desbaste externo, sangrou-se cada um já com o comprimento exato como descrito no projeto, vide **Anexo I**. O material foi escolhido devido o mesmo ser das buchas do disco e possuir excelente resistência ao atrito sob movimentos dinâmicos.

Figura 4.19 – Pinos guias do disco estabilizador do movimento



Fonte: A autoria própria

Por último, as vigas principais da estrutura, **figura 4.20**, que sustentam os discos de apoio foram usinados no torno mecânico a partir de um tarugo de $\varnothing 25 \times 400$ mm. O mesmo processo de sangramento que foi utilizado no pino guia serviu também na fabricação desses suportes. Pois, as vigas possuem o mesmo diâmetro de 25mm do eixo secundário. Então para não retirar a peça da placa e ter que novamente centraliza-la, o torneamento das duas foi feito durante o mesmo período de trabalho. A única observação que faço é sobre o nível de complexidade de etapas de produção entre as duas.

Figura 4.20 – Vigas principais da estrutura



Fonte: Autoria própria

As vigas são mais simples de se usinar que o eixo secundário. Então elas foram as primeiras a serem usinadas, e a última peça foi eixo.

Ressalto que, as técnicas de fabricação por torneamento com comprimentos de peça superior a 100mm requerem a utilização de apoios telescópicos para evitar deflexão da peça sob a ação da ferramenta de corte. Nos processos de fabricação foi utilizada essa técnica duas vezes: nos materiais com 250 e 400mm de comprimento.

Logo, segue abaixo um resumo das operações de fabricação realizadas na produção das peças do gerador eletrodinâmico variável:

- Torneamento: desbaste, furação, rosqueamento interno e externo, acabamento, recartilhamento; alinhamento de peça com relógio comparador;
- Verificação dimensional com paquímetro e micrômetro;
- Furação;
- Corte por abrasão;
- Rosqueamento com desandador e macho interno;
- Escovamento abrasivo;
- Acabamento.

4.2.1.4 MONTAGEM

Antes do início da montagem, tomou-se a decisão em alinhar primeiro o diâmetro interno do disco base (placa polar superior) com o do ímã de ferrite. O seu campo magnético possui sentido da extremidade dele ao centro do entreferro.

A força como tem direção vertical, perpendicular ao campo, e sentido de atração para o pino T-Yoke, **figura 3.5**, as vezes o disco base era atraído pelo pino e todo o processo tinha que ser repetido. Quando o disco base finalmente foi alinhado, os tirantes foram enroscados nele e a bobina com o eixo central foi posto no GAP. Nesse procedimento, pelo alto grau de liberdade das peças, montou-se também o primeiro andar das vigas estruturais, **figura 4.21**.

Figura 4.21 – Primeira parte da montagem



Fonte: Autoria própria

A montagem foi realizada respeitando o alinhamento dos discos pelos tirantes. A segunda parte da montagem foi o posicionamento dos dois primeiros discos de apoio, **figura 4.22**, e dos tirantes prendedores do pino guia. Uma observação pertinente é que os discos foram numerados de 1 a 4 por um procedimento chamado de punção. Esse artifício é muito utilizado para se estabelecer uma sequência de montagem que facilita e agiliza o processo.

Então como são quatro discos de apoio, marcaram-se um ponto no primeiro, dois no segundo, três no terceiro e quatro no quarto disco. A ordem estabelecida foi de baixo para cima.

Figura 4.22 – Segunda parte da montagem



Fonte: Autoria própria

A terceira parte da montagem foi a introdução do segundo andar de vigas e o posicionamento dos pinos guias com a primeira sequência das molas de compressão, **figura 4.23**. O movimento do atuador é oscilatório por excitação da bobina. Um momento está sendo atraída, e repelida quando a corrente da bobina troca de sentido.

Então, nesse sistema vibracional, as molas de compressão atuam na recuperação da energia do movimento. Elas deveriam ter a mesma rigi-

dez elástica. Porém no comércio em João Pessoa é difícil de se achar molas de compressão na quantidade requerida pelo projeto. Então, para testar o equipamento, utilizou-se três molas com rigidez elástica igual e as outras três diferentes. Deram-se preferência a molas com rigidez baixa para que o sistema conseguisse oscilar com amplitude até 20mm, ou seja 10mm para cima e 10mm para baixo.

Figura 4.23 – Terceira parte da montagem



Fonte: Autoria própria

Na quarta parte da montagem introduziu-se o disco estabilizador entre o eixo central e o secundário. Essa junção foi auxiliada pelo parafuso prisioneiro. Após esse acoplamento, introduziu-se os outros 3 pinos guias acima do disco junto com a segunda série de 3 molas, **figura 4.24**.

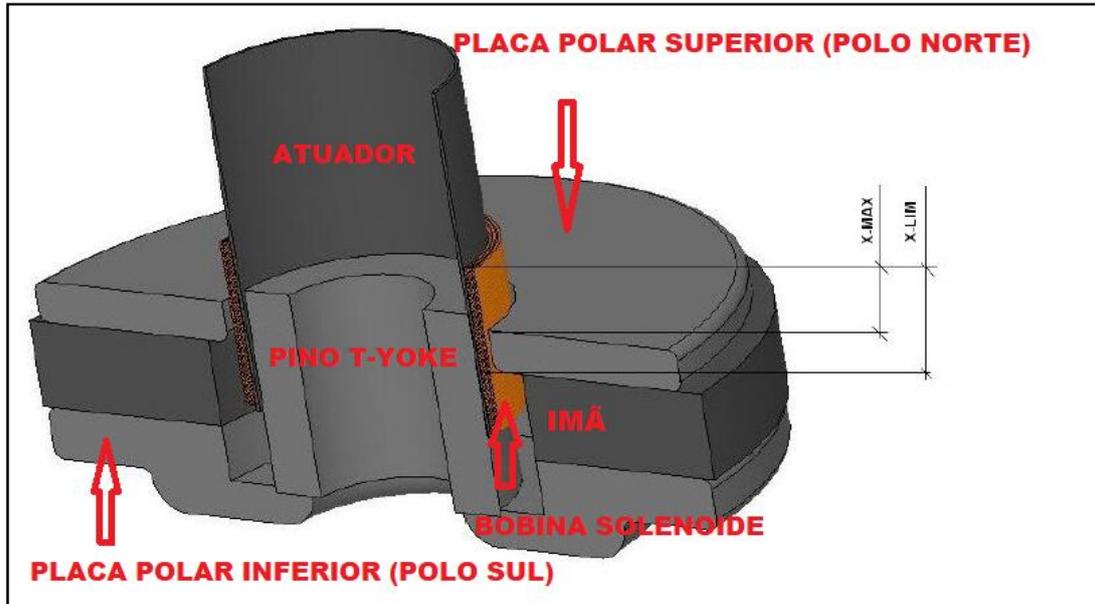
Figura 4.24 – Quarta parte da montagem



Fonte: Autoria própria

Nesse momento, fica claro que houve um deslocamento da bobina no sentido vertical ascendente. No dimensionamento das peças, aplicou-se uma técnica sobre campos magnéticos em autôfalantes. Ele diz que a bobina longa, **figura 4.25**, deve operar no GAP com a metade do comprimento do enrolamento coincidindo no ponto médio do disco base (placa polar superior).

Figura 4.25 – Coincidência do ponto médio da bobina com o do disco base



Fonte: AUTOSOM

No quinto e último passo da montagem, **figura 4.26**, os discos de apoio 3 e 4 são posicionados nos tirantes da estrutura. Depois, alinham-se os tirantes que prendem o pino guia e parafusa-os com porca borboleta na parte superior do quarto disco. Após carregar as molas com uma carga inicial ao apertar as borboletas, fixam-se outras três porcas borboletas nos outros três tirantes da estrutura.

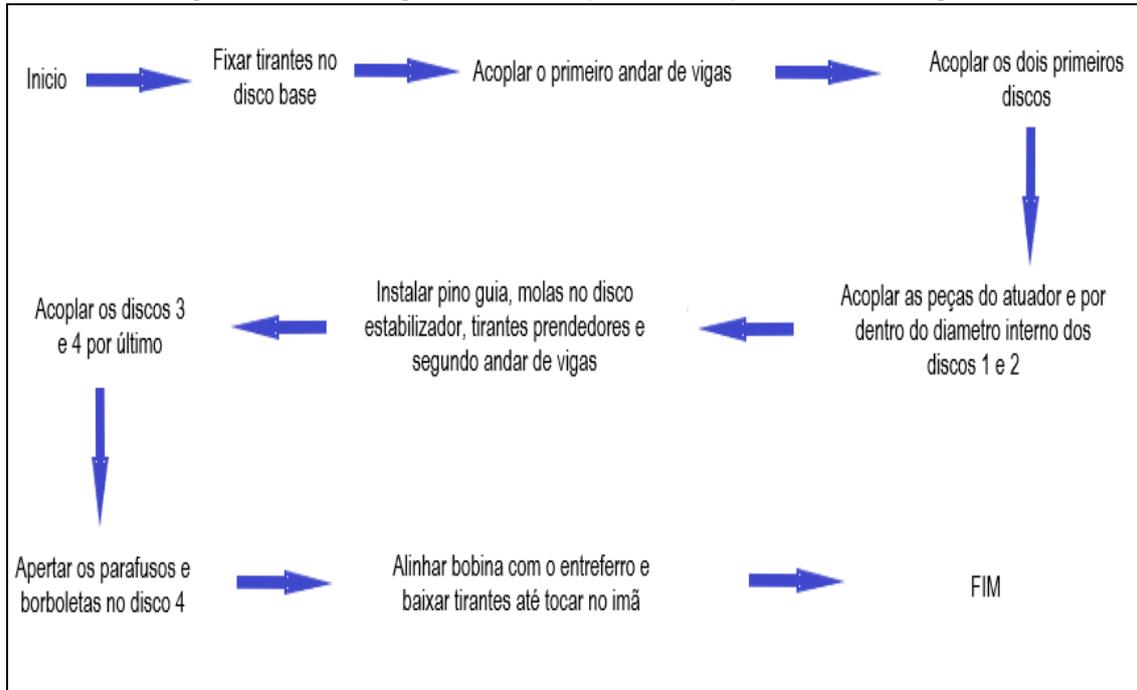
Figura 4.26 – Quinta parte da montagem



Fonte: Autoria própria

Quando o teste dinâmico é realizado após a montagem, as porcas devem estar frouxas para que as folgas se acomodem, e o atuador permaneça firmado em seu movimento retilíneo na direção vertical. Após o sistema entrar em regime oscilatório permanente, deve-se apertar as porcas até possíveis ruídos de atrito cessarem.

Figura 4.27 – Fluxograma de outra possível sequência de montagem



Fonte: Autoria própria

Na concepção do projeto, idealizou-se um sistema que possuísse o maior grau de liberdade possível na montagem para facilitar o acoplamento das peças no momento da montagem, figura. Ou seja, maior independência das peças e poucas restrições. Na **figura 4.27**, o fluxograma exemplifica um outro modo de montagem diferente do que foi explicado passo a passo acima.

4.2.1.5 TESTE

O teste do gerador eletrodinâmico variável foi realizado em uma mesa de teste, **figura 4.28**, montada no LASEA que é um laboratório pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica vinculado ao Centro de Engenharia de Energias Renováveis – CEAR. O teste requereu a utilização dos seguintes equipamentos:

- Fonte de alimentação do amplificador de potência;
- Amplificador de potência;
- Placa aquisitiva de dados;
- Condicionador de sinal;
- Acelerômetro;
- Gerador de função;
- Computador;
- Labview®.

Figura 4.28 – Mesa de teste no LASEA



Fonte: Autoria própria

O amplificador é alimentado por uma fonte de corrente contínua (DC). O gerador de função entrega ao sistema a correção do sinal na forma de onda senoidal com parâmetros definidos como amplitude de sinal V_{pp} e frequência **Hz**. Logo, o gerador é excitado por uma corrente alternada e muda sua polaridade, já que a bobina se torna um ímã.

Nesse trabalho, o teste para avaliar as respostas dinâmicas foi excitar o sistema com um sinal de $6 V_{pp}$, e fazer uma varredura de frequência pelo para observar quando ele inicia seu movimento, até não obter mais amplitude de oscilação.

Essas características iniciais foi o suficiente para gerar movimento dinâmico no atuador do gerador eletrodinâmico variável, e finalizar os testes. O protótipo será utilizado por alunos de mestrado e doutorado na área de ensaios em estruturas de Ligas de Memória de Forma. Os novos parâmetros de ajustes necessários serão calibrados durante os ensaios.

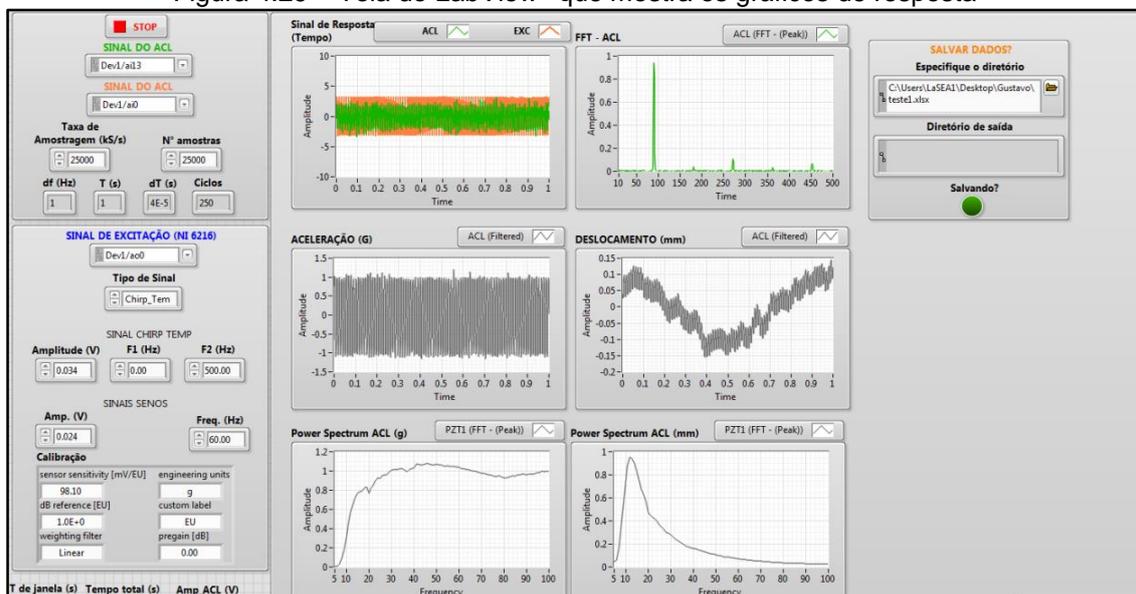
4.2.2 ANÁLISE PRELIMINAR DO GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL

Na análise preliminar do gerador eletrodinâmico variável foi aplicado o estudo experimental direto. Ou seja, pela observação do comportamento do dispositivo através da aquisição de dados por instrumentação, e a avaliação dos dados registrados por software.

No programa Labview® foi montado o circuito de aquisição de dados centralizado na função FRF (Função de Resposta em Frequência), para

que fosse gerado os gráficos dos espectros de resposta em frequência da aceleração e do deslocamento do equipamento, **figura 4.29**.

Figura 4.29 – Tela do LabView® que mostra os gráficos de resposta



Fonte: Autoria própria

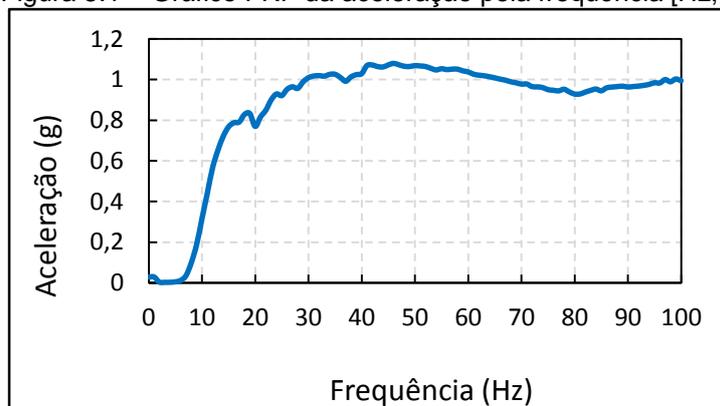
No programa foram dadas as entradas das quantidades de amostras e amostragens. O sinal do acelerômetro foi amplificado pelo condicionador de sinais que enviava para a placa de aquisição de dados. E era enviado automaticamente para o computador por um cabo USB. O programa recebia esses dados e calculava a respostas em frequência.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DA RESPOSTA DA FREQUÊNCIA EM ACELERAÇÃO

Na resposta em frequência de excitação, ajustada de 0Hz a 100Hz no gerador de função, a varredura sincronizada manualmente com o programa de aquisição obteve-se os seguintes parâmetros comportamentais de 0 a 100 segundos exemplificados pelo gráfico da **figura 5.1**:

Figura 5.1 – Gráfico FRF da aceleração pela frequência [Hz;g]

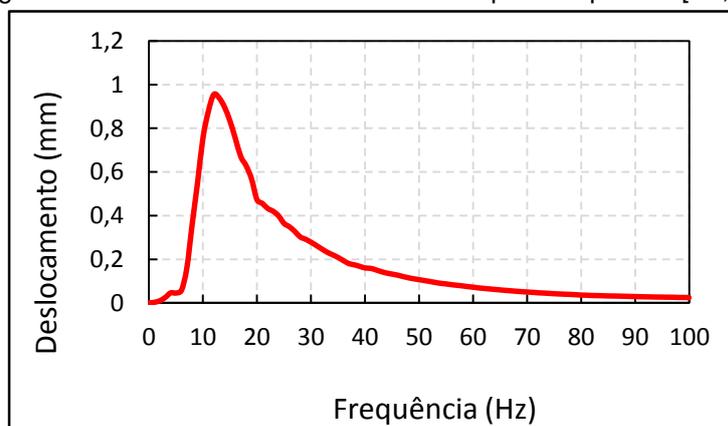


Fonte: Autoria própria

5.2 ANÁLISE DA RESPOSTA DA FREQUÊNCIA EM DESLOCAMENTO DO ATUADOR

O gráfico da **figura 5.2**, apresenta o comportamento do movimento do dispositivo pela frequência de excitação. A frequência foi varrida de 0Hz a 100Hz pelo gerador de função durante os instantes de 0 a 100 segundos.

Figura 5.2 – Gráfico FRF do deslocamento pela frequência [Hz;mm]



Fonte: Autoria própria

5.3 ANÁLISE NUMÉRICA MODAL

A **tabela 5.1** descreve numericamente o comportamento das respostas em aceleração e deslocamento pela variação da frequência de 0 a 100 Hz, dentro do intervalo de tempo de 0 a 100s. Ou seja, 1Hz por segundo. Esses valores correspondem aos pontos dos gráficos das **figuras 5.1 e 5.2**.

Tabela 5.1 – Análise numérica da resposta de frequência em aceleração e deslocamento

Tempo (s)	Frequência (Hz)	Aceleração (g)	Deslocamento (mm)
0	0	0,02789400	0,00000000
1	1	0,02881550	0,00300000
2	2	0,00328991	0,01000000
3	3	0,00210130	0,02500000
4	4	0,00242232	0,04603790
5	5	0,00461502	0,04545610
6	6	0,01170800	0,05716260
7	7	0,03483370	0,15781300
8	8	0,09816040	0,36043200
9	9	0,18742600	0,55140300
10	10	0,31401300	0,75601400
11	11	0,43879500	0,87788400
12	12	0,56536800	0,95530200
13	13	0,65141400	0,93961600
14	14	0,71997500	0,89716500
15	15	0,76680900	0,83374300
16	16	0,78696900	0,75343800
17	17	0,79041800	0,67072100
18	18	0,82779000	0,62849500
19	19	0,83234000	0,56782300
20	20	0,76890600	0,47300800
21	21	0,81559400	0,45614200
22	22	0,84858100	0,43270600
23	23	0,89909400	0,42004300
24	24	0,92853400	0,39899400
25	25	0,92048400	0,36467800
26	26	0,95165700	0,34913600
27	27	0,96387100	0,32786500
28	28	0,95609700	0,30258800
29	29	0,98802100	0,29189400
30	30	1,00846000	0,27845400
31	31	1,01679000	0,26306100
32	32	1,01861000	0,24747100
33	33	1,01612000	0,23222200
34	34	1,02506000	0,22080500
35	35	1,02530000	0,20853500

Tempo (s)	Frequência (Hz)	Aceleração (g)	Deslocamento (mm)
36	36	1,00972000	0,19418500
37	37	0,99103200	0,18045600
38	38	1,01251000	0,17490400
39	39	1,02359000	0,16791900
40	40	1,02833000	0,16043200
41	41	1,06849000	0,15873000
42	42	1,07082000	0,15162500
43	43	1,06325000	0,14367800
44	44	1,06130000	0,13700000
45	45	1,07130000	0,13224000
46	46	1,07896000	0,12752700
47	47	1,07178000	0,12137300
48	48	1,06479000	0,11562700
49	49	1,06349000	0,11084700
50	50	1,06803000	0,10692700
51	51	1,06625000	0,10264000
52	52	1,06347000	0,09848360
53	53	1,05440000	0,09402390
54	54	1,04674000	0,08993210
55	55	1,05261000	0,08718650
56	56	1,04838000	0,08378350
57	57	1,05046000	0,08104460
58	58	1,05050000	0,07829280
59	59	1,04202000	0,07505960
60	60	1,03707000	0,07224460
61	61	1,02588000	0,06915210
62	62	1,02097000	0,06663280
63	63	1,01799000	0,06434580
64	64	1,01327000	0,06207550
65	65	1,00778000	0,05985510
66	66	1,00138000	0,05770080
67	67	0,99632100	0,05571250
68	68	0,98847300	0,05366980
69	69	0,98352300	0,05186710
70	70	0,97692200	0,05006570
71	71	0,97745600	0,04869580
72	72	0,96453200	0,04673440
73	73	0,96346400	0,04541760
74	74	0,95997100	0,04403740
75	75	0,94953900	0,04241480
76	76	0,94687000	0,04119200
77	77	0,94374500	0,03999910
78	78	0,95182400	0,03931570
79	79	0,93875400	0,03780540

Tempo (s)	Frequência (Hz)	Aceleração (g)	Deslocamento (mm)
80	80	0,92814300	0,03624030
81	81	0,92841000	0,03542440
82	82	0,93781800	0,03426170
83	83	0,94614200	0,03374520
84	84	0,95279400	0,03319540
85	85	0,94399900	0,03212980
86	86	0,95879000	0,03188880
87	87	0,96245500	0,03128840
88	88	0,96475700	0,03066590
89	89	0,96676800	0,03005010
90	90	0,96274000	0,02927040
91	91	0,96504500	0,02870760
92	92	0,96728400	0,02816120
93	93	0,97079300	0,02766770
94	94	0,97569600	0,02722580
95	95	0,98381200	0,02688290
96	96	0,98260700	0,02630240
97	97	0,99928200	0,02620790
98	98	0,98855300	0,02540660
99	99	1,00203000	0,02524020
100	100	0,99357600	0,02453560

6. CONCLUSÕES

Na **figura 5.1** a aceleração do sistema cresceu de acordo com o aumento da frequência de excitação durante o decorrer dos instantes de 0 a 100 segundos.

A **figura 5.2** mostra que o movimento tem um pico de deslocamento e depois cai com o aumento da frequência.

Na **tabela 5.1**, pode-se observar dois picos de resposta: um em aceleração e o outro em amplitude de movimento. Então temos que para uma frequência de excitação de 12 Hz o deslocamento do atuador obteve o maior valor de 0,95530200 mm. E após esse pico de deslocamento, ele inicia a queda na amplitude. Entretanto, na frequência de excitação de 46 Hz, o atuador obteve o valor maior de aceleração igual a 1,07896000g. Esse pico de aceleração possui também o maior valor da força desenvolvida pelo atuador, já que a sua massa é constante.

Nas frequências de 20, 25, 28, 33, 37, 44, 49, 80, 85 e 98 Hz, os valores das acelerações obtiveram picos de queda. Então, como seus valores anteriores e posteriores são maiores que o valor medido na frequência acima especificada, o comportamento do equipamento demonstra variação na força desenvolvida durante a oscilação.

Em relação ao método de construção e fabricação, aplicaram-se três pontos de apoio da estrutura rígida e três pontos de movimentação pelo pino guia. A ideia foi aplicar o teorema do plano perfeito triangular para que as forças se distribuíssem igualmente e facilitasse o movimento com mínimo de atrito possível, tendo como estabilização o processo de flutuação da bobina imersa no campo magnético do imã, e as folgas diametrais do conjunto mecânico móvel. Durante o funcionamento do gerador eletrodinâmico houve perturbação na resposta da aceleração. A ponta do atuador oscilou no plano perpendicular ao deslocamento. Devido a esse fenômeno será necessário a construção de um guia para o atuador oscilar sem um único sentido.

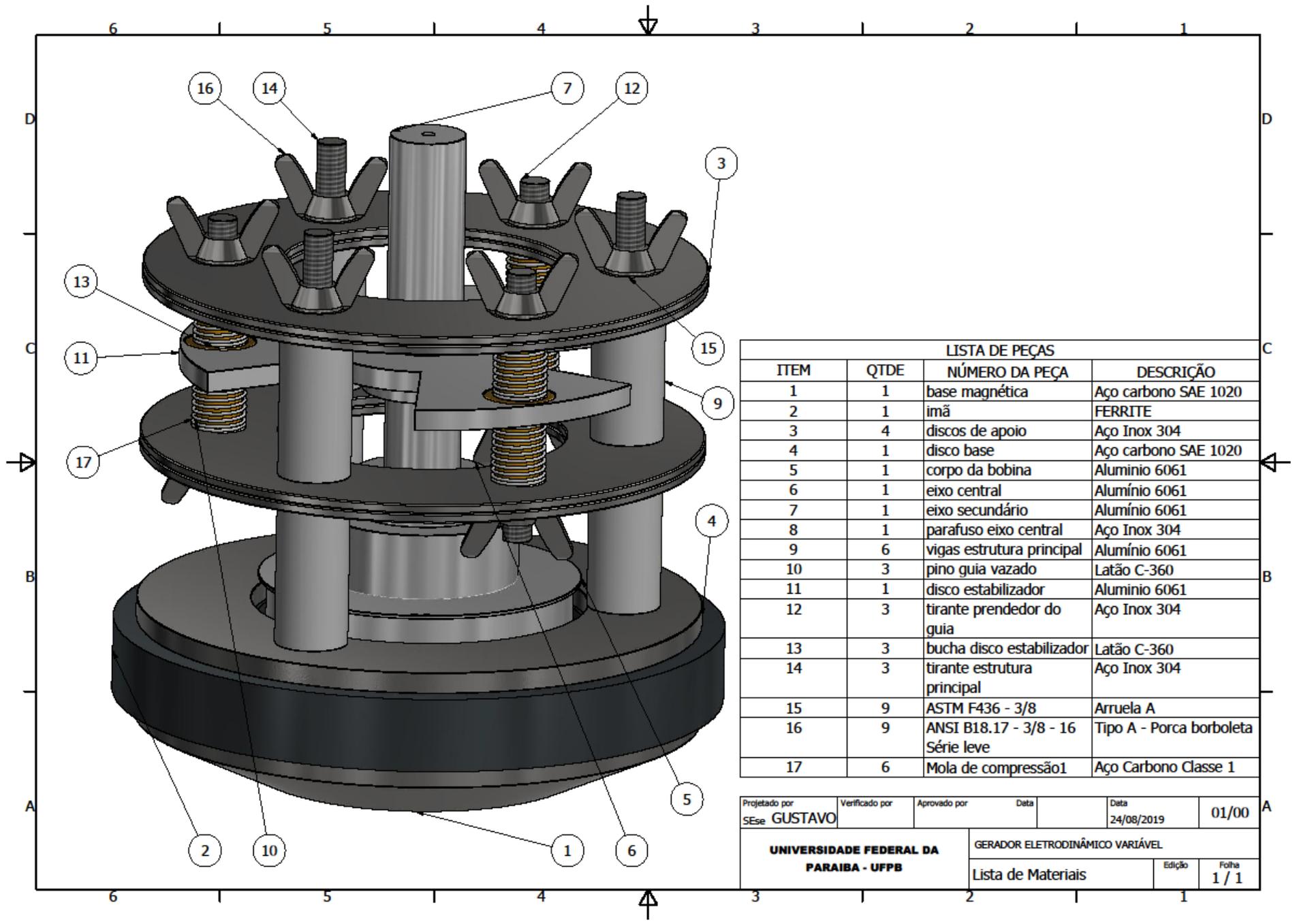
O primeiro andar do conjunto de três molas possui rigidez diferente das outras três do segundo andar, **ANEXO I**. Logo, pode-se também analisar posteriormente o efeito das respostas em frequência pela aceleração com molas de mesma rigidez elástica.

A amplitude de movimentação do atuador pode ser alterada utilizando-se molas com rigidez elástica menores ou maiores. Logo, pode-se também ajustar o parâmetro da varredura em frequência de resposta do sistema para obter deslocamentos maiores ou menores.

7. REFERENCIAS

- ALBERTAZZI G. JR, Armando; DE SOUZA, André R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. Barueri: Manole, 2008.
- BUDYNAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley**. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2016.
- CALLISTER JR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- CARDOSO, José Roberto. **Engenharia Eletromagnética**. Rio de Janeiro: Esevier, 2011.
- CHIAVERINI, Vicente. **Processos de Fabricação e Tratamento**. Vol.2. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- CHIAVERINI, Vicente. **Materiais de Construção Mecânica**. Vol.3. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- COOLEY, J.; GARWIN, R.; RADER, C.; BOGERT, B.; STOCKHAM, T. **Transactions on Audio and Electroacoustics: The 1968 Arden house workshop on fast Fourier transform processing**. IEEE: 2006.
- DICKASON, Vance. **Caixas Acústicas e Alto-falantes**. Rio de Janeiro: H. Sheldon Serviços de Marketing, 1993.
- FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970.
- FORTULAN, Carlos Alberto; De Moraes Purquerio, Benedito. **Projeto Mecânico: Introdução – Notas de Aulas v.2017**. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/plugin-file.php/3815027/mod_resource/content/0/aula1_introducao.pdf>. Acesso em: 26 de agosto de 2019.
- FORTULAN, Carlos Alberto; De Moraes Purquerio, Benedito. **Projeto Mecânico: Técnicas de Projeto – Notas de Aulas v.2015**. Disponível em: <http://www.ltc.eesc.usp.br/images/Ensino/Disciplinas/Proj_Mec/aula2_tecnicas_de_projeto.pdf>. Acesso em: 26 de agosto de 2019.
- FORTULAN, Carlos Alberto; De Moraes Purquerio, Benedito. **Projeto Mecânico: Desenho de Máquinas – Notas de Aulas v.2016**. Disponível em: < http://www.ltc.eesc.usp.br/images/Ensino/Disciplinas/Proj_Mec/aula4_desenho_de_maquinas.pdf>. Acesso em: 26 de agosto de 2019.
- HALLIDAY, David. **Fundamentos de Física**. Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 2010
- MANFÉ, Giovanni; POZZA, Rino; SCARATO, Giovanni. **Desenho Técnico Mecânico, Vol.1,2,3**. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- RAO, Singiresu S. **Vibrações Mecânicas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- SHIH, Randy H. **Aprendendo o Autodesk Inventor 2019**. SDC, 2019.
- SILVA, Homero Sette. **Análise e Síntese de Altofalantes e Caixas Acústicas pelo Método de Thiele - Small**. Rio de Janeiro: H. Sheldon Serviços de Marketing, 1996.
- SILVA, Homero Sette. **O Altofalante em Regime de Grandes Sinais**. Rio de Janeiro: AES do Brasil, 1996.
- SILVA, Homero Sette. **Variação da Resistência da Bobina Móvel em Função da Temperatura**. Rio de Janeiro: AES do Brasil, 1996.
- ZHANG, Zhipeng; MENQ, Chia-Hsiang; **Levitação magnética de seis eixos e controle de movimento**. IEEE: 2007

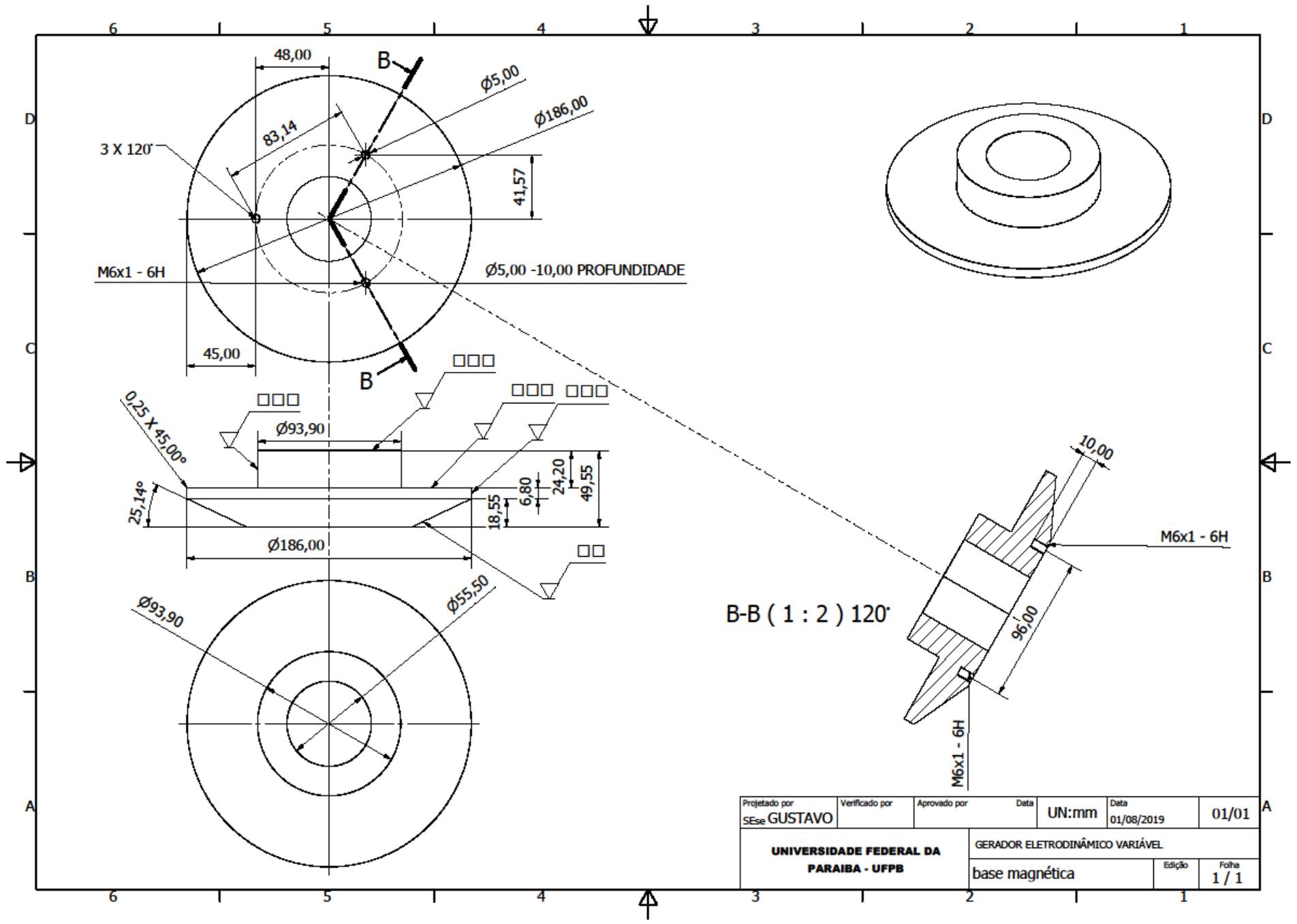
Anexo I



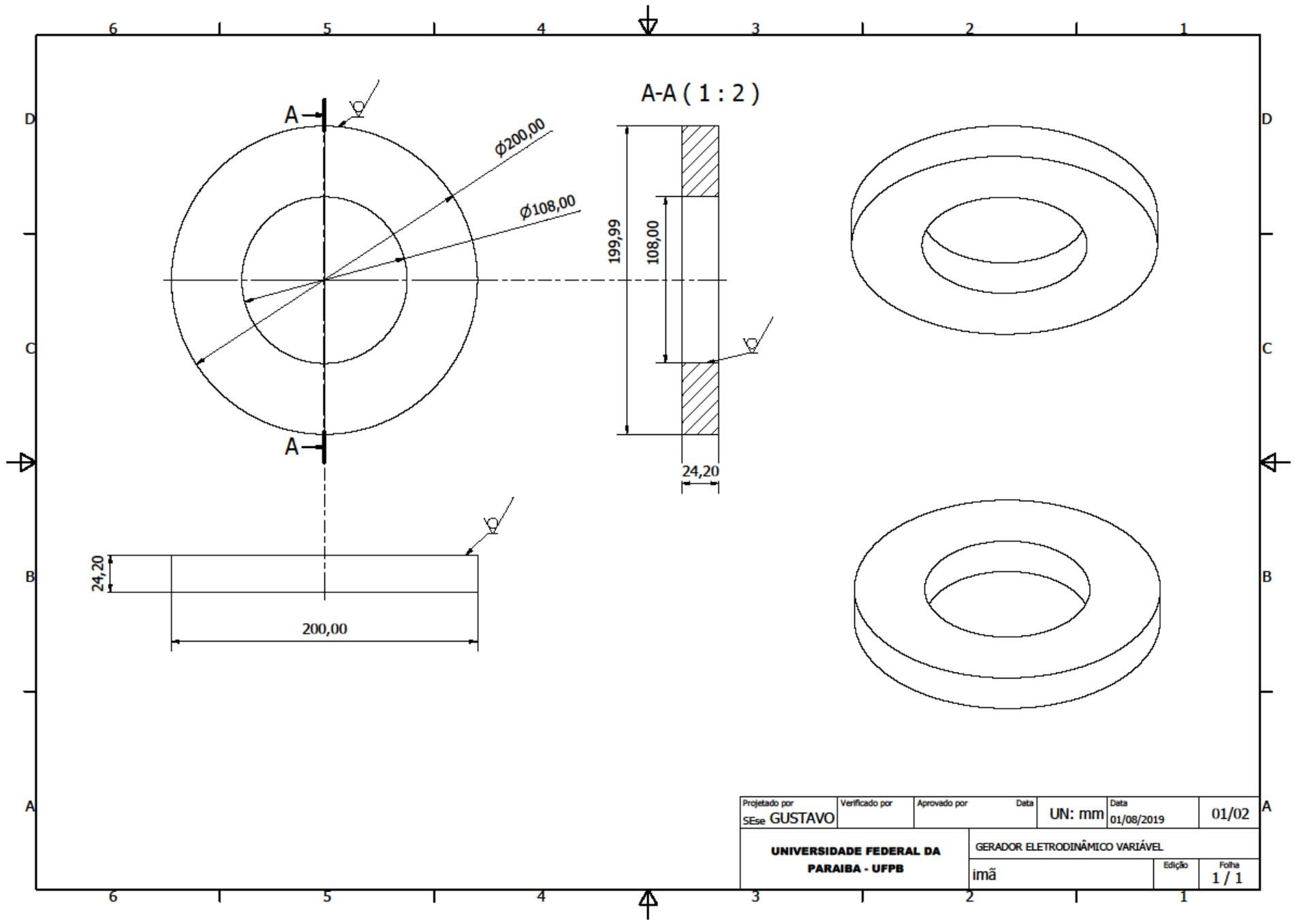
LISTA DE PEÇAS

ITEM	QTDE	NÚMERO DA PEÇA	DESCRIÇÃO
1	1	base magnética	Aço carbono SAE 1020
2	1	ímã	FERRITE
3	4	discos de apoio	Aço Inox 304
4	1	disco base	Aço carbono SAE 1020
5	1	corpo da bobina	Alumínio 6061
6	1	eixo central	Alumínio 6061
7	1	eixo secundário	Alumínio 6061
8	1	parafuso eixo central	Aço Inox 304
9	6	vigas estrutura principal	Alumínio 6061
10	3	pino guia vazado	Latão C-360
11	1	disco estabilizador	Alumínio 6061
12	3	tirante prendedor do guia	Aço Inox 304
13	3	bucha disco estabilizador	Latão C-360
14	3	tirante estrutura principal	Aço Inox 304
15	9	ASTM F436 - 3/8	Arruela A
16	9	ANSI B18.17 - 3/8 - 16 Série leve	Tipo A - Porca borboleta
17	6	Mola de compressão1	Aço Carbono Classe 1

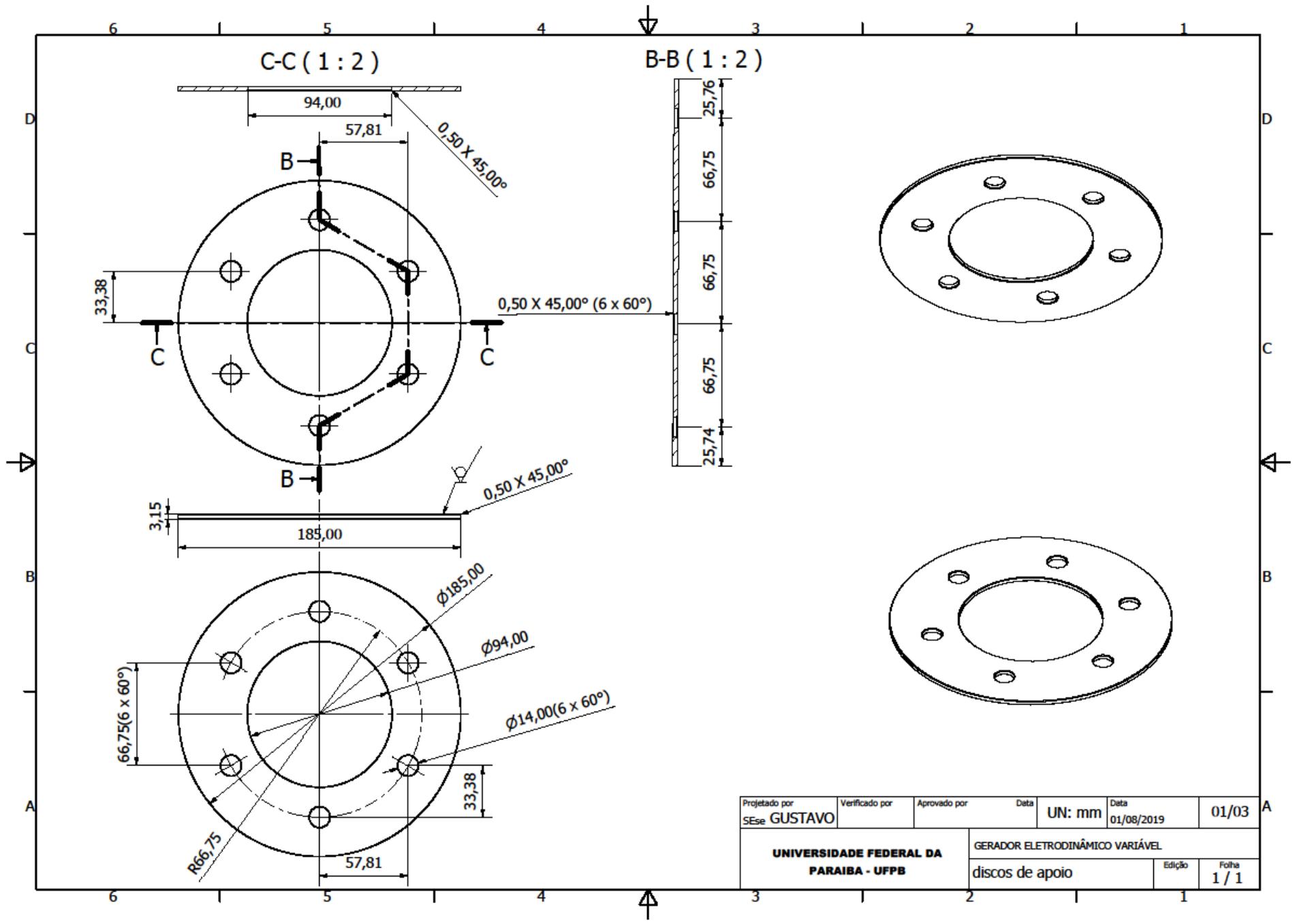
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	01/00
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		
			Lista de Materiais	Edição	Folha
					1 / 1



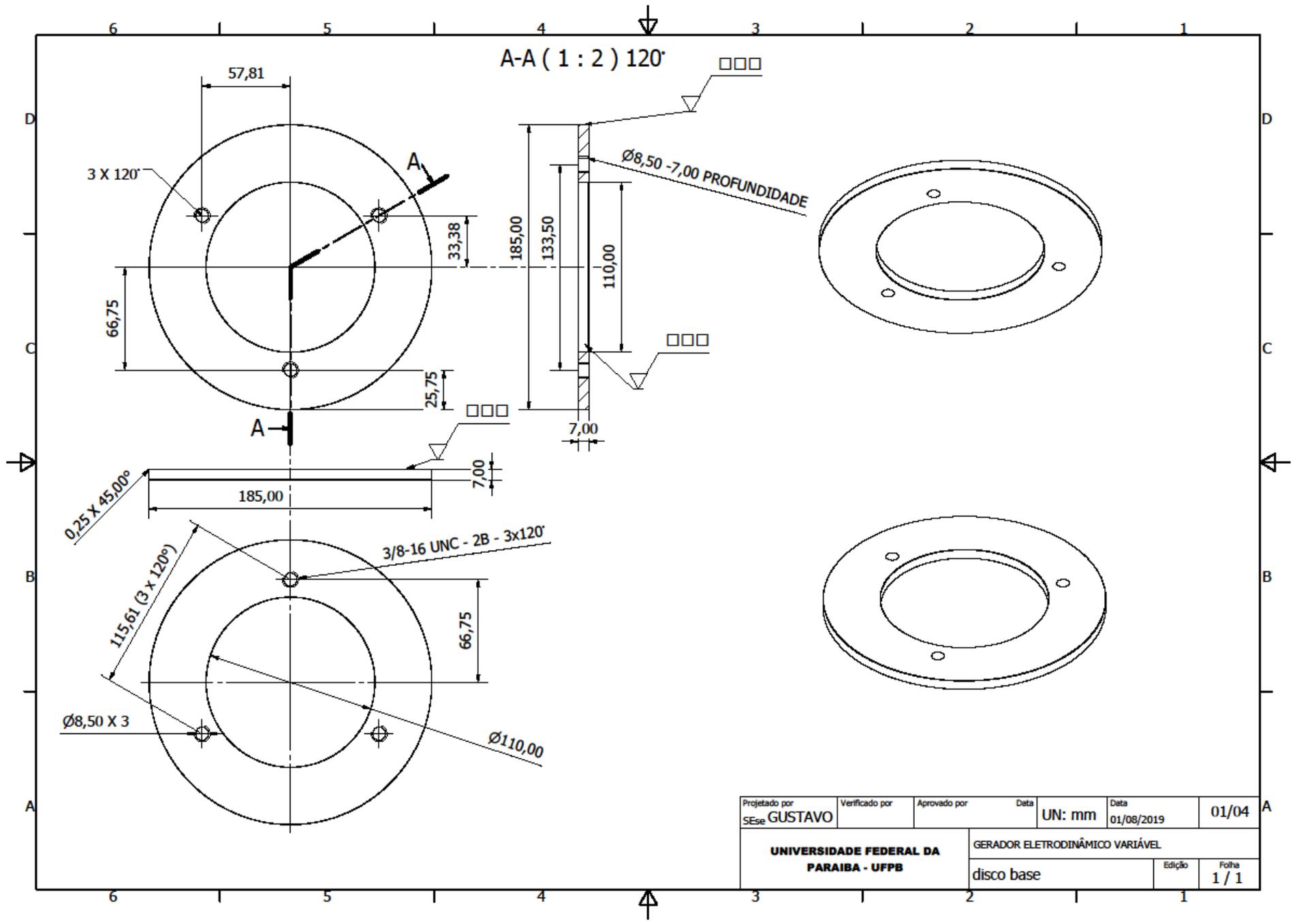
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data UN:mm	Data 01/08/2019	01/01
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		
			base magnética	Edição	Folha 1 / 1

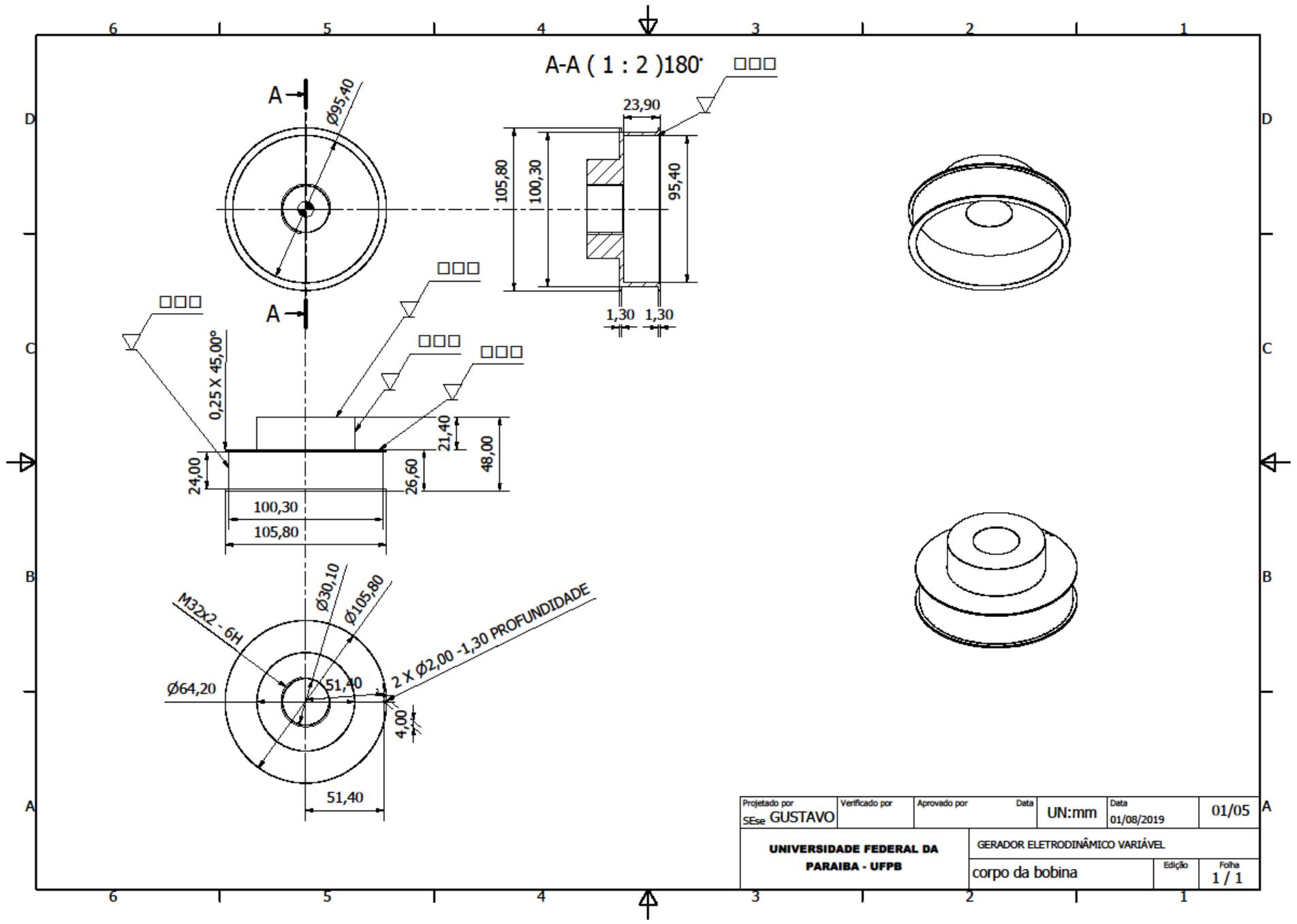


Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/02
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			imã		1	1 / 1

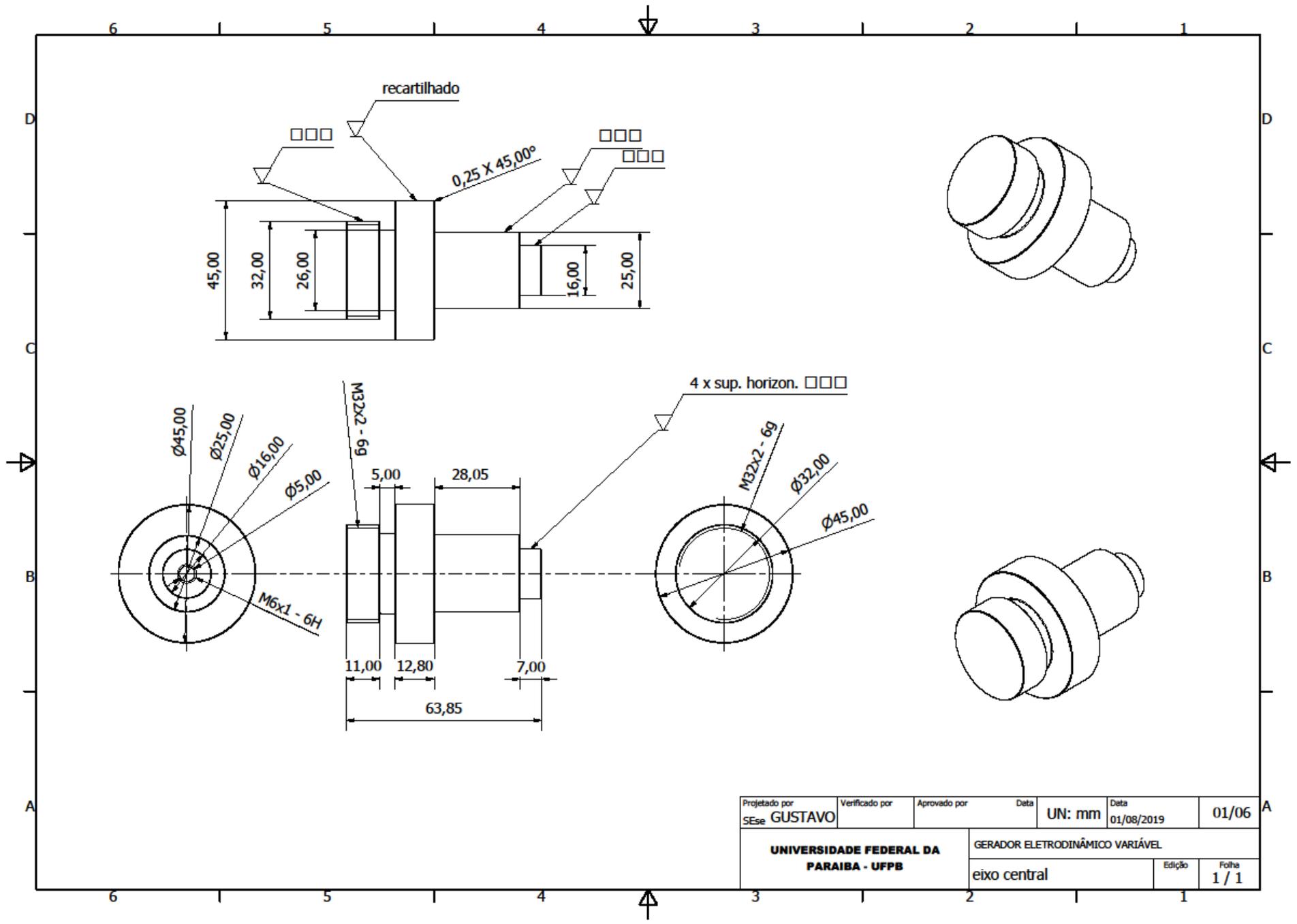


Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/03
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
discos de apoio					1 / 1	

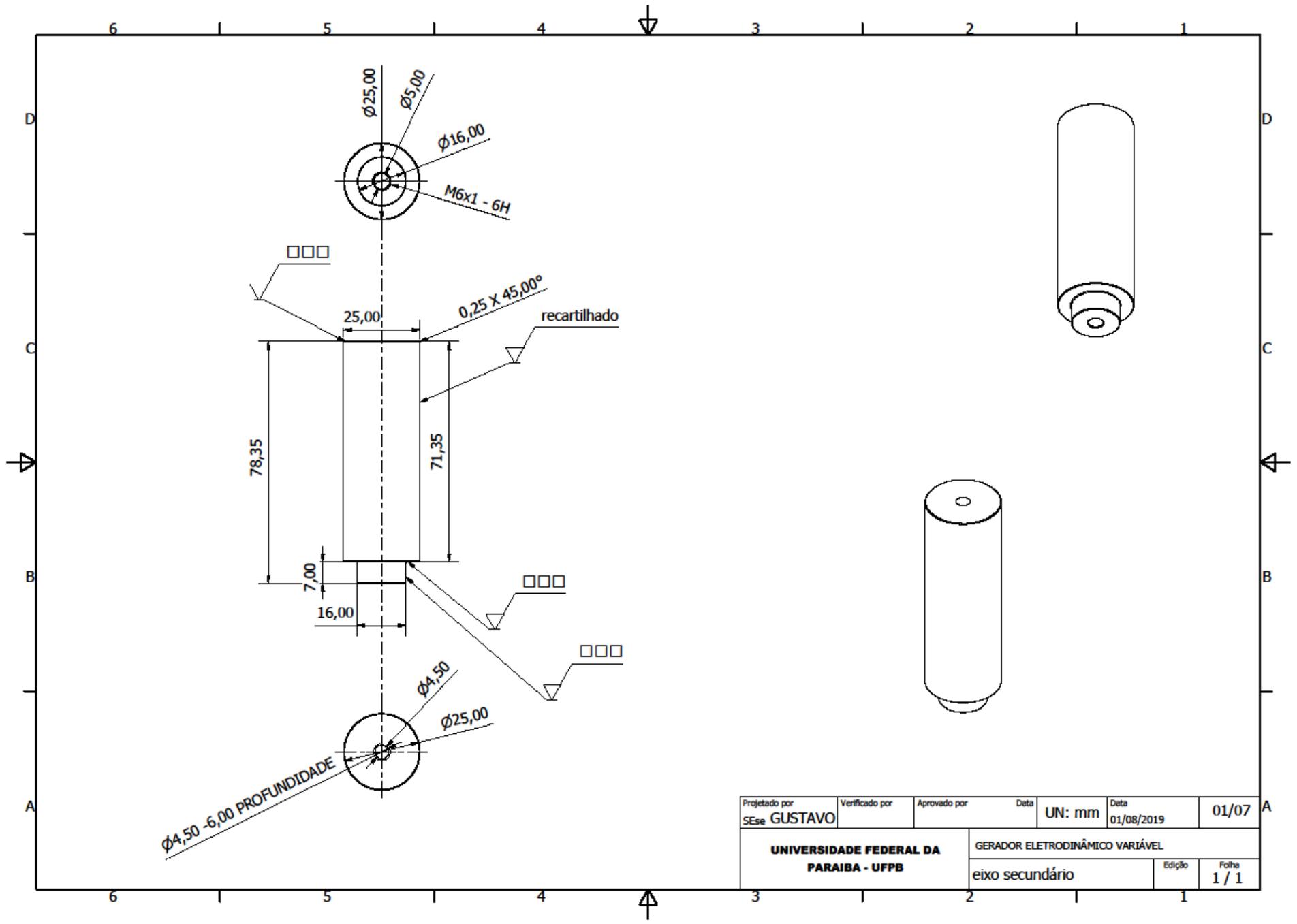




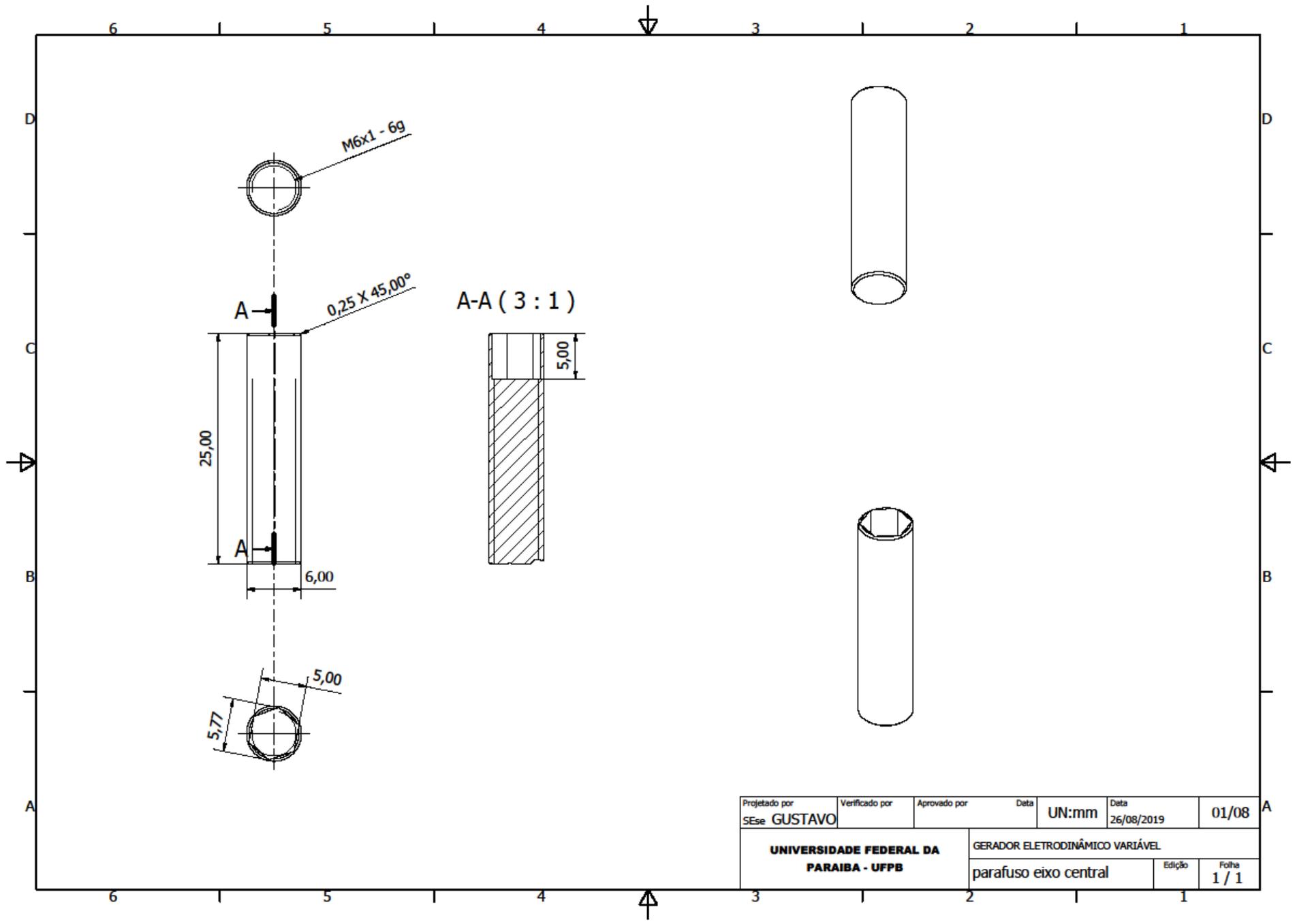
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN:mm	Data	01/05
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			corpo da bobina		1 / 1	



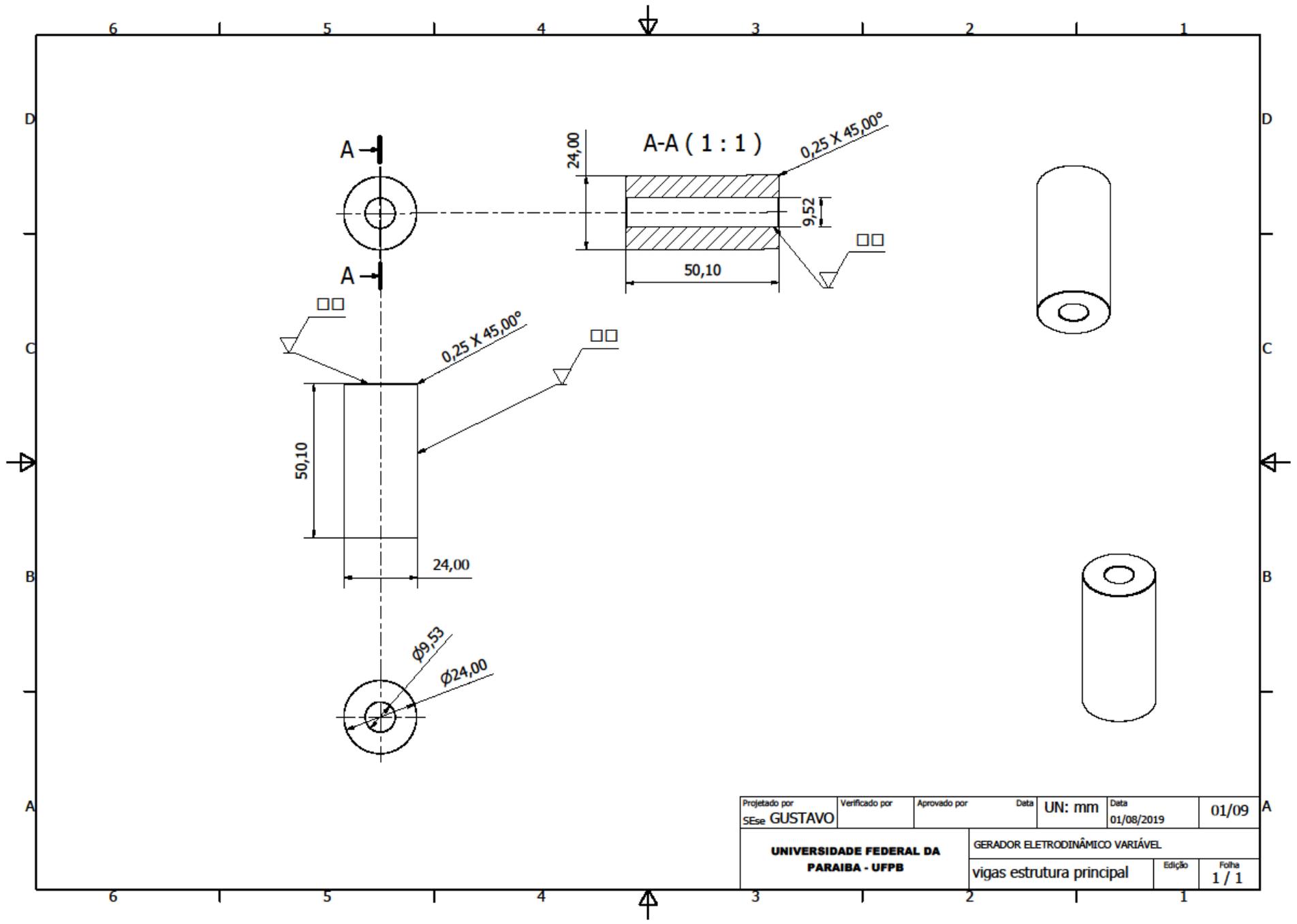
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/06
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			eixo central		1 / 1	



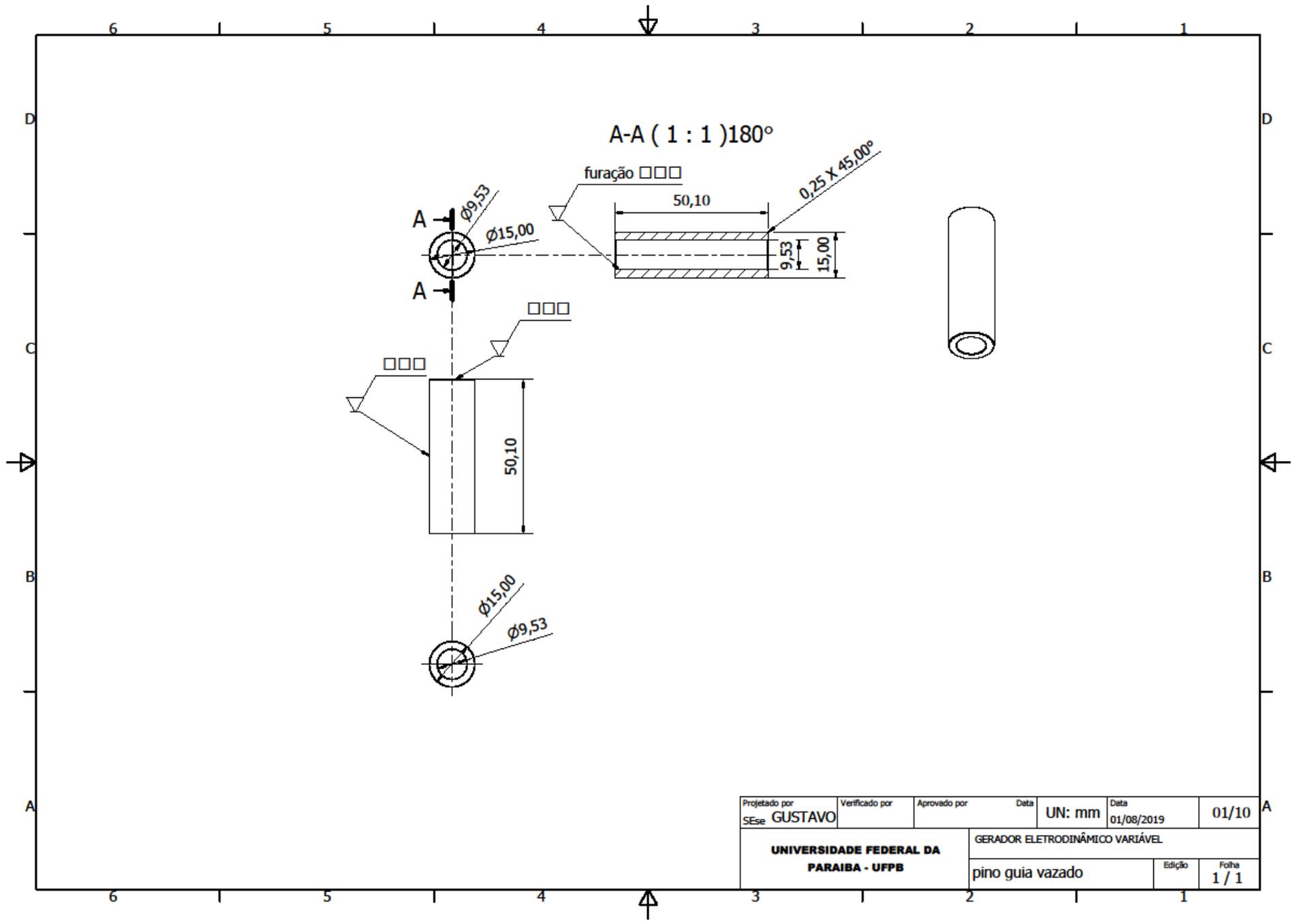
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/07
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			eixo secundário		1 / 1	



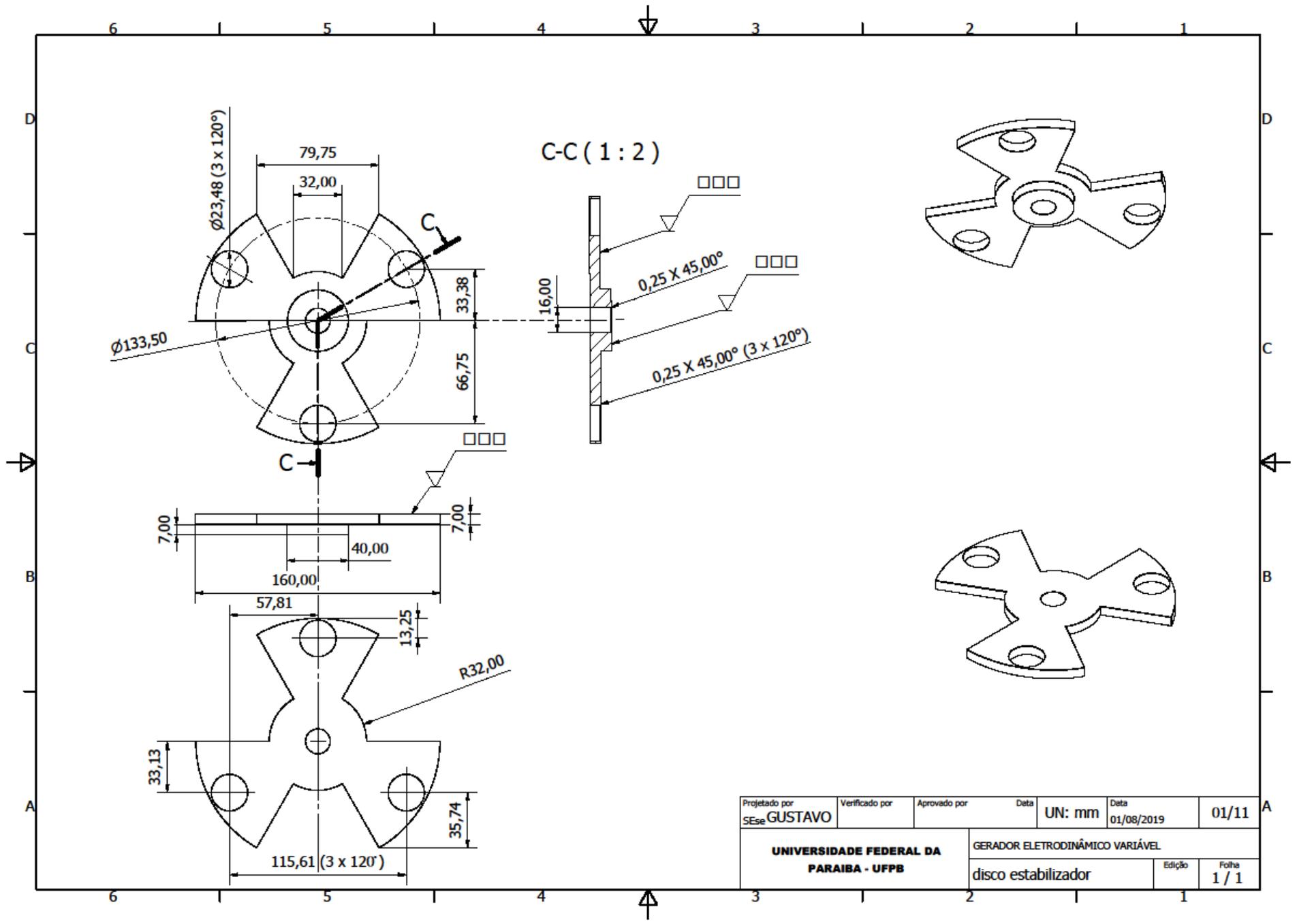
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN:mm	Data	01/08
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			parafuso eixo central		1 / 1	



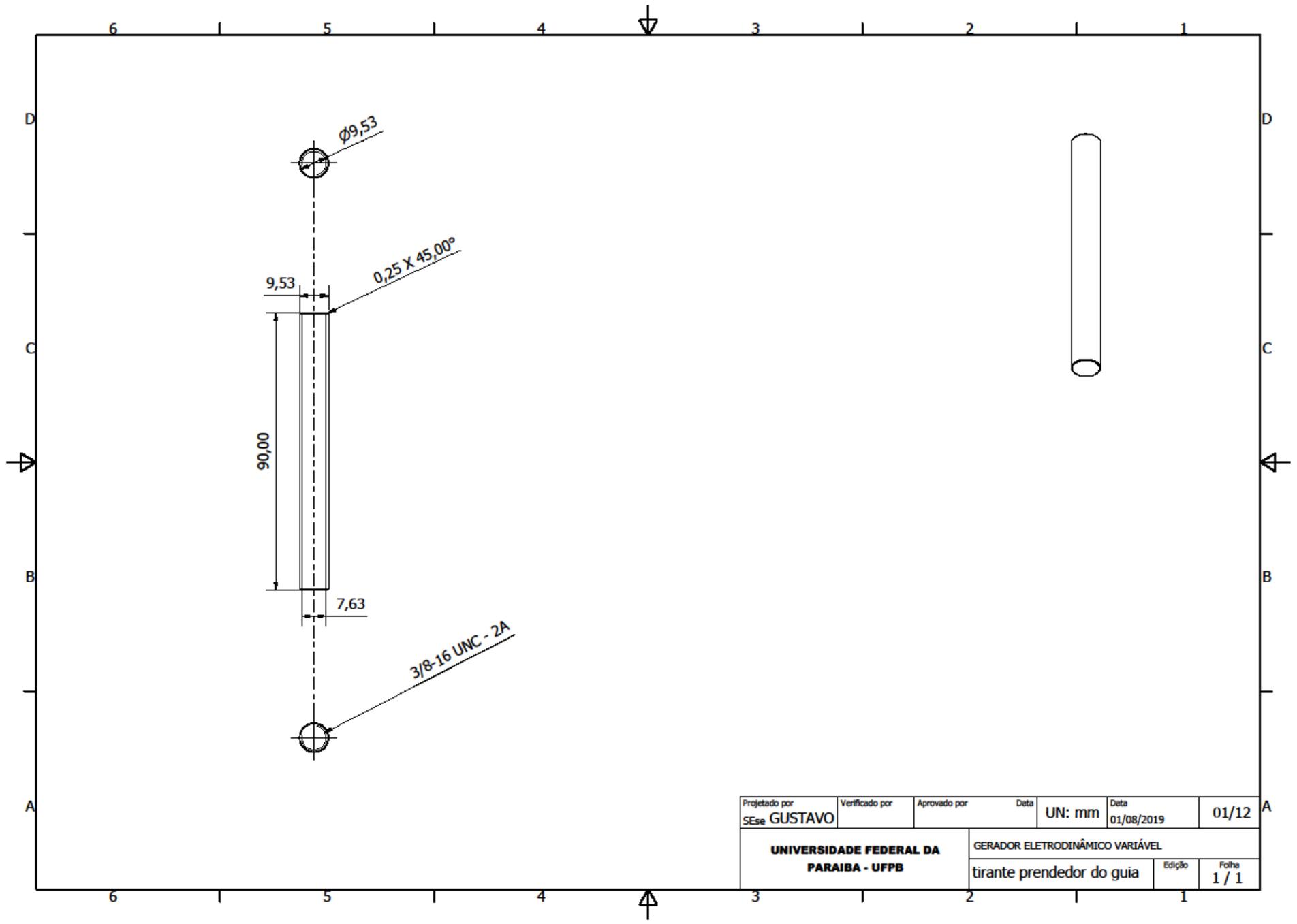
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/09
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL			
			vigas estrutura principal	Edição	Folha	1 / 1



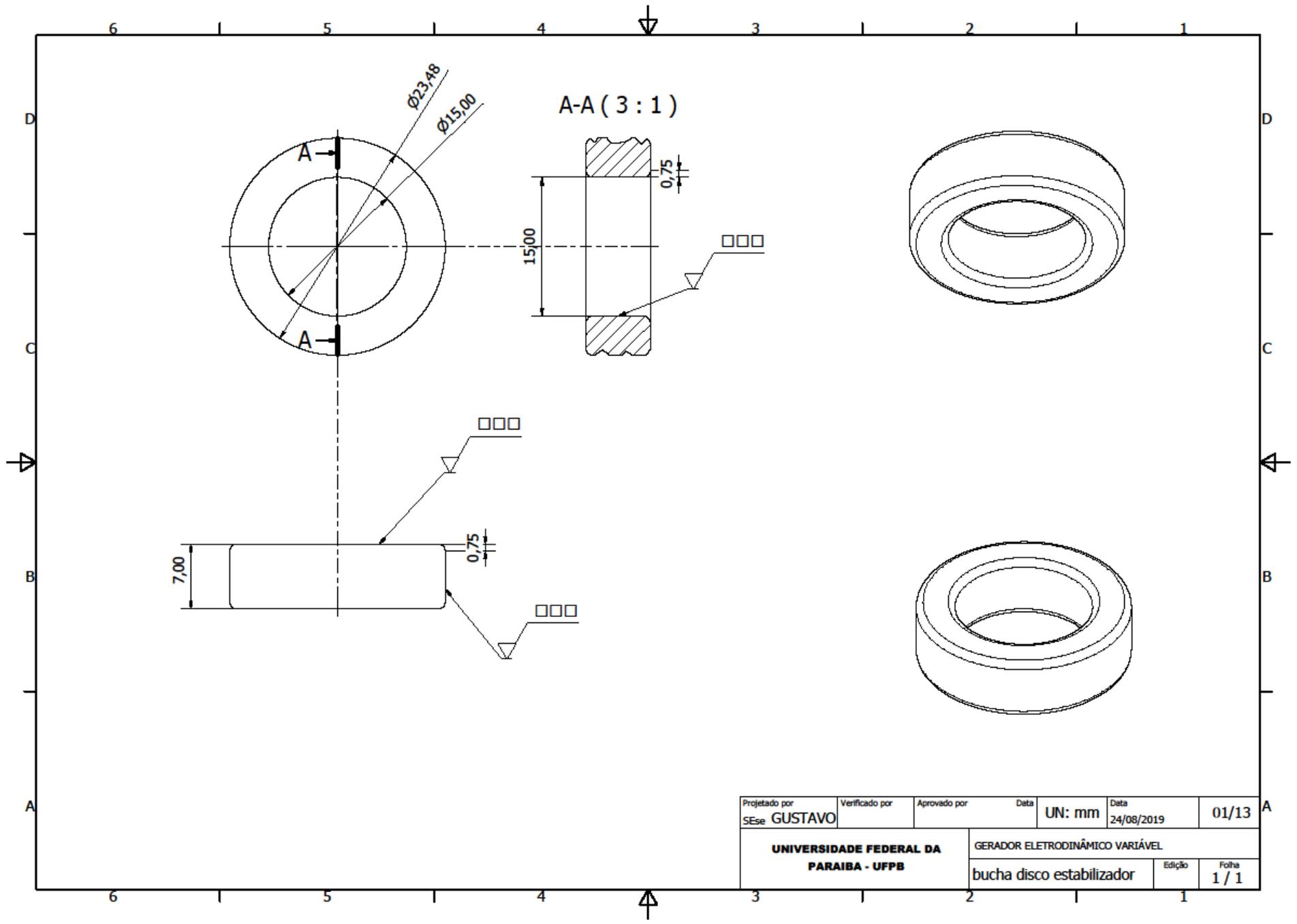
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/10
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL			
			pino guia vazado	Edição	Folha	1 / 1



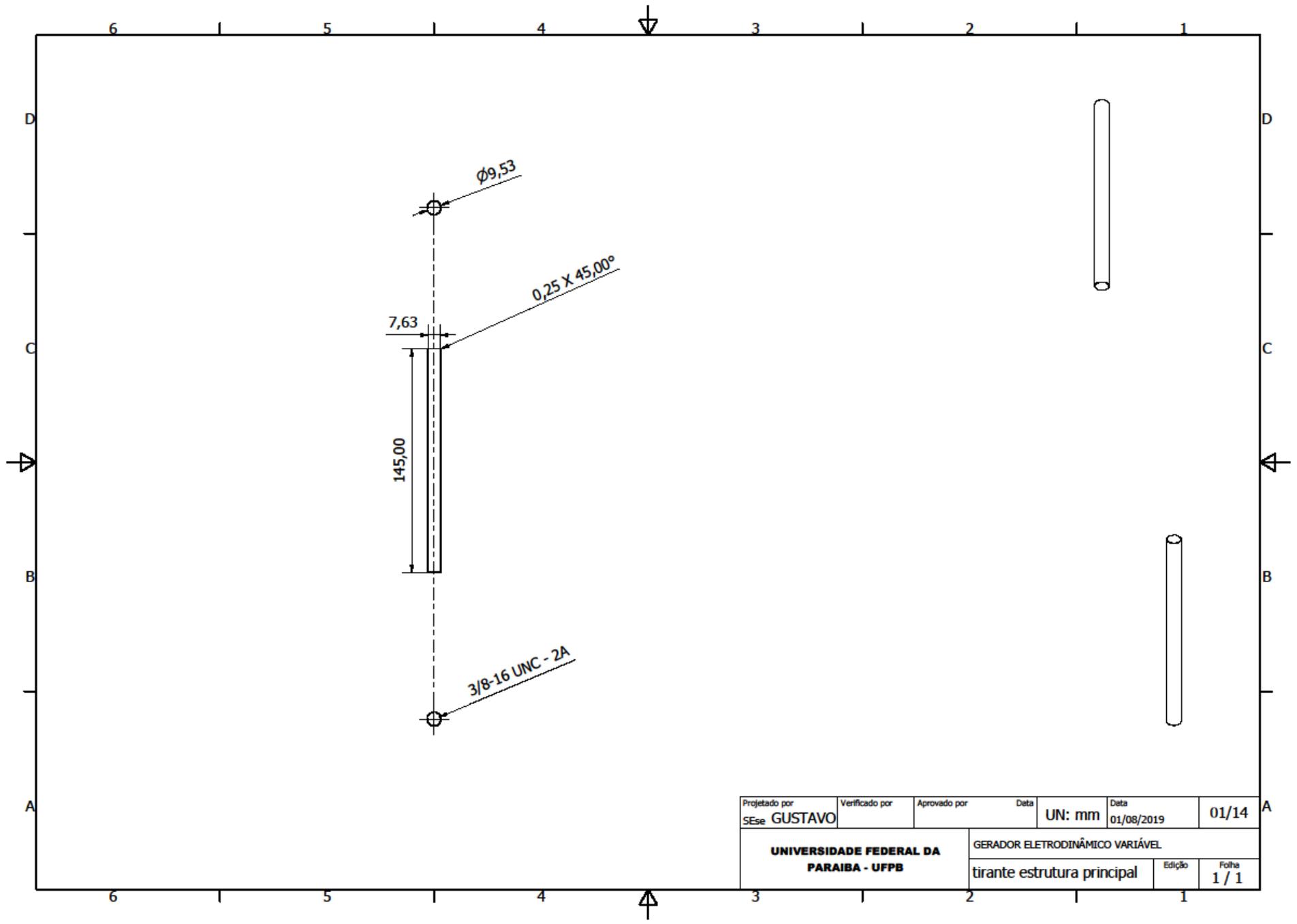
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/11
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			disco estabilizador		1	1 / 1



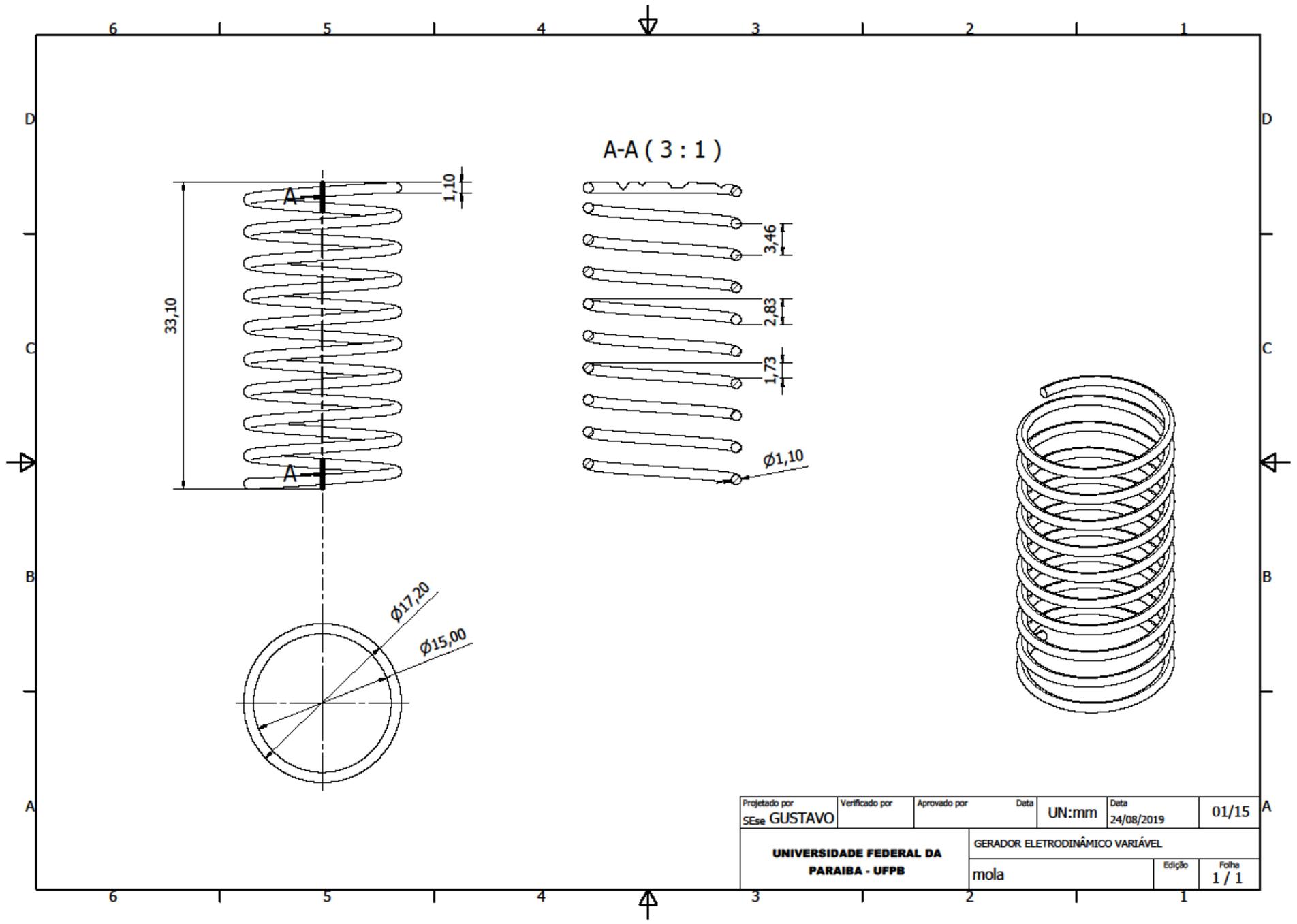
Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/12
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			tirante prendedor do guia		1 / 1	



Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/13
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			bucha disco estabilizador		1	1 / 1



Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN: mm	Data	01/14
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha 1 / 1
			tirante estrutura principal			



Projetado por SEse GUSTAVO	Verificado por	Aprovado por	Data	UN:mm	Data	01/15
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB			GERADOR ELETRODINÂMICO VARIÁVEL		Edição	Folha
			mola		1	1 / 1