

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

BRENDA GIOVANNA MARTINS CAMPOS

BRUNO TOMANIN ALVES MONTEIRO

ERIK BABAEGHIAN PIASKOWY

JOHATAN BARBOSA ARAÚJO

JULHEY FRANÇA E SILVA

LUIS FELIPPE FERREIRA

SUELEN DOS SANTOS LIMA

REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP DO PROCESSO DE TRATAMENTO CORONA

São Bernardo do Campo

2021

BRENDA GIOVANNA MARTINS CAMPOS
BRUNO TOMANIN ALVES MONTEIRO
ERIK BABAEGHIAN PIASKOWY
JOHATAN BARBOSA ARAÚJO
JULHEY FRANÇA E SILVA
LUIS FELIPPE FERREIRA
SUELEN DOS SANTOS LIMA

REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP DO PROCESSO DE TRATAMENTO CORONA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Orientado pelo Prof. Dr. Adalto de Farias.

São Bernardo do Campo

2021

Redução do tempo de setup do processo de tratamento corona / Brenda
Giovanna Martins Campos...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2021.
146 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.

Orientador: Prof. Dr. Adalto de Farias.

Coorientador: Prof. Dr. Arnaldo Forgas Junior.

1. ajuste. 2. faixas de tratamento. 3. tratamento corona. 4. embalagens
plásticas flexíveis. 5. redução de tempo. I. Martins Campos, Brenda
Giovanna . II. Alves Monteiro, Bruno Tomanin . III. Babaeghian
Piaskowy, Erik. IV. Barbosa Araújo, Johatan. V. França e Silva, Julhey.
VI. Ferreira, Luis Felipe . VII. Dos Santos Lima, Suelen. VIII. de Farias,
Adalto, orient. IX. Título.

BRENDA GIOVANNA MARTINS CAMPOS
BRUNO TOMANIN ALVES MONTEIRO
ERIK BABAEGHIAN PIASKOWY
JOHATAN BARBOSA ARAÚJO
JULHEY FRANÇA E SILVA
LUIS FELIPPE FERREIRA
SUELEN DOS SANTOS LIMA

REDUÇÃO DO TEMPO DE SETUP DO PROCESSO DE TRATAMENTO CORONA

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Comissão julgadora

Adalto de Farias e presidente

Examinador (1)

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

17/12/2021

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof. Dr. Adalto de Farias, pelo grande apoio, paciência, por todos os ensinamentos e pela ajuda nas metas e objetivos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Dr. Arnaldo Forgas Junior, Dr. Wellington Cassio Pinheiro, Dr. Fabio Lima, por todo conhecimento que nos foi transmitido.

A empresa parceira que acreditou no nosso projeto e colaborou compartilhando informações e concedendo acesso aos equipamentos, sem este não seria possível a realização deste trabalho.

Aos companheiros integrantes do grupo BLEJS, por todos os conhecimentos compartilhados, todas as opiniões e dedicação.

A todos os familiares que sempre nos apoiaram e acreditaram em nosso potencial e competência ao longo desses anos.

Ao Centro Universitário FEI, por toda infraestrutura e disponibilidade de recursos essenciais no desenvolvimento deste trabalho.

A Deus por proporcionar sabedoria.

RESUMO

Após algumas pesquisas a procura de agregar valor e melhorias para à indústria, notou-se uma viável aplicação de melhoria no processo de ajuste de faixas de tratamento do processo corona, utilizado para preparação do filme plástico para impressão de rótulos de embalagens plásticas flexíveis comerciais. O sistema consiste em aplicar uma descarga de alta tensão sobre o filme plástico para que este seja capaz de aderir a tinta no processo subsequente que é a impressão. A área da bobina que vai receber o tratamento, denominada como faixas de tratamento, são determinadas através do posicionamento dos eletrodos, que atualmente é feito de forma manual, esse ajuste deve ser feito com o sistema em operação até que se atinja a configuração desejada, por isso todo filme plástico que passa pelo equipamento durante o processo de ajuste é inutilizado, gerando alto índice de perda no processamento.

A possibilidade de reduzir o tempo de ajuste dos eletrodos, possibilita um menor tempo no setup e redução no refugo. Uma vez que todas as empresas, que empregam este processo, utilizam o ajuste de forma manual, a melhoria neste processo atenderia todo o seguimento, não limitando a um único cliente.

Esse projeto teve como objetivo realizar essa redução, através da utilização dos conhecimentos e recursos fornecidos ao longo do curso de engenharia mecânica.

Foi realizado contato e follow-up com gestores da empresa para alinhar as problemáticas e garantir uma efetiva implementação do dispositivo de ajuste para obter ganhos reais de redução de tempo.

Palavras-chave: ajuste; faixas de tratamento; tratamento corona; embalagens plásticas flexíveis; refugo; redução de tempo.

ABSTRACT

After some research looking to add value and improvements for the industry, it was noticed a viable application of improvement in the process of adjusting treatment ranges of the corona process, used to prepare the plastic film for printing commercial flexible plastic packaging labels. The system consists of applying a high voltage discharge on the plastic film so that it is able to adhere to the ink in the subsequent printing process. The area of the film that will receive the treatment, called treatment strips, are determined through the positioning of the electrodes, which is currently done manually, this adjustment must be made with the system in operation until the desired configuration is reached, for this reason, all plastic film that passes through the equipment during the adjustment process is unusable, generating a high rate of processing loss.

The possibility of reducing the electrode adjustment time, allows for a shorter setup time and a reduction in scrap. Since all companies that use this process use the adjustment manually, the improvement in this process would cover the entire segment, not limiting to a single customer.

This project aimed to accomplish this reduction, through the use of knowledge and resources provided throughout the mechanical engineering course.

Contact and follow-up was carried out with company managers to align issues and ensure an effective implementation of the adjustment device to obtain real gains in time reduction.

Keywords: fit; treatment ranges; corona treatment; flexible plastic packaging; scrap; time reduction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de embalagens produzidas	15
Figura 2 – Extrusora Balão Carnevalli	16
Figura 3 – Estação para Tratamento Corona modelo CSS utilizada em Extrusoras	17
Figura 4 – Estação de tratamento corona para extrusão	19
Figura 5 – Régua de eletrodos estação modelo CSS	29
Figura 6 – Exemplificação da distribuição de faixas.....	30
Figura 7 – Atuadores e interface gráfica	32
Figura 8 – Braço robótico.....	33
Figura 9 – Protótipo inicial régua de ajuste.....	35
Figura 10 – Frequências de levantamento	44
Figura 11 – Fluxograma para definição de qualidade de pega	45
Figura 12 – Representação da pega	46
Figura 13 – Geometria prévia do dispositivo	48
Figura 14 – Seção transversal da geometria prévia do dispositivo.....	49
Figura 15 – Medição da temperatura durante o processo de tratamento corona	50
Figura 16 – Gráfico módulo de elasticidade x massa específica.....	52
Figura 17 – Gráfico temperatura de fusão x massa específica	53
Figura 18 – Família dos materiais poliméricos	54
Figura 19 – Secção transversal retangular.....	63
Figura 20 – Representação de viga bi apoiada com carga distribuída.....	64
Figura 21 – Reações nos apoios	64
Figura 22 – Diagrama da força cortante	64
Figura 23 – Diagrama do momento fletor	65
Figura 24 – Representação de viga bi apoiada com carga distribuída.....	65
Figura 25 – Reações nos apoios	65
Figura 26 – Diagrama da força cortante	65
Figura 27 – Diagrama do momento fletor	66
Figura 28 – Representação de viga bi apoiada com carga distribuída.....	66
Figura 29 – Reações nos apoios	66
Figura 30 – Diagrama da força cortante	66
Figura 31 – Diagrama do momento fletor	67

Figura 32 – Vista em corte e lateral da união de corpos.....	68
Figura 33 – Dimensões rosca triangular passo normal.....	71
Figura 34 – Área de Trabalho.....	72
Figura 35 – Layout Estação de Tratamento com dimensões	73
Figura 36 – Estação de Tratamento Corona	74
Figura 37 – Dispositivo	75
Figura 38 – Dispositivo com Dimensões.....	75
Figura 39 – Suporte	76
Figura 40 – Cobertura 10mm	77
Figura 41 – Cobertura 25mm	77
Figura 42 – Cobertura 300mm	78
Figura 43 – Top	78
Figura 44 – Top posição inicial	79
Figura 45 – Parafuso Allen M5X16 - DIN912.....	79
Figura 46 – Parafuso Allen M4X30 - DIN912.....	80
Figura 47 – Porca sextavada M6 - DIN934 e parafuso Allen M6X75 - DIN912.....	80
Figura 48 – Trava	81
Figura 49 – Trava dimensões.....	81
Figura 50 – Corpo da Trava.....	81
Figura 51 – Base da Trava.....	81
Figura 52 – Formato "L"	82
Figura 53 – Formato "L": deformação, análise estática tensão nodal	83
Figura 54 – Formato "L": análise de deslocamento estático	83
Figura 55 – Formato "Rabo de Andorinha".....	84
Figura 56 – Formato "Rabo de Andorinha": deformação, análise estática tensão nodal	84
Figura 57 – Formato "Rabo de Andorinha": análise de deslocamento estático	85
Figura 58 – Formato "Circular"	85
Figura 59 – Formato "Circular": deformação, análise estática tensão nodal.....	86
Figura 60 – Formato "Circular": análise de deslocamento estático.....	86
Figura 61 – Condição 1: 400mm de distância	88
Figura 62 – Condição 3: Tensão.....	88
Figura 63 – Condição 3: Deslocamento	89
Figura 64 – Condição 2: 200mm de distância	89
Figura 65 – Condição 2: Tensão.....	90

Figura 66 – Condição 2: Deslocamento	90
Figura 67 – Condição 3: 100mm de distância	91
Figura 68 – Condição 3: Tensão.....	91
Figura 69 – Condição 3: Deslocamento	92
Figura 70 – Propriedade dos materiais	93
Figura 71 – Coletor de vibração TEKNIKAO modelo NK620.....	94
Figura 72 – Tacômetro digital utilizado para medição da rotação	94
Figura 73 – Pontos de fixação para simulação de vibração por oscilação de base.....	98
Figura 74 – Ponto de fixação para simulação de vibração por oscilação de base posição central	100
Figura 75 – Ponto de fixação para simulação de vibração por oscilação de base posição 200 mm	100
Figura 76 – Ponto de fixação simulação de vibração por oscilação de base posição 400 mm	101

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Análise dos critérios	36
Tabela 2 – Resultado análise dos critérios.....	36
Tabela 3 – Análise menor custo	37
Tabela 4 – Resultado análise menor custo.....	37
Tabela 5 – Análise menor complexidade	37
Tabela 6 – Resultado análise menor complexidade.....	37
Tabela 7 – Análise maior precisão	38
Tabela 8 – Resultado análise maior precisão.....	38
Tabela 9 – Análise menor tempo	38
Tabela 10 – Resultado análise menor tempo	39
Tabela 11 – Análise melhor manuseio	39
Tabela 12 – Resultado análise melhor manuseio.....	39
Tabela 13 – Matriz de Decisão	40
Tabela 14 – Fator de Pega	45
Tabela 15 – Valores de temperatura obtidos durante processo de tratamento corona	51
Tabela 16 – Considerações sobre as famílias de materiais para seleção	53
Tabela 17 – Propriedades do material Nylon 6	63
Tabela 18 – Resultado obtido de Tensão e Deslocamento	87
Tabela 19 – Resultado obtido de Tensão e Deslocamento	92
Tabela 20 – Rotação e frequência da estação de tratamento	95
Tabela 21 – Vibração da estação de tratamento por aceleração e velocidade.....	96
Tabela 22 – Velocidades adotadas para movimentação do operador.....	97
Tabela 23 – Resultados obtidos para simulação de vibração oscilação de base.....	99
Tabela 24 – Resultados obtidos para simulação de vibração oscilação de base.....	101
Tabela 25 – Resultados obtidos para análise modal	102
Tabela 26 – Cálculo dos valores máximos possíveis de condição de uso do dispositivo	102
Tabela 27 – Resultados do faceamento traseiro	105
Tabela 28 – Resultados dos Cálculos do Canal "T" - Primeira Etapa.....	106
Tabela 29 – Resultados dos Cálculos do Canal "T" - Segunda Etapa.....	107
Tabela 30 – Resultado dos Cálculos da Junta Circular	108
Tabela 31 – Resultados dos Cálculos dos Módulos	109

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	A EMPRESA	15
1.2	O PROCESSO	16
1.2.1	Extrusão do filme plástico.	16
1.2.2	Tratamento Corona	17
1.3	MOTIVAÇÃO	19
2	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	ERGONOMIA	20
2.1.1	Lei Nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977	20
2.1.2	Método NIOSH	20
2.2	SELEÇÃO DE MATERIAIS	21
2.3	CÁLCULOS ESTRUTURAIS	23
2.4	MODELAMENTO 3D	24
2.5	ANÁLISE ESTÁTICA	24
2.6	ANÁLISE MODAL	25
2.7	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	26
2.8	CUSTOS	27
2.8.1	PAYBACK	27
2.8.2	ROI	27
2.8.3	CUSTO DE OPORTUNIDADE	28
3	ESTUDO DE CASO	29
3.1	SETUP DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	29
3.2	PROPOSTAS DE SOLUÇÃO	31
3.2.1	AUTOMATIZAÇÃO INTERNA	31
3.2.2	BRAÇO ROBÓTICO	32
3.2.3	RÉGUA DE AJUSTE	34
3.3	MATRIZ DE DECISÃO	35
3.4	CONSIDERAÇÕES	40
4	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO	42

4.1	ERGONOMIA	42
4.1.1	Equação do Limite de Peso Recomendado (LPR)	42
4.1.1.1	<i>Constante de Carga (LC)</i>	42
4.1.1.2	<i>Fator de Distância Horizontal (HM)</i>	43
4.1.1.3	<i>Fator de Altura (VM)</i>	43
4.1.1.4	<i>Fator de Deslocamento Vertical (DM)</i>	43
4.1.1.5	<i>Fator de Assimetria (AM)</i>	43
4.1.1.6	<i>Fator de Frequência (FM)</i>	44
4.1.1.7	<i>Fator de Pega (CM)</i>	44
4.1.2	Cálculo do LPR para o projeto	46
4.2	SELEÇÃO DE MATERIAIS	47
4.2.1	Propriedades necessárias	47
4.2.1.1	<i>Determinação da densidade</i>	48
4.2.1.2	<i>Determinação temperatura em operação</i>	50
4.2.2	Seleção do material	51
4.2.2.1	<i>Seleção da Família do material</i>	51
4.2.2.2	<i>Seleção do polímero</i>	54
4.3	CÁLCULOS ESTRUTURAIS	55
4.3.1	Dimensionamento do dispositivo	56
4.3.1.1	<i>Memorial de cálculos estruturais</i>	56
4.3.1.2	<i>Força</i>	56
4.3.1.3	<i>Carga distribuída</i>	56
4.3.1.4	<i>Força Cortante e Momento Fletor – Cálculos Teóricos</i>	56
4.3.1.4.1	<i>Força Cortante e Momento Fletor – Condição 1</i>	57
4.3.1.4.2	<i>Força Cortante e Momento Fletor – Condição 2</i>	58
4.3.1.4.3	<i>Força Cortante e Momento Fletor – Condição 3</i>	60
4.3.1.5	<i>Discussão dos resultados – Cálculos Teóricos</i>	62
4.3.1.6	<i>Simulação</i>	63

4.3.1.7	<i>Resultados</i>	64
4.3.1.7.1	<i>Condição 1</i>	64
4.3.1.7.2	<i>Condição 2</i>	65
4.3.1.7.3	<i>Condição 3</i>	66
4.3.1.8	<i>Considerações e discussão dos resultados</i>	67
4.3.2	Dimensionamento de Parafuso	68
4.3.2.1	<i>Premissas</i>	69
4.3.2.2	<i>Cálculos do dimensionamento</i>	69
4.3.2.3	<i>Considerações</i>	71
4.4	MODELAMENTO 3D	72
4.4.1	Área de trabalho	72
4.4.2	Layout da Estação de Tratamento	73
4.4.3	Estação de Tratamento	74
4.4.4	Dispositivo	74
4.4.4.1	<i>Suporte</i>	76
4.4.4.2	<i>Coberturas</i>	76
4.4.4.3	<i>Top</i>	78
4.4.4.4	<i>Parafusos</i>	79
4.4.4.5	<i>Porcas</i>	80
4.4.4.6	<i>Travas</i>	81
4.5	ANÁLISE TIPO DE JUNÇÃO DO DISPOSITIVO	82
4.5.1	Formato “L”	82
4.5.2	Formato “Rabo de Andorinha”	84
4.5.3	Formato “CIRCULAR”	85
4.5.4	Formato escolhido	86
4.6	ANÁLISE ESTÁTICA	87
4.6.1	Condição 1: operador segurando dispositivo com 400mm entre as mãos	88
4.6.2	Condição 2: operador segurando dispositivo com 200mm entre as mãos	89

4.6.3	Condição 3: operador segurando o dispositivo no centro	90
4.6.4	Conclusões da análise estática	92
4.7	ANÁLISE MODAL	93
4.7.1	Vibrações do sistema	93
4.7.1.1	<i>Vibração forçada induzida por desbalanceamento</i>	94
4.7.1.2	<i>Vibração por oscilação de base</i>	96
4.7.2	Simulação computacional	98
4.7.2.1	<i>Vibração por desbalanceamento</i>	98
4.7.2.2	<i>Vibração por oscilação de base</i>	99
4.7.3	Considerações	101
4.8	CÁLCULOS DE USINAGEM	103
4.8.1	Material Utilizado	103
4.8.2	Faceamento para Regularização e Traseiro	103
4.8.3	Faceamento Traseiro	105
4.8.4	Canal “T” – Primeira Etapa	106
4.8.5	Canal “T” – Segunda Etapa	107
4.8.6	Junta Circular	108
4.8.7	Módulos de Ajuste	108
4.9	ANÁLISE ECONÔMICA	110
4.9.1	Cálculo do ROI (Retorno sobre investimento) e Payback	110
5	CONCLUSÃO	112
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	113
	REFERÊNCIA	114
	APÊNDICE A – DESENHOS 2D/3D	116
	APÊNDICE B – RESULTADOS SIMULAÇÕES ANÁLISE MODAL	133
	ANEXO A – PROPRIEDADE POLIAMIDA	144

1 INTRODUÇÃO

No contexto da fabricação de embalagens plásticas, produzidas por filmes plásticos impressos, há vários fatores que podem gerar perdas de materiais e financeiras. Uma busca constante em toda empresa é encontrar uma forma para sempre que possível reduzir essas perdas, seja através de melhorias de processos, máquinas, e reduzindo as perdas de processo. O objetivo desse projeto não é diferente: desenvolver conforme solicitação da empresa uma forma de reduzir as perdas no processo de fabricação de embalagens plásticas que passam pelo processo de tratamento corona que antecede a impressão no filme plástico.

1.1 A EMPRESA

A empresa foi fundada em 1967 para atuar na produção de bobinas plásticas com ou sem impressão, utilizando método de impressão por Flexografia e Rotogravura, para embalagem de alimentos. Em seu processo de expansão inclui no gama de produtos bobinas plásticas para embalagem de produtos de outros segmentos, deixando de atender apenas o ramo alimentício e passando a atender também o ramo de embalagens de limpeza e higiene. Atualmente é líder em soluções de embalagens flexíveis fornecendo uma ampla gama de produtos para a indústria de alimentos, bebidas, saúde, higiene, limpeza, agronegócio, nutrição animal, material de construção civil, químicos e petroquímicos e fertilizantes. A figura 1 ilustra a gama de produtos.

Figura 1 – Tipos de embalagens produzidas



Fonte: Autores adaptado de Empresa Parceira.

1.2 O PROCESSO

O processo de produção do filme plástico para embalagem alimentícia é composto por diversas etapas, inicialmente o filme é extrusado, depois impresso, e por fim realizado o acabamento da embalagem plástica alimentícia.

1.2.1 Extrusão do filme plástico.

Muito utilizado na indústria de plástico o processo de extrusão consiste em aquecer os grânulos da matéria prima até temperatura adequada para fusão, para que possa passar por uma matriz e adquirir a forma necessária para ser utilizado para produção de filmes plásticos tubulares, perfis e outros. A extrusora balão é o equipamento responsável pelo processamento da matéria prima rígida e transformá-lo em filme plástico flexível.

Na extrusora balão o material após a fusão é soprado em uma matriz circular formando um balão de filme de plástico, nesta etapa acontece a plastificação do material, conhecida como linha de névoa. O filme plástico é puxado pelo reversível da máquina e direcionado passando por uma sequência de rolos de passagem, é válido ressaltar que neste momento temos um filme duplo devido ao achatamento do balão. A figura 2 ilustra parte deste processo, é possível visualizar o filme plástico ainda em forma de balão.

Figura 2 – Extrusora Balão Carnevalli



Fonte: Carnevalli.

Quando o destino do filme plástico é ser utilizado para embalagens com algum tipo de rotulo impresso, o filme plástico passa por um equipamento denominado Estação de tratamento para receber o tratamento Corona. Sua função é preparar o filme para receber a tinta da impressão. A figura 3, apresenta um dos tipos disponíveis no mercado da estação de tratamento corona que é acoplada a extrusora na produção do filme plástico. Nesta etapa ambos os lados do filme recebem o tratamento.

Figura 3 – Estação para Tratamento Corona modelo CSS utilizada em Extrusoras



Fonte: Corona Brasil.

Após o processo de tratamento corona o filme plástico tem as extremidades cortadas para que o formato tubular se torne duas folhas de filme, cada lado do filme é enrolado em um conjunto Bobinador, onde acomoda uma respectiva bobina, que será destinada ao setor de impressão e receberá o rótulo do cliente pelo processo de impressão por Rotogravura ou Flexografia.

1.2.2 Tratamento Corona

Com intuito de encontrar uma solução para tornar possível impressão sobre superfícies plásticas, Verner Eisby em 1951 inventou o processo de tratamento Corona. O tratamento

Corona consiste em uma descarga de plasma, também chamado de descarga corona sobre uma superfície a fim de alterar a tensão superficial do material e torná-lo apto a aderência de tintas e revestimentos. A descarga de plasma se forma devido à alta tensão de uma descarga elétrica aplicada através de um par de eletrodos, o eletrodo metálico, geralmente de ponta afiada e fina, que é o polo positivo, e uma base por onde passa o material que é o polo negativo. A descarga elétrica ioniza as moléculas de oxigênio do ar que ficam livres para se ligar quimicamente com as moléculas da superfície do filme, aumentando a molhabilidade.

O plástico, assim como a maioria das matérias, tem a superfície quimicamente inerte o que dificulta aderência de líquidos sobre a superfície. Por isso, para que o filme plástico possa receber a tinta no processo de impressão é necessário melhorar sua molhabilidade, tendência de um líquido se espalhar por uma superfície.

As estações de tratamento corona tem condições específicas de uso devido as condições do processo. O processo de tratamento libera o gás ozônio, que é nocivo a saúde, pois, mesmo quando inalado em pequenas quantidades, causam irritação na garganta e nos pulmões e danos no tecido pulmonar que por consequência geram falta de ar e torna o tecido pulmonar mais sensível a infecções, por uma questão de segurança não é permitido a circulação de pessoas ao redor da estação enquanto o equipamento está em funcionamento. Outro ponto de atenção com a estação de tratamento corona é com relação a equipamentos eletrônicos, o processo que é a base de corrente elétrica não pode ter contato com nada possa gerar um desvio dessa corrente, pois além de falha no processo pode ocasionar choques caso alguém entre em contato com o equipamento. A fim de evitar que isso ocorra a estação de tratamento é fabricada com materiais isolantes, a tinta da superfície das paredes tem que ser isolante. Além disso muitas empresas durante o uso do equipamento acoplam sistemas de segurança adicionais para desarmar automaticamente o tratamento quando detectada fuga de corrente.

Os fabricantes do equipamento para realização do tratamento corona, disponibilizam soluções adaptadas a cada tipo de indústria. Existe uma estação de tratamento corona específica para ser atrelada em processos de extrusão de filme plástico. A estação apresentada na figura 3, anteriormente é uma delas desenvolvida pela fabricante Corona Brasil, a figura 4 a seguir apresenta uma estação da fabricante Vetaphone.

Figura 4 – Estação de tratamento corona para extrusão



Fonte: Vetaphone.

1.3 MOTIVAÇÃO

Uma vez que o processo de extrusão de filme plástico é ininterrupto, todo filme plástico produzido durante qualquer etapa de ajuste do processo se torna inutilizável, ou seja, é uma perda no processo de fabricação. Por consequência as perdas no processo são diretamente proporcionais ao tempo total de ajuste do processo, de modo que quanto maior o tempo de ajuste maior as perdas. Deste modo qualquer melhoria aplicada no processo, que gere redução nos tempos de ajuste, gera por consequência a diminuição das perdas, aumentando o índice de aproveitamento do processo, gerando uma diminuição do custo de fabricação.

2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico são apresentados todo referencial teórico dos estudos e análises que foram realizados na elaboração do dispositivo proposto como solução.

2.1 ERGONOMIA

Visando a adaptação do projeto as normas regulamentadoras que fazem referência ao âmbito ergonômico. É necessário garantir que o dispositivo não afete as condições psicofisiológicas, conforto e desempenho dos trabalhadores, durante manuseio do mesmo.

2.1.1 Lei Nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977

Com base na secção XIV, da Lei nº 6.514, artigo 198. É de 60 kg (sessenta quilogramas) o peso máximo que um empregado pode remover individualmente, ressalvadas as disposições especiais relativas ao trabalho do menor e da mulher.

2.1.2 Método NIOSH

A National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), desenvolveu em 1981 uma equação para avaliar a manipulação de cargas no trabalho. A intenção do método era criar uma ferramenta para poder identificar os riscos de lombalgia associados à carga física a que estava submetido o trabalhador e recomendar um limite de peso adequado para cada tarefa em questão. Em 1991, a equação foi revista e novos fatores foram incluídos para melhoria da aplicabilidade do método em situações comuns da indústria como: a manipulação assimétrica de cargas, a duração da tarefa, a frequência dos levantamentos a qualidade da pega.

Tanto a equação de 1981 como a sua versão modificada em 1991 foram elaboradas levando-se em conta quatro critérios: O epidemiológico, que é o estudo das doenças, sua incidência, prevalência, efeitos e os meios para sua prevenção ou tratamento. O biomecânico, que visa as estruturas e funções dos sistemas biológicos, usando conceitos, métodos e leis da mecânica. O fisiológico, que atende as funções do organismo em relação ao trabalho físico, nesta situação. O psicofísico, que considera o comportamento humano numa determinada situação.

2.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS

A seleção do material a ser utilizado em projeto é parte importante pois está diretamente ligada com todas as demais áreas de estudo, como por exemplo, cálculos estruturais, análises de vibrações e determinação de custos, uma vez esses estudos dependem das propriedades e informações do material.

Para selecionar adequadamente o material a ser utilizado é necessário primeiramente identificar os fatores que são cruciais para o projeto, quais as propriedades de interesse, qual a relevância do custo, possibilidades de processos de fabricação entre outros fatores. É importante ressaltar que, com relação as propriedades do material, em alguns casos não haverá um único material que atenderá as condições necessárias do projeto, e quando isso ocorre outros fatores, como por exemplo custo, disponibilidades, processos de fabricação e outros, precisam analisados e a decisão deve ser tomada pelo projetista.

É comum que para se conhecer as propriedades dos materiais sejam estudadas as literaturas específicas, como por exemplo, livros, handbooks, catálogos e outros. Essas literaturas são muito específicas, costumam detalhar o que é cada propriedade e como ela é obtida (ensaios, análises de composição e tipo de estrutura), e qual a característica do material que lhe confere aquelas propriedades. Neste aspecto, Callister (2008) que uma literatura específica de materiais, aponta uma divisão clara entre ciência dos materiais e engenharia de materiais.

Estritamente falando, "ciência dos materiais" envolve investigar as relações que existem entre as estruturas e propriedades dos materiais. Em contraste, "engenharia de materiais" é, com base nessas correlações estrutura-propriedade, projetar ou projetar a estrutura de um material para produzir um conjunto predeterminado de propriedades. De uma perspectiva funcional, o papel de um cientista de materiais é desenvolver ou sintetizar novos materiais, enquanto um engenheiro de materiais é chamado para criar produtos novos ou sistemas que usam materiais existentes e/ou para desenvolver técnicas de processamento de materiais. (Callister, 2008, pg. 3)

Devido as competências que cabem a engenharia de materiais é comum que as literaturas de projetos mecânicos e elementos de máquinas apresentem o tema de seleção de materiais, abordando algumas propriedades que sejam necessárias para o tipo de projeto abordado, alguns processos de fabricação e tratamentos e até mesmo uma orientação breve sobre como selecionar o material. É comum também ver em algumas normas de projetos algum indicação com relação ao material e suas propriedades, geralmente especificando condições de uso para determinados materiais.

A seleção de um material para uma peça de máquina ou membro estrutural é uma das decisões mais importantes que o engenheiro deve tomar. Normalmente, a decisão é tomada antes de as dimensões da peça serem estabelecidas. Após escolher o processo de criação da geometria desejada, bem como o material a ser empregado os dois não podem estar divorciados), o engenheiro pode dar proporções ao componente de modo que impeça perda de função ou que a chance de perda de função possa ser mantida em um nível de risco aceitável. (BUDYNAS; NISBETT, 2011, p 54)

Norton (2013, p. 63), assim como BUDYNAS; NISBETT (2011) ressalta a importância da seleção do material, e acrescenta que “Os materiais limitam projetos, e novos materiais que estão sendo inventados abrem novas possibilidades de projetos.” e finaliza indicando utilizar a abordagem criada M. F. Ashby, que atualmente estão disponíveis no software popularmente conhecido como CES EduPack produzido pela GRANTA que hoje tem o nome de GRANTA EduPack.

Collins (2003, p 93) também indica o uso do estudo desenvolvido por M. F. Ashby, e lista três etapas que considera essencial para seleção do material, que são: analisar os requisitos do material para o projeto; elaborar uma lista de materiais que atendam determinado requisito do projeto, classificando de modo que o melhor material esteja no topo da lista; e por último combinar essas listas de materiais para selecionar os melhores candidatos para o projeto.

BUDYNAS; NISBETT (2011) aponta um aspecto que não foi abordado nas demais literaturas citadas.

Tão importante quanto a tensão e a deflexão no projeto de peças mecânicas, a seleção de um material nem sempre se baseia nesses fatores. Muitas peças não têm absolutamente carga alguma atuando sobre elas. Elas podem ser projetadas meramente para preencher o espaço ou por questões estéticas. Muitas vezes os componentes têm de ser projetados para também resistir a corrosão. Por vezes os efeitos da temperatura são mais importantes em termos de projeto do que a tensão e a deformação. Portanto, vários outros fatores, além da tensão e da deformação, podem governar o projeto de peças que o engenheiro deve ter a versatilidade, que virá apenas com um amplo conhecimento de matérias e processos. BUDYNAS; NISBETT (2011, p 54)

Deste modo levando em consideração as orientações e considerações sobre seleção de materiais das literaturas citadas, entender o estudo de M. F. Ashby e o software GRANTA EduPack é essencial para seleção de materiais. De modo resumido Ashby levantou e organizou várias propriedades para vários materiais e organizou em mapas e gráficos que podem simplificar o processo de seleção de materiais, o mais conhecido é o gráfico que apresenta módulo de elasticidade no eixo y, e densidade no eixo x. O software GRANTA EduPack traz consigo um grande banco de dados de materiais e recursos para formação de gráficos com estilos e formatações que auxiliam na elaboração das listas de materiais que atendem os requisitos desejados. Além desses recursos de edições o software inclui em sua base de dados,

processos de fabricação, tratamentos e outras considerações que competem ao material selecionado.

2.3 CÁLCULOS ESTRUTURAIS

A análise estática tem por principal objetivo realizar estudo para verificação das solicitações sobre o dispositivo totalmente equipado, bem como demonstrar a relação de forças em função de diversas formas de manuseio do mesmo.

De acordo com Beer (2011), para se analisar a segurança de um elemento, depende não somente do valor encontrado para a força interna, mas também da área da seção transversal e do material que compõe este mesmo elemento. Essa foi uma das abordagens adotadas nessa seção por intermédio de cálculos comprobatórios.

O dispositivo projetado não tem quaisquer solicitações sobre a sua estrutura além de seu próprio peso. Portanto, não há influência de forças axiais. Dessa forma, conhecida a sua massa, é possível calcular a força atuante sobre o mesmo considerando esse fator.

A análise estática abordada neste capítulo simula a solicitação de carga completa sobre a régua de ajuste com trilho em “T”, uma vez que esse componente do dispositivo tem uma maior solicitação devido à ação do peso das demais peças (coberturas e top) após a ocorrência da montagem, ocasionando uma maior tensão sobretudo na região central onde ocorre a montagem da régua, lê-se objeto de estudo. Em função dos fatores levantados, trata-se da região mais crítica.

Para fins de cálculos estruturais, conhecidas a força e a carga distribuída sobre a estrutura, é possível analisar a influência que estes esforços detêm sobre a mesma, ao fornecer dados quantitativos por intermédio dos parâmetros de força cortante e momento fletor, analisados através do método dos cortes para o desenvolvimento de todos os cálculos determinantes e validação destes cálculos via software F-TOOL com os diagramas de esforços internos solicitantes (D.E.I.S).

Tais análises são de suma importância para análise e seleção correta das condições adequadas à aplicação, em concordância com citação mencionada por Beer (2011).

O papel do engenheiro não se limita à análise das estruturas e das máquinas existentes sujeitas a uma determinada condição de carga. Mais importante ainda para o engenheiro é o projeto de novas estruturas e máquinas, o que implica a seleção dos componentes aptos a executar cada função específica (BEER,2011, p.26)

Mais adiante, ao passo que avanços são feitos no sentido construtivo da peça, serão abordadas bases teóricas e cálculos complementares para suportar novos implementos e modificações às quais a primeira versão desta tecnologia irá se aprimorar.

Dentre essas abordagens, teremos o dimensionamento de uma peça que irá auxiliar seu modo de uso e prover segurança para o projeto. Os cálculos de dimensionamento se baseiam na seleção de peças “tabeladas” de tal forma que essas tenham as propriedades e características necessárias para atender as demandas (sejam elas tamanho, forças, tensões, condições de trabalho, temperatura, custo, dentre outros parâmetros) do projeto.

2.4 MODELAMENTO 3D

De acordo com Giesecke (2002) os engenheiros e técnicos vêm utilizando com maior frequência e intensamente os recursos computacionais, para confecção de desenho técnico a partir da modelagem. Atualmente com a facilidade de obtenção do PC que, anteriormente era escasso ao mercado devido seu preço elevado, é constantemente utilizado em conjunto com projeto ou desenho assistido por computador, CAD.

O modelamento 3D é de grande valia para a fabricação dos produtos, conforme Giesecke afirma:

“Agora você pode facilmente criar, revisar, imprimir e armazenar desenhos. O CAD, originalmente, foi usado somente para criar desenhos de execução 2-D, mas o advento de programas CAD 3-D gerou avanços na fabricação dos produtos.” (GIESECKE, 2002, p. 36).

2.5 ANÁLISE ESTÁTICA

Conforme Alves Filho (2009) na área de cálculos estruturais o responsável pelo projeto, engenheiro, garante que a estrutura não estará sujeita a falha por inúmeras condições de contorno a partir da resistência dos materiais, que aborda a resistência e a rigidez referente aos elementos das estruturas, embasados no estudo da estática dos teoremas da mecânica geral. Após esse estudo, cria-se o modelo de cálculo para geometrias simples, com condições de carregamento e apoio muito “bem-comportados”, são extraídas soluções exatas para o problema analisado. Entretanto a maioria das estruturas são complexas para ser analisadas pelas técnicas clássicas, então é feito a inserção das técnicas numéricas, como o método dos elementos finitos

que, tem por finalidade determinar o comportamento estrutural de componentes com formas complexas, utilizando softwares de análise disponíveis.

2.6 ANÁLISE MODAL

As vibrações mecânicas é um tema essencial em análise de projetos mecânicos, devido as falhas que podem gerar. Embora sempre visto como sinônimo de problema em alguns casos as vibrações são desejadas e é necessário conhecer seu comportamento a fim de ter controle de seus efeitos. Conforme apresentado por RAO (2009) a diversos exemplos em que as vibrações não são desejadas: desbalanceamento de motores; vibrações em turbinas; em máquinas ocorre a soldura dos elementos de fixação; em processos de usinagem resulta em mau acabamento superficial. O autor também apresenta situações em que as vibrações são usadas a favor do projeto: esteiras transportadoras; máquinas de lavar; escovas de dentes elétricas; brocas odontológicas; relógios; massageadores; testes de materiais; filtragem de frequências indesejadas em circuitos eletrônicos; entre outros.

Conforme apresentado nas literaturas do tema, como RAO (2009), KELLY (2018) e outros, as falhas ocorrem devido a ressonância que ocorre no momento que a excitação externar atinge a frequência natural de uma máquina, causando deflexões excessivas e falha do material por fadiga devido as variações cíclicas. Esse fator ressalta a importância da determinação das frequências naturais em projetos mecânicos e da identificação dos elementos causadores de vibração em um sistema.

Ao longo dos estudos de vibrações foram desenvolvidos vários métodos de cálculo a fim de determinar as frequências naturais dos objetos e as formas modais de vibrar: fórmula de Dunkerkey; método de Rayleigh; método de Holzer; método de interação matricial; método de Jacobi. Devido à complexidade de cálculos que se tem quando os objetos de estudo são tratados com muitos graus de liberdade e condições de contorno próximas da realidade, muitos softwares de cálculos são utilizados como apoio após o modelamento do sistema: MATLAB; C++; FORTRAN. Além de softwares de cálculos, alguns softwares de projetos mecânicos trazem um módulo dedicado para determinação de frequências naturais e modos de vibrar, como por exemplo, o SolidWorks e o Ansys.

Os estudos relacionados a identificar os elementos causadores de vibração em um sistema e seus impactos são chamados de excitação ou vibrações forçadas, que é quando o sistema implica uma força ou deslocamento ao objeto de estudo. Neste tema destacam-se alguns comportamentos: o fenômeno do batimento, que ocorre quando a frequência de excitação é

próxima, porém não igual a frequência natural aumentando e diminuindo a amplitude seguindo um padrão regular; a oscilação de base, quando o objeto de estudo está sobre uma base que oscila, o exemplo mais comum nas literaturas neste caso é de um veículo que anda em uma estrada irregular; e o desbalanceamento rotativo, devido ao desbalanceamento inerente de todo equipamento rotativo.

Para validar e ter controle das vibrações é importante também abordar o aspecto da medição da vibração. Neste aspecto no ramo industrial, principalmente em análise de manutenção preditiva, há equipamentos específicos para medições, como transdutores de deslocamento, acelerômetro, tradutores de velocidade e normas que determinam métodos e condições de ensaios, como por exemplo a norma NBR10082, que especifica as regras a serem utilizadas na avaliação do estado de funcionamento de máquinas rotativas, que operam entre 600 rpm e 15000 rpm, com potência acima de 15 kW e frequência de vibração entre 10 Hz e 1 000 Hz, através da medição de vibrações mecânicas na carcaça do mancal ou no pedestal que suporta o mancal.

2.7 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

É possível definir como usinagem um processo que tenha como característica a remoção do material com geração de cavacos e tendo como principal objetivo a alteração das suas dimensões e rugosidade da peça. O cavaco produzido é caracterizado pelo material que é retirada da matéria bruta em processo e configura-se por possuir geometria irregular (KÖNIG; KLOCKE, 1997).

O processo a ser utilizado é o fresamento, pela versatilidade e condições de oferecer muitas possibilidades geométricas para uma peça que deseja obter. Ele é definido como uma operação de usinagem onde o material é removido através de uma ferramenta giratória de múltiplas arestas cortantes.

De maneira a obter um levantamento de tempo de usinagem para levantamento de custos do Dispositivo, procurou-se seguir a metodologia elaborada por DINIZ (2008) com equações e condições fenomenológicas derivadas do próprio processo.

2.8 CUSTOS

No mundo corporativo, essencialmente nos dias de hoje, a atenção e o controle de custos é um fator determinando para o sucesso financeiro de qualquer empresa. Quando se estrutura um novo projeto, uma nova planta ou qualquer novo investimento, os empresários deparam-se com uma encruzilhada: custos contra retorno. O sucesso de um novo projeto se baseia em diversos pilares e um dele é uma boa modelagem dos custos e a projeção do retorno que se obtém do investimento.

Por conta disso, abordaremos com mais detalhes ao longo do trabalho essa grandeza e decisões do projeto serão decompostas e explicadas com fins de alertar sobre a influência dos custos em uma concepção de sucesso e sua influência como um pivô relevante nas decisões de engenharia.

2.8.1 PAYBACK

Payback é uma análise financeira onde avalia-se qual será o tempo necessário para que se recupere o capital investido em um projeto. Tal estudo é composto pela projeção da soma dos rendimentos futuros. Dessa forma, quando a soma dos rendimentos do projeto iguala-se ao valor total investido temos o Payback.

Apesar do conceito ser relativamente simples, ele é amplamente utilizado nas mais diversas análises de investimento, geralmente seu resultado retorna um valor entre meses e anos. Naturalmente quanto menor o tempo necessário para atingir o Payback melhor torna-se essa proposta de investimento, porém é válido lembrar que não existe gabarito quando se trata de Payback justamente porque cada projeto possui suas especificidades, onde alguns exigem mais tempo ao passo que outros necessitam de menos.

2.8.2 ROI

O ROI, diferentemente do Payback, possui uma abordagem financeira e não temporal. Seu resultado indica qual margem de receita sobre o investimento realizado. De forma bem simplista, é justo afirmar que essa análise nos mostra quantos reais de receita foram feitos a partir de cada real investido.

Vastamente utilizada no mundo corporativo e em análises de viabilidade de projetos, ROI nos permite identificar qual o retorno esperado sobre o investimento e, assim como no

PayBack, trata-se de uma análise com conclusão relativa. Essa, porém, pode também ser alvo de comparações com outros índices de referência, ao passo que seu resultado está sujeito à uma comparação direta com o custo de oportunidade (*Cost of Opportunity*).

2.8.3 CUSTO DE OPORTUNIDADE

Trata-se de um conceito teórico onde compara-se alternativas de investimento no sentido de avaliar o retorno esperado pelo projeto e compará-lo se ele fosse destinado à alguma outra aplicação (investir em um CDB, aumentar a planta, contratar novos funcionários e etc.)

3 ESTUDO DE CASO

A problemática a ser apresentada neste projeto tem origem no processo de produção de filme plástico com uso destinado para embalagem alimentícia, especificamente na parte do processo em que ocorre o tratamento corona.

3.1 SETUP DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

Para o filme plástico poder aderir a tinta, é necessário realizar o tratamento corona, porém, em trechos do filme em que não há impressão, não há necessidade de tratamento superficial. O tratamento superficial corona nos processos subsequentes de acabamento, prejudica a solda do plástico, portanto não é comumente realizado o tratamento na largura total do filme.

Para ser realizado o ajuste, há uma ficha de processo, em que especifica as faixas que devem ser tratadas e seus respectivos ajustes. O operador com essa ficha em mãos, realiza o ajuste da estação de tratamento, através da movimentação dos eletrodos para a configuração desejada. A figura 5 apresenta uma configuração aleatória dos eletrodos.

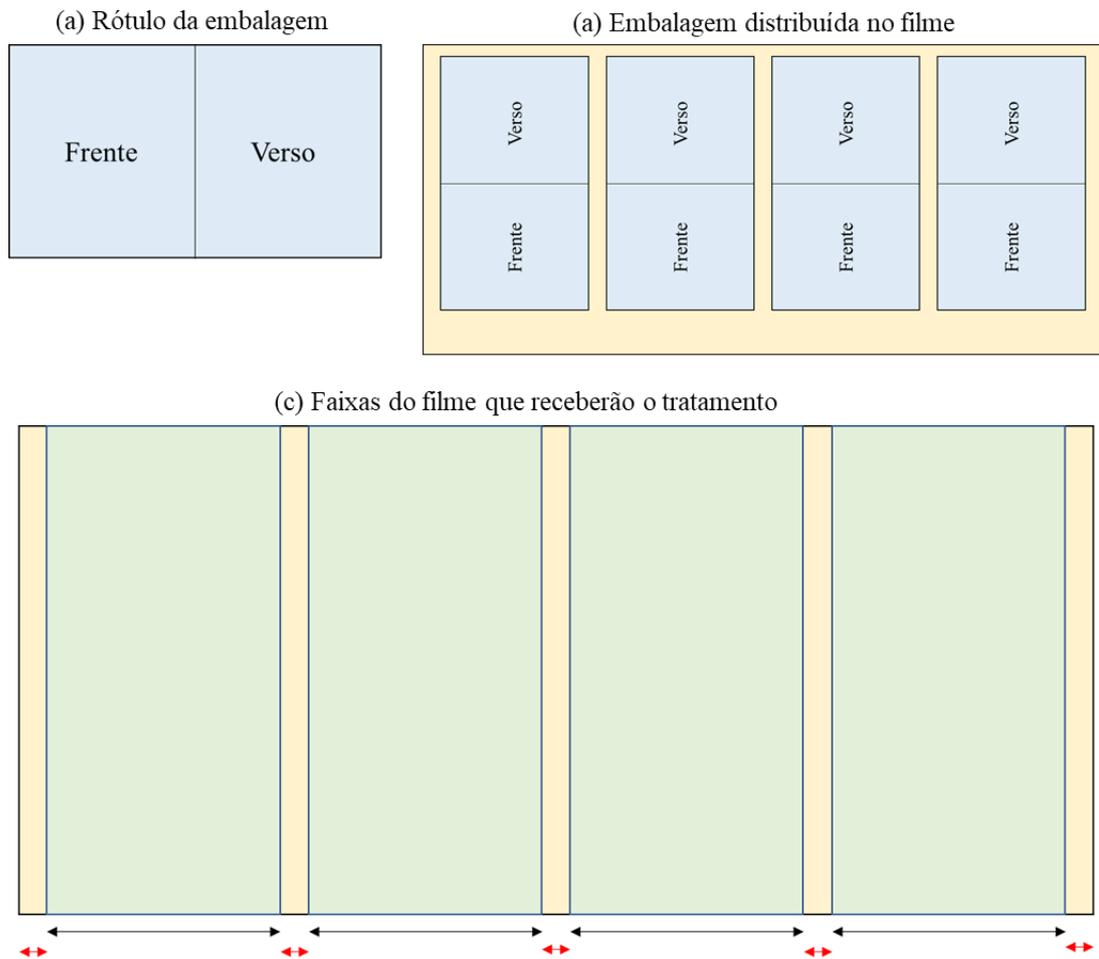
Figura 5 – Régua de eletrodos estação modelo CSS



Fonte: Corona Brasil.

A configuração do layout que é fornecido ao operador responsável, tem a seguinte disposição na ficha técnica indicando as cotas das faixas de tratamento, representadas pelas cotas pretas e vermelhas ilustrado no item “c” da figura 6. Os itens “a” e “b” da figura 6 ilustram como a embalagem é disposta no filme.

Figura 6 – Exemplificação da distribuição de faixas



Fonte: Autores.

O operador responsável, com base na ficha técnica, realiza as seguintes etapas para o ajuste do layout:

- a) Desativa o tratamento;
- b) Se desloca até a estação de tratamento e abre a tampa;
- c) Com auxílio de uma trena mede as faixas e ajusta os eletrodos, de modo que coloca na vertical (levanta) os eletrodos correspondentes as faixas que irão receber o tratamento, chamado de eletrodos ativos, e coloca na horizontal (abaixa) os eletrodos correspondentes as faixas que não receberão os tratamentos, chamados de eletrodos não ativos;
- d) Após o ajuste o operador fecha a tampa e reativa o tratamento;
- e) O operador se desloca até a bobina final do processo de extrusão retira uma amostra do filme plástico e leva para o teste de aderência;

- f) Em uma bancada através do uso de uma caneta de prova, o operador passa a caneta sobre filme plástico para verificar se as faixas de tinta estão de acordo com as faixas solicitadas na ficha técnica.

Caso o resultado do teste de aderência seja negativo é necessário que o operador realize o ajuste novamente até que atenda as especificações da ficha técnica.

O tempo médio de ajuste de tratamento é de 40 min por acerto de pedido.

3.2 PROPOSTAS DE SOLUÇÃO

Com objetivo de reduzir o tempo de setup da estação de tratamento corona, na etapa de ajuste de faixa da estação de tratamento corona, modelo CSS, fabricada pela Corona Brasil e utilizada pela empresa no processo de extrusão de filmes plásticos para produção de embalagens, são apresentadas a seguir diferentes propostas que podem atender esse objetivo.

3.2.1 AUTOMATIZAÇÃO INTERNA

Desenvolver um dispositivo que fique interno ao equipamento, dentro da tampa, e possa realizar a alternância da posição dos eletrodos entre e ativos e não ativos conforme ficha técnica.

A alternância será realizada por um conjunto formado por um atuador linear para realizar o translado do atuador cilíndrico com ponta pela extensão da régua de eletrodos e um atuador cilíndrico com ponta adequada para movimentar um grupo de eletrodos, da posição ativado para não ativado ou da posição não ativada para a posição ativado.

Juntamente com o dispositivo será necessário utilizar uma interface gráfica com lógica de programação adequada que atenda aos requisitos necessários, e sensores que sejam capazes de indicar a posição dos eletrodos para que o sistema calcule os movimentos necessários dos atuadores até que não seja necessário realizar nenhum movimento. Será necessário também sensores que indiquem a posição inicial do filme plástico em relação a régua de ajuste.

Deste modo o processo de ajuste do layout dos eletrodos será reduzido para duas etapas: a primeira onde o operador apenas informa o comprimento em milímetros de cada faixa sequencialmente e indique se o comprimento equivale a uma faixa de eletrodos ativados ou não ativado; A segunda etapa que por critério de qualidade de modo algum poderá ser extinta do processo que é a verificação das faixas através do teste de aderência.

A figura 7 ilustra equipamentos existentes atualmente que servem de base para a concepção da proposta.

Figura 7 – Atuadores e interface gráfica



Fonte: Autores adaptado de Parker e Omron.

Analisando as características do processo e da solução proposta temos as vantagens e desvantagens apresentadas a seguir:

- Vantagens:
 - Baixo tempo de setup: estimasse reduzir 80% do tempo de setup;
 - Redução da mão de obra: com o processo automatizado o operador destina-se apenas a inserção dos dados da ficha no programa;
 - Precisão: com toda movimentação devidamente calculada pelo software não haverá falhas no que diz respeito a atender as medidas indicadas na ficha técnica.
- Desvantagens:
 - Complexidade do projeto: Muitas etapas para alinhamento da movimentação de todos os elementos além de isolamento específicos para todos os equipamentos;
 - Alto custo de implementação: muitos elementos e projeto complexo;
 - Alteração no layout do equipamento: para acoplamento interno será necessário alterar a carcaça atual do equipamento de tratamento corona, de modo a aumentar o espaço interno entre a régua de eletrodos e a tampa;
 - Riscos de fuga de tensão no funcionamento da estação.

3.2.2 BRAÇO ROBÓTICO

Desenvolver um braço robótico que fique externo ao equipamento, que possa realizar a alternância da posição dos eletrodos entre e ativos e não ativos conforme ficha técnica.

A alternância será realizada por um “gancho” acoplado a ponta do braço robótico que deve ter no mínimo duas articulações, uma entra o braço e a base vertical para aproximar a ponta da régua de eletrodos, e a segunda entre o gancho e o braço para movimentação dos grupos de eletrodos, da posição ativado para não ativado ou da posição não ativada para a posição ativado. A base vertical do braço será acoplada a uma guia linear fixa para realizar o translado do braço pela extensão da régua de eletrodos.

Juntamente com o dispositivo será necessário utilizar uma interface gráfica com lógica de programação adequada que atenda aos requisitos necessários, e sensores que sejam capazes de indicar a posição dos eletrodos para que o sistema calcule os movimentos necessários dos atuadores até que não seja necessário realizar nenhum movimento. Será necessário também incluir uma etapa pneumática para abertura e fechamento da tampa, com lógica associada a necessidade de movimentação do braço e sensores que indiquem a posição inicial do filme plástico em relação a régua de ajuste.

Deste modo o processo de ajuste do layout dos eletrodos será reduzido para duas etapas: a primeira onde o operador apenas informa o comprimento em milímetros de cada faixa sequencialmente e indique se o comprimento equivale a uma faixa de eletrodos ativados ou não ativado; A segunda etapa que por critério de qualidade de modo algum poderá ser extinta do processo que é a verificação das faixas através do teste de aderência.

A figura 8 apresenta um braço robótico da Borunte.

Figura 8 – Braço robótico



Fonte: Borunte.

Analisando as características do processo e da solução proposta temos as vantagens e desvantagens apresentadas a seguir:

- Vantagens:
 - Médio tempo de setup: estimasse reduzir 60% do tempo de setup;
 - Redução da mão de obra: com o processo automatizado o operador destina-se apenas a inserção dos dados da ficha no programa;
 - Precisão: com toda movimentação devidamente calculada pelo software não haverá falhas no que diz respeito a atender as medidas indicadas na ficha técnica.
- Desvantagens:
 - Complexidade do projeto: necessidade de no mínimo duas articulações no braço e sistemas auxiliares para abrir e fechar porta e indicar posicionamento dos eletrodos;
 - Alto custo de implementação;
 - Alteração no layout do equipamento: Necessidade de mudar a tampa e o layout ao redor da estação para que seja possível acoplar o braço e águia sem alterar as demais etapas do processo e sem ter contato com filme plástico que entrará no equipamento.
 - Não há espaço externo da estação para inserir um braço, pois devido a movimentação de operadores no ajuste, irá interferir na passagem.

3.2.3 RÉGUA DE AJUSTE

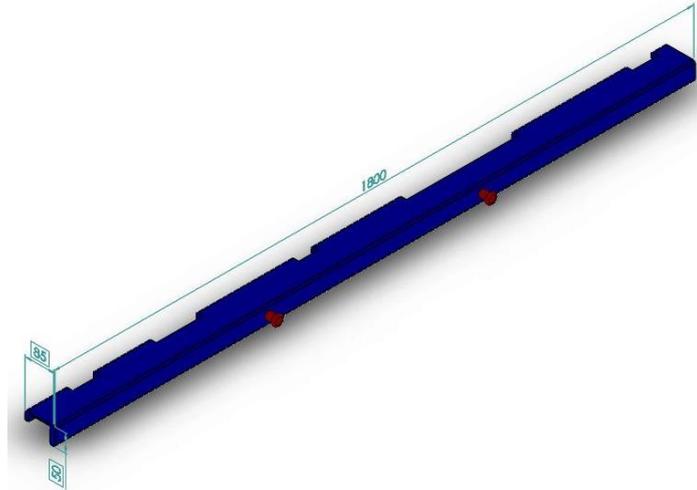
Desenvolver um dispositivo para ser posicionado sobre os eletrodos no momento do ajuste que limite a movimentação de parte dos eletrodos permitindo que seja alterada a posição apenas dos eletrodos desejados, conforme necessidade indicada na ficha de processo.

A alternância da posição dos eletrodos será realizada por um operador, que colocará o dispositivo sobre a régua de eletrodos. O dispositivo terá abertura somente nas faixas que não receberão tratamento, que corresponde aos eletrodos não ativos, de modo que permita que o operador não altere os demais eletrodos, eliminando o risco de alterar a posição de um eletrodo que não deva ser alterado.

Juntamente com o gabarito será necessário desenvolver algo que permita que o operador posicione corretamente o início do gabarito com a posição inicial do filme plástico.

A figura 9 apresenta um protótipo de gabarito.

Figura 9 – Protótipo inicial régua de ajuste



Fonte: Autores.

Analisando as características do processo e da solução proposta temos as vantagens e desvantagens apresentadas a seguir:

- Vantagens:
 - Redução do tempo de setup: estimasse reduzir 30% do tempo de setup;
 - Simples fabricação e implementação;
 - Baixa manutenção;
 - Baixo custo de implementação.

- Desvantagens:
 - Processo Manual: embora reduza o tempo de setup a solução ainda depende de um operador que pode não seguir as recomendações de uso acarretando falha no ajuste e gerando necessidade de correção.

3.3 MATRIZ DE DECISÃO

Seguindo a metodologia AHP, foi desenvolvida a matriz de decisão que compara as propostas de soluções apresentadas anteriormente indicando qual das opções é a melhor para atender os requisitos do projeto.

Os seguintes critérios foram selecionados como importante para o projeto: menor custo, menor complexidade do projeto, maior precisão, menor tempo de setup, melhor manuseio. Os

critérios foram comparados um a um a fim de indicar qual dos cinco tem maior relevância para o projeto.

A tabela 1 a seguir indica a notas atribuídas na comparação e a tabela 2 indica o resultado obtido.

Tabela 1 – Análise dos critérios

Critérios	Menor Custo	Menor complexidade	Maior precisão	Menor tempo	Melhor Manuseio
Menor Custo	1	3	5	0,2	3
Menor complexidade	0,333	1	5	0,333	3
Maior precisão	0,20	0,2	1	3	3
Menor tempo	5	3	0,333	1	3
Melhor Manuseio	0,333	0,333	0,33	0,33	1
Total	6,867	7,533	11,667	4,867	13

Fonte: Autores.

Conforme tabela 2 os aspectos mais relevantes para este projeto são menor tempo, menor custo, maior precisão e menor complexidade.

Tabela 2 – Resultado análise dos critérios

Critérios	Menor Custo	Menor complexidade	Maior precisão	Menor tempo	Melhor Manuseio	Prioridade relativa
Menor Custo	0,146	0,398	0,429	0,041	0,231	25%
Menor complexidade	0,049	0,133	0,429	0,068	0,231	18%
Maior precisão	0,029	0,027	0,086	0,616	0,231	20%
Menor tempo	0,728	0,398	0,029	0,205	0,231	32%
Melhor Manuseio	0,049	0,044	0,029	0,068	0,077	5%
Total	1	1	1	1	1	100%

Fonte: Autores.

A tabela 3 a seguir indica a notas atribuídas na comparação entra cada solução proposta com relação ao critério menor custo e a tabela 4 indica o resultado obtido.

Tabela 3 – Análise menor custo

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão
Automatização interna	1,000	3,000	0,143
Braço Robótico	0,333	1,000	0,111
Régua padrão	7,000	9,000	1,000
Total	8,333	13,000	1,254

Fonte: Autores.

Conforme tabela 4 a proposta de menor custo é a régua de ajuste.

Tabela 4 – Resultado análise menor custo

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão	Média dos Pesos
Automatização interna	0,120	0,231	0,114	15%
Braço Robótico	0,040	0,077	0,089	7%
Régua padrão	0,840	0,692	0,797	78%
Total	1	1	1	100%

Fonte: Autores.

A tabela 5 a seguir indica a notas atribuídas na comparação entra cada solução proposta com relação ao critério menor complexidade e a tabela 6 indica o resultado obtido.

Tabela 5 – Análise menor complexidade

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão
Automatização interna	1,000	5,000	0,111
Braço Robótico	0,200	1,000	0,111
Régua padrão	9,000	9,000	1,000
Total	10,200	15,000	1,222

Fonte: Autores.

Conforme tabela 6 a proposta de menor complexidade é a régua de ajuste.

Tabela 6 – Resultado análise menor complexidade

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão	Média dos Pesos
Automatização interna	0,0980	0,3333	0,0909	17%
Braço Robótico	0,0196	0,0667	0,0909	6%
Régua padrão	0,8824	0,6000	0,8182	77%
Total	1,0000	1,0000	1,0000	100%

Fonte: Autores.

A tabela 7 a seguir indica as notas atribuídas na comparação entre cada solução proposta com relação ao critério maior precisão e a tabela 8 indica o resultado obtido.

Tabela 7 – Análise maior precisão

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão
Automatização interna	1,000	5,000	3,000
Braço Robótico	0,200	1,000	3,000
Régua padrão	0,333	0,333	1,000
Total	1,533	6,333	7,000

Fonte: Autores.

Conforme tabela 8 a proposta de maior precisão é a automatização interna.

Tabela 8 – Resultado análise maior precisão

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão	Média dos Pesos
Automatização interna	0,652	0,789	0,429	62%
Braço Robótico	0,130	0,158	0,429	24%
Régua padrão	0,217	0,053	0,143	14%
Total	1	1	1	100%

Fonte: Autores.

A tabela 9 a seguir indica as notas atribuídas na comparação entre cada solução proposta com relação ao critério menor tempo de setup e a tabela 10 indica o resultado obtido.

Tabela 9 – Análise menor tempo

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão
Automatização interna	1,000	3,000	3,000
Braço Robótico	0,333	1,000	0,333
Régua padrão	0,333	3,000	1,000
Total	1,667	7,000	4,333

Fonte: Autores.

Conforme tabela 10 a proposta de menor tempo de setup é a automatização interna.

Tabela 10 – Resultado análise menor tempo

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão	Média dos Pesos
Automatização interna	0,600	0,429	0,692	57%
Braço Robótico	0,200	0,143	0,077	14%
Régua padrão	0,200	0,429	0,231	29%
Total	1	1	1	100%

Fonte: Autores.

A tabela 11 a seguir indica a notas atribuídas na comparação entre cada solução proposta com relação ao critério melhor manuseio a tabela 12 indica o resultado obtido.

Tabela 11 – Análise melhor manuseio

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão
Automatização interna	1,00	1,00	5,00
Braço Robótico	1,00	1,00	5,00
Régua padrão	0,20	0,20	1,00
Total	2,20	2,20	11,00

Fonte: Autores.

Conforme tabela 12 a proposta de manuseio simples é a automatização interna e o braço robótico.

Tabela 12 – Resultado análise melhor manuseio

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão	Média dos Pesos
Automatização interna	0,455	0,455	0,455	45%
Braço Robótico	0,455	0,455	0,455	45%
Régua padrão	0,091	0,091	0,091	9%
Total	1	1	1	100%

Fonte: Autores.

Após análise dos critérios mais relevantes e da melhor solução para cada critério considerado foi realizada a média ponderada dos fatores indicando a melhor solução, que conforme indicado na tabela 13, é a régua de ajuste.

Tabela 13 – Matriz de Decisão

Critérios	Automatização interna	Braço Robótico	Régua padrão Dispositivo	Média dos Pesos
Menor Custo	15%	7%	78%	25%
Menor Complexidade	17%	6%	77%	18%
Maior Precisão	62%	24%	14%	20%
Menor Tempo	57%	14%	29%	32%
Melhor Manuseio	45%	45%	9%	5%
Total	40%	14%	46%	100%

Fonte: Autores.

3.4 CONSIDERAÇÕES

Após algumas discussões a respeito das necessidades indicadas pela empresa e a proposta de solução escolhida foram levantadas algumas necessidades de alterações no projeto proposto inicialmente. Essas mudanças são apresentadas a seguir:

- a) Devido as dimensões da estação de tratamento que além de corredores relativamente estreitos ainda possuem escadas para que o operador possa transportar o dispositivo com conforto até a estação de tratamento é necessário que o dispositivo seja desmontável;
- b) A fim de atender o mix de produções de embalagens as faixas que delimitam as áreas que receberão o tratamento não podem ser fixas, precisam ser ajustáveis. Uma vez que fossem fixas para cada tipo de embalagem seria necessário a elaboração de um dispositivo diferente, o que caracteriza além de um custo maior por produção de várias unidades, indica também necessidade de um local para armazenamento dos dispositivos de ajuste;
- c) O dispositivo deve ter o comprimento total da régua de eletrodos e não mais o comprimento específico para cada configuração referente a cada tipo de embalagem;
- d) Devido a geometria interna da estação de tratamento ser pequena para reduzir o tamanho do dispositivo devem ser eliminados os ganchos ou puxadores do dispositivo (os pinos em vermelho na figura 9), e o dispositivo deve ter uma

geometria confortável para que o operador consiga segurá-lo sem dificuldades, com pontos de apoios para encaixe dos dedos;

- e) Para auxílio na montagem do dispositivo uma escala graduada irá acompanhar o dispositivo para posicionamento correto dos suportes que irão determinar as faixas de tratamento;
- f) É necessário que sejam elaboradas travas para que os suportes não desloquem durante a colocação do dispositivo sobre os eletrodos.
- g) Um suporte lateral é necessário para que trave o dispositivo na posição inicial alinhado com o início da régua de eletrodos.

4 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

Neste capítulo são apresentadas as análises realizadas que servirão de base para construção do dispositivo e validação de suas condições de uso, sendo elas: ergonômica, seleção de matérias, estrutural, estática, modal, processo de fabricação e custos.

4.1 ERGONOMIA

Para encontrar o peso limite tolerável para o projeto, foi realizado a sequência de cálculos abaixo. Todos os fatores foram definidos com base em análise real da rotina de trabalho.

4.1.1 Equação do Limite de Peso Recomendado (LPR)

A equação 1 a seguir apresenta o limite de peso recomendado.

$$LPR = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \quad (1)$$

Sendo:

LPR = Limite de Peso Recomendado;

LC = Constante de Carga = 23 kg;

HM = Fator de Distância Horizontal;

VM = Fator de Altura;

DM = Fator de Deslocamento Vertical;

AM = Fator de Assimetria;

FM = Fator de Frequência;

CM = Fator de Pega;

4.1.1.1 Constante de Carga (LC)

Foi proposto pelo NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) na década de 1990, um limite máximo razoável para o levantamento de cargas, cujo valor é 23 kg, em condições ideais, podendo ser reduzido significativamente conforme as condições do posto de trabalho onde a atividade é realizada.

É importante ressaltar que esse limite de 23 kg, não garante uma segurança de 100%, existem muitos fatores que contribuem para os acometimentos da coluna vertebral além da atividade de levantar pesos. Pré-disposição, idade, hábitos de vida entre outros. Pode-se considerar conforme a literatura que o limite de 23 kg garante uma margem de segurança para 95% dos homens e 90% das mulheres consideradas saudáveis (sem histórico de lesão, por exemplo).

4.1.1.2 Fator de Distância Horizontal (HM)

Corresponde à distância horizontal (em centímetros) entre a posição das mãos no início do levantamento e o ponto médio sobre uma linha imaginária ligando os dois tornozelos. Calcula-se dividindo a constante 25 pela distância mensurada. Portanto se a carga está 30 cm de distância do corpo, teremos: $25/30 = 0,83$ (fator de multiplicação da fórmula).

4.1.1.3 Fator de Altura (VM)

Corresponde à distância vertical, em cm, das mãos com relação ao solo no início do levantamento. O cálculo se dá por meio da equação: $1 - (0,003 \times [Vc-75])$ - para alturas acima de 75 cm e; $1 - (-0,003 \times [Vc-75])$ - para alturas até 75 cm.

4.1.1.4 Fator de Deslocamento Vertical (DM)

Corresponde à distância vertical percorrida desde o início do levantamento até o término da ação. Sua fórmula de cálculo é assim utilizada: $(0,82 + 4,5/D)$; onde “D” é a distância total percorrida.

4.1.1.5 Fator de Assimetria (AM)

$AM = 1 - (0,0032 \times A)$, sendo A = ângulo de giro.

Se o ângulo de torção for superior a 135 graus, é considerado AM= 0.

4.1.1.6 Fator de Frequência (FM)

O fator frequência de levantamento, é obtido por meio de valores pré-estabelecidos apresentados na figura 10. Nesta tabela deveremos observar quantas vezes o funcionário realiza o levantamento dentro de um minuto, a duração desta atividade e a distância vertical (Vc) em que o levantamento acontece.

Figura 10 – Frequências de levantamento

Frequência de Levantamento (vezes/minuto)	ATÉ 8 H	ATÉ 8 H	ATÉ 2 H	ATÉ 2 H	ATÉ 1 H	ATÉ 1 H
	Vc < 75 cm	Vc ≥ 75 cm	Vc < 75 cm	Vc ≥ 75 cm	Vc < 75 cm	Vc ≥ 75 cm
0,2	0,85	0,85	0,95	0,95	1,00	1,00
0,5	0,81	0,81	0,92	0,92	0,97	0,97
1	0,75	0,75	0,88	0,88	0,94	0,94
2	0,65	0,65	0,84	0,84	0,91	0,91
3	0,55	0,55	0,79	0,79	0,88	0,88
4	0,45	0,45	0,72	0,72	0,84	0,84
5	0,35	0,35	0,60	0,60	0,80	0,80
6	0,27	0,27	0,50	0,50	0,75	0,75
7	0,22	0,22	0,42	0,42	0,70	0,70
8	0,18	0,18	0,35	0,35	0,60	0,60
9	0	0,15	0,30	0,30	0,52	0,52
10	0	0,13	0,26	0,26	0,45	0,45
11	0	0	0	0,23	0,41	0,41
12	0	0	0	0,21	0,37	0,37
13	0	0	0	0	0	0,34
14	0	0	0	0	0	0,31
15	0	0	0	0	0	0,28
16	0	0	0	0	0	0

Obs.: Frequência menor que 1 levantamento a cada 5 minutos, considerar o multiplicador igual a 1,0. - H = horas

Fonte: Wagner, 2016

4.1.1.7 Fator de Pega (CM)

O fator de pega é um estudo com base na tabela 14 abaixo, onde é possível definir a qualidade de pega e seu respectivo fator, seguindo diagrama apresentado na figura 11.

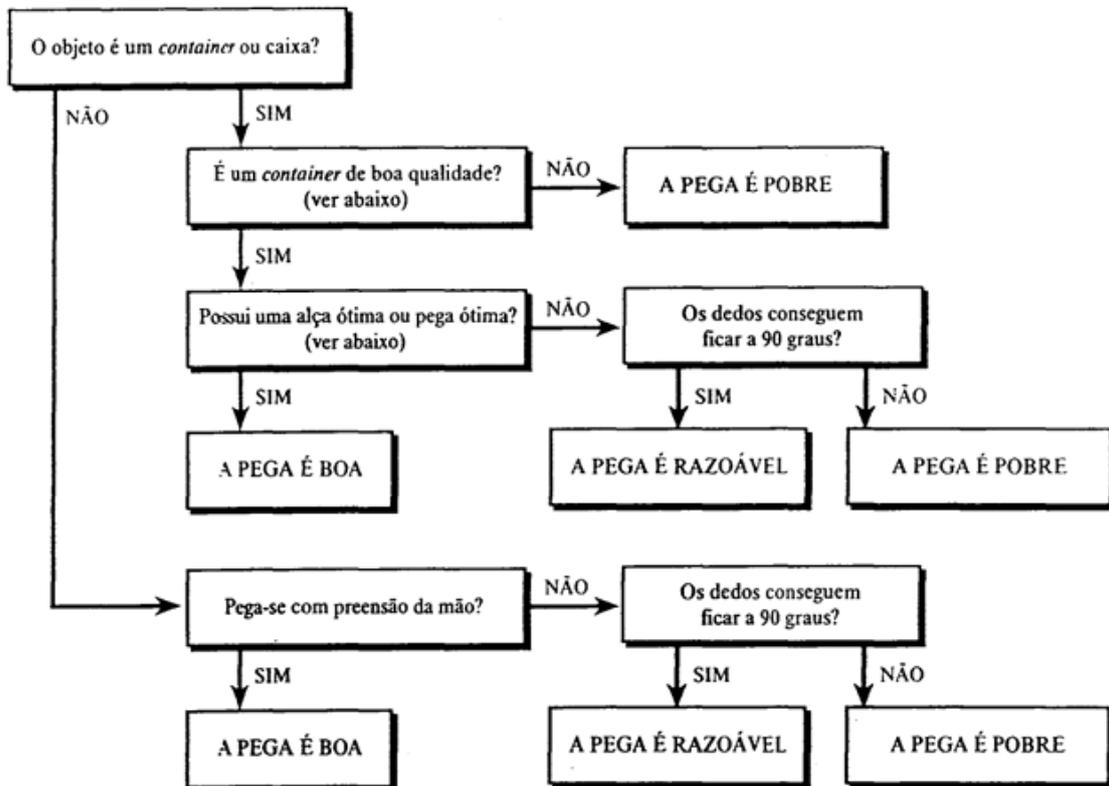
Tabela 14 – Fator de Pega

QUALIDADE DE PEGA	VC > 75cm
BOA	1,0
RAZOAVÉL	0,95
POBRE	0,9

Fonte: Wagner, 2016

Figura 11 – Fluxograma para definição de qualidade de pega

**FLUXOGRAMA PARA DEFINIÇÃO DE QUALIDADE DA PEGA
(SEGUNDO HERRIN)**

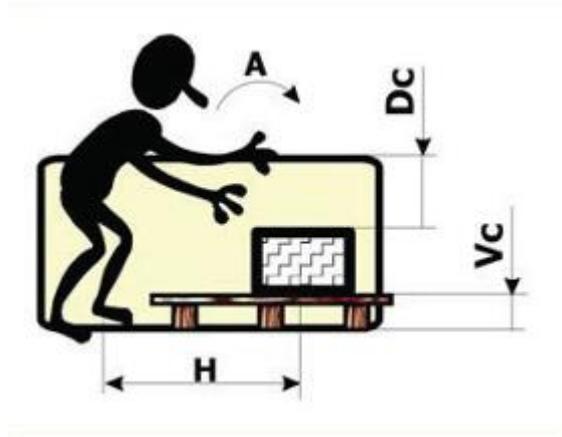


Fonte: Wagner, 2016

4.1.2 Cálculo do LPR para o projeto

A figura 12 a seguir ilustra a representação da pega.

Figura 12 – Representação da pega



Fonte: Wagner, 2016

$LC = 23 \text{ kg}$ (Constante)

$$HM = \frac{25}{H} \quad (2)$$

$$HM = \frac{25}{45} = 0,56$$

$$VM = 1 - (0,003 \times [Vc - 75]) \quad (3)$$

$$VM = 1 - (0,003 \times [75 - 75]) = 1$$

$$DM = \left(0,82 + \frac{4,5}{D}\right) \quad (4)$$

$$DM = \left(0,82 + \frac{4,5}{600}\right) = 0,8275$$

$$AM = 1 - (0,0032 \times A) \quad (5)$$

$$AM = 1 - (0,0032 \times 90) = 0,712$$

$$FM = 1$$

$$CM = 0,95$$

Substituindo os valores adotados na equação 1 temos:

$$LPR = 23 \times 0,56 \times 1 \times 0,8275 \times 0,712 \times 1 \times 0,95 = \mathbf{7,2 \text{ kg}}$$

4.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS

Para seleção dos materiais foram levantadas as características essenciais necessárias para o dispositivo e foi utilizado o software GRANTA EduPack para identificação dos materiais que tem as características de interesse.

4.2.1 Propriedades necessárias

A partir de uma análise geral das características necessárias do dispositivo e outros aspectos relacionados a construção, foi levantado uma relação de propriedades que o material a ser utilizado deve possuir:

- a) Massa específica que não ultrapasse o limite de massa estabelecido pelos critérios ergonômicos;
- b) Módulo de elasticidade que permita pequeno deslocamento a flexão devido ao longo comprimento do dispositivo;
- c) Temperatura de fusão superior a temperatura dos eletrodos da estação de tratamento corona;
- d) Permita a fabricação do dispositivo pelo processo de usinagem;
- e) Tenha baixo custo de aquisição e tenha oferta no mercado.

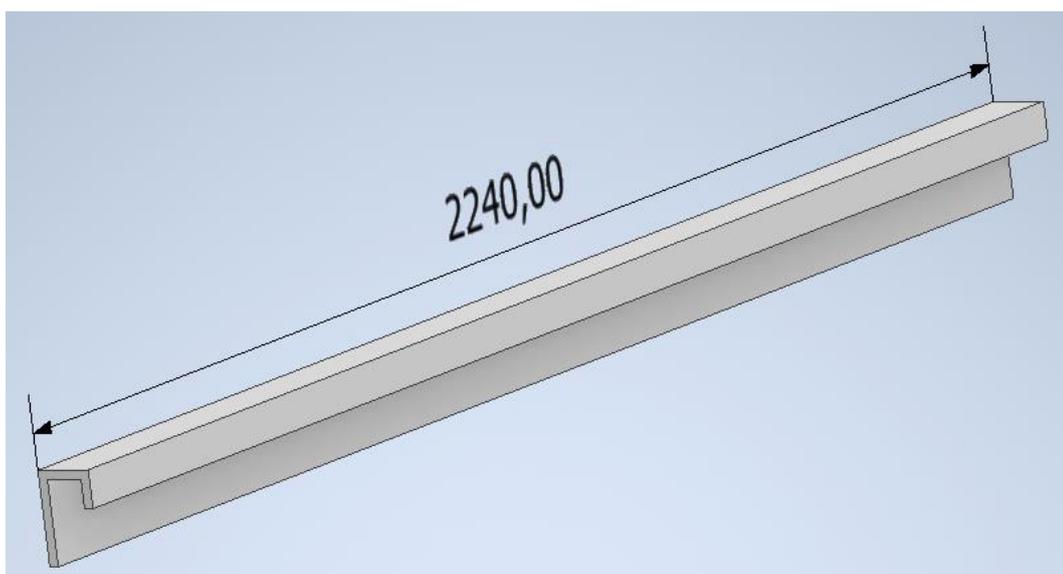
4.2.1.1 Determinação da densidade

Uma vez que pela análise ergonômica já foi determinado que o dispositivo deve ter no máximo uma massa equivalente a sete quilos e duzentas gramas, para estimar a massa específica mínima do material basta determinar a densidade do dispositivo calculando seu volume.

Embora haja a necessidade do dispositivo ser ajustável e em seu princípio de funcionamento haverá áreas que não serão preenchidos com material, vamos adotar a situação em que o dispositivo teria a maior massa possível, que ocorre se considerarmos o dispositivo como corpo único e inteiro.

A figura 13 apresenta a geometria prévia do dispositivo, levando em consideração o espaço disponível no interior da estação de tratamento para colocação do dispositivo e levando em consideração que o dispositivo precisa envolver os eletrodos.

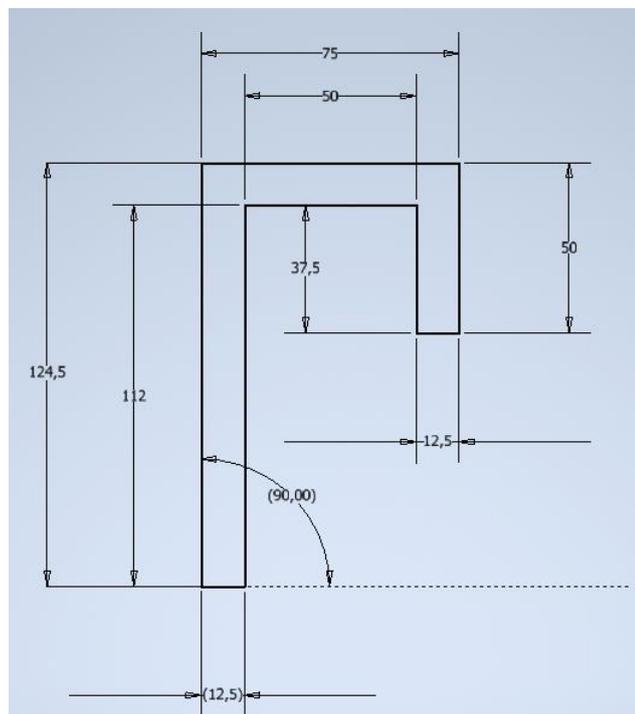
Figura 13 – Geometria prévia do dispositivo



Fonte: Autores

A figura 14 indica a área da seção transversal do dispositivo e suas respectivas medidas em milímetros.

Figura 14 – Seção transversal da geometria prévia do dispositivo



Fonte: Autores

Deste modo a área da seção transversal é calculada conforme equação 6 abaixo:

$$\text{Área} = \text{largura} \times \text{altura} \quad (6)$$

$$\text{Área (mm}^2\text{)} = 124,5 \times 12,5 + 62,5 \times 12,5 + 37,5 \times 12,5 = 2806,25$$

Sendo o comprimento total previsto para o dispositivo de 2240 milímetros o volume é calculado conforme equação 7 abaixo:

$$\text{Volume} = \text{área} \times \text{comprimento} \quad (7)$$

$$\text{Volume (mm}^3\text{)} = 2806,25 \times 2240 = 6286000$$

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = 6286000 \times 10^{-9} = 0,006286$$

Sendo a massa total máxima do dispositivo sete quilos e duzentas gramas, densidade é calculada conforme equação 8 abaixo:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (8)$$

$$\rho = \frac{7,2}{0,006286} = 1145,4 \frac{kg}{m^3}$$

Portanto a massa específica do material a ser utilizado para fabricação do dispositivo deve ser de no máximo 1145,4 quilograma por metro cúbico.

4.2.1.2 *Determinação temperatura em operação*

Durante o processo de tratamento corona, devido a corrente elétrica que passa pelos eletrodos para formação do plasma, os eletrodos são aquecidos. Em caso de o dispositivo necessitar ser utilizado com a régua de eletrodo ainda aquecida o material necessita ter ponto de fusão superior a temperatura dos eletrodos.

A temperatura dos eletrodos durante o funcionamento foi obtida através do módulo de leitor de temperatura do coletor de vibrações e balanceador NK620 da marca TEKNIKAO, direcionando o feixe de luz gerado pelo equipamento para os eletrodos com o tratamento corona ativo. A figura 15 apresenta uma foto do dispositivo no momento da medição da temperatura.

Figura 15 – Medição da temperatura durante o processo de tratamento corona



Fonte: Autores

Os resultados são apresentados na tabela 15 a seguir:

Tabela 15 – Valores de temperatura obtidos durante processo de tratamento corona

Medição	Temperatura [Cº]
1	52,1
2	52,6
3	53,8
4	51,2
5	48,5
6	48,4
7	53,3
8	54,1
9	55,3
10	55,5
11	56,0
12	57,7
13	55,8
14	55,3
Média	53,5
Máximo	57,7

Fonte: Autores

Embora haja um pequeno resfriamento dos eletrodos no momento que o processo de tratamento é desligado e a tampa da estação é aberta, vamos adotar que a temperatura dos eletrodos em operação será a máxima de 57,7 graus celsius.

4.2.2 Seleção do material

Para seleção do material foi utilizado software GRANTA EduPack tendo como ponto de partida a massa específica determinada anteriormente e depois comparando os materiais para demais características de interesse.

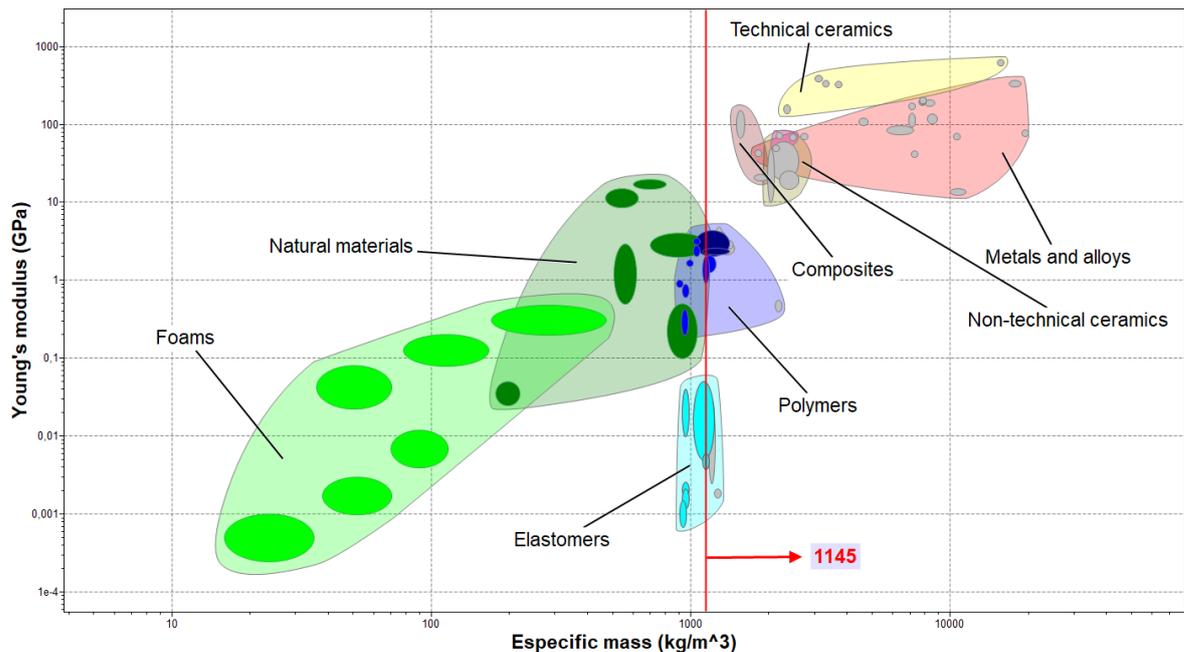
4.2.2.1 Seleção da Família do material

Para seleção da família do material foi elaborado o gráfico que relaciona o módulo de elasticidade (eixo y) e a massa específica (eixo x) dos materiais. O gráfico elaborado é do tipo bolha e indica as famílias dos materiais utilizando a base de dados nível 1 do software que apresenta os grupos de materiais com suas propriedades comuns. As bases de dados nível 2 e

nível 3, apresenta maiores diversidades de materiais dentro da mesma família e classe, portanto são indiferentes para a seleção da família do material.

A figura 16 a seguir apresenta o gráfico indicando as famílias de materiais e as que atendem a condição imposta de massa específica máxima de 1145 quilograma por metro cúbico.

Figura 16 – Gráfico módulo de elasticidade x massa específica



Fonte: Autores

Legenda: Gráfico tipo bolha elaborado utilizando base de dados nível 1. As bolhas coloridas de mesma cor representam materiais que pertencem à mesma família. As bolhas em cinza representam os materiais que não atingiram a condição limitante imposta

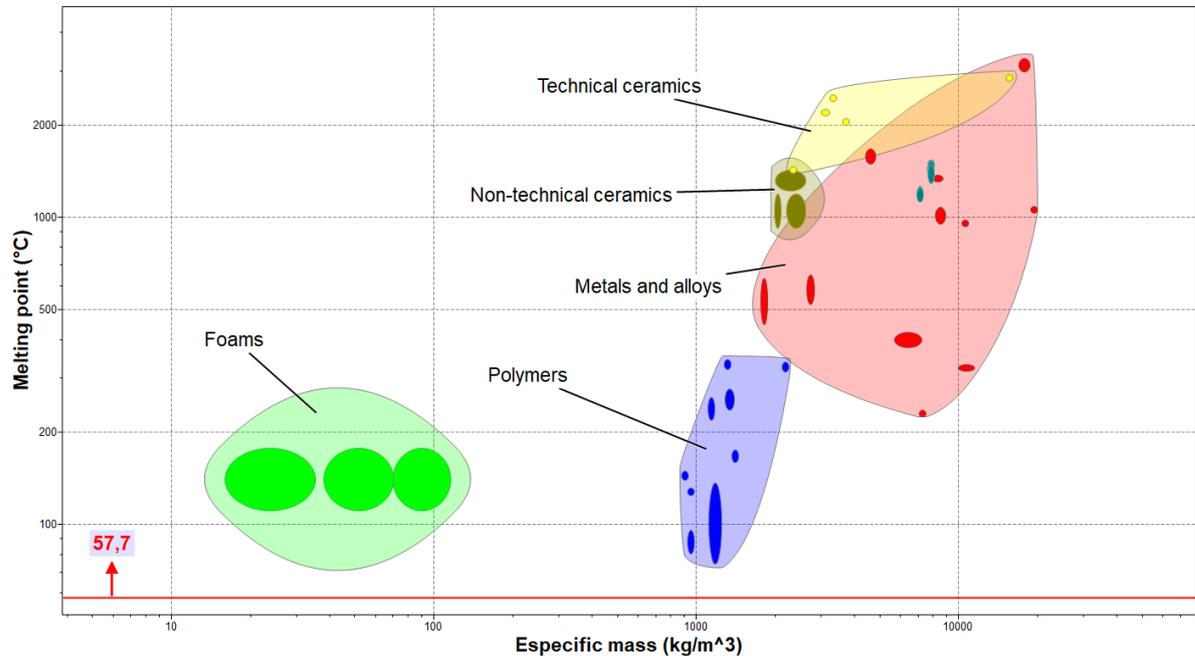
Dentre as famílias de materiais apresentadas no gráfico, levando em conta apenas a massa específica determinada como limitador, eliminamos o uso de materiais das famílias de materiais compostos, cerâmicas em geral, metais e ligas metálicas, e alguns polímeros e elastômeros.

Ficam disponíveis para seleção os materiais da família das espumas, materiais naturais, alguns elastômeros e alguns polímeros.

Para complemento da análise foi elaborado o gráfico que relaciona o ponto de fusão do material (eixo y) e a massa específica (eixo x) dos materiais. O gráfico elaborado é do tipo bolha e indica as famílias dos materiais utilizando a base de dados nível 1 do software.

A figura 17 a seguir apresenta o gráfico indicando as famílias de materiais e as que atendem a condição imposta de temperatura máxima de 57,7 graus celsius.

Figura 17 – Gráfico temperatura de fusão x massa específica



Fonte: Autores

Legenda: Gráfico tipo bolha elaborado utilizando base de dados nível 1. As bolhas coloridas de mesma cor representam materiais que pertencem à mesma família. As bolhas em cinza representam os materiais que não atingiram a condição limitante imposta.

Conforme indicado no gráfico a temperatura de operação do dispositivo não restringe o uso de nenhuma das famílias de material, mantendo ainda possibilidade de uso de quatro famílias de materiais: espumas; materiais naturais; alguns elastômeros e alguns polímeros.

Para a decisão entre as quatro famílias de materiais os aspectos foram considerados são apresentados na tabela 16 a seguir.

Tabela 16 – Considerações sobre as famílias de materiais para seleção

Família de materiais	Considerações
Elastômeros	Os elastômeros (borrachas) apresentarem grandes deformações elásticas propriedade não recomendada para formatos esbeltos.
Espumas	As espumas em geral são resistentes quando fabricadas pelo processo de injeção, o que elevaria o custo de fabricação do dispositivo devido a necessidade de elaboração de molde. As espumas podem até ser usinadas, porém no processo de usinagem se tornam frágeis.
Materiais Naturais	Os materiais naturais por não terem um padrão de fabricação definido apresentam inconsistências de propriedades mecânicas.
Polímeros	Os polímeros apresentam boa rigidez, pouca deformação elástica se comparado com as espumas, e podem ser se tornarem frágeis.

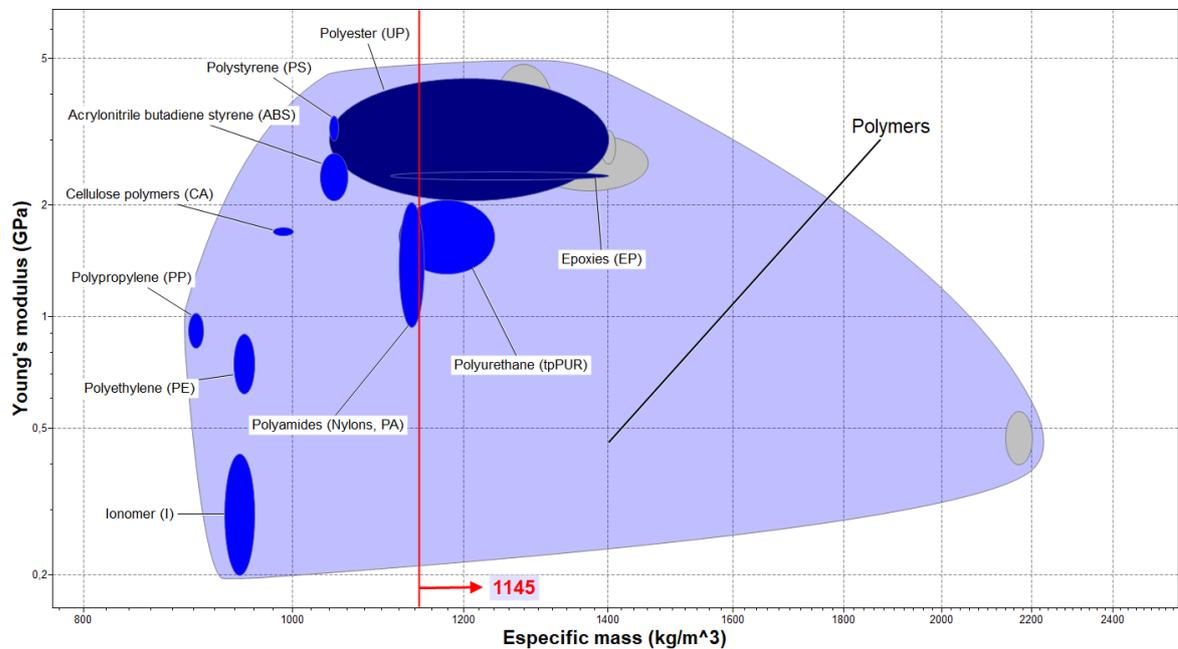
Fonte: Autores

A partir dessas considerações os materiais poliméricos são os mais indicados para construção do dispositivo.

4.2.2.2 Seleção do polímero

A partir do gráfico apresentado na figura 16, podemos elaborar um gráfico que apresenta os materiais disponíveis para seleção dentro de cada família. A figura 18 apresenta os materiais que compõem a família dos materiais poliméricos.

Figura 18 – Família dos materiais poliméricos



Fonte: Autores

Legenda: Gráfico tipo bolha elaborado utilizando base de dados nível 1. As bolhas coloridas de mesma cor representam materiais que pertencem à mesma família. As bolhas em cinza representam os materiais que não atingiram a condição limitante imposta.

Dentre os materiais apresentados podem ser eliminados da seleção o poliéster, o poliuretano e o epóxi, pois em determinadas condições esses materiais ultrapassam a massa específica limite indicada.

Ficam disponíveis para seleção: poliestireno (PS); acrilonitrila butadieno estireno (ABS); polímeros de celulose (CA); polipropileno (PP); polietileno (PE); Poliamidas (Nylons, PA); Ionômero (I).

A fim de obter o menor deslocamento do dispositivo em operação, devido seu formato esbelto, o material com maior módulo de elasticidade é o mais indicado para uso, deste modo eliminamos da seleção o polipropileno (PP), o polietileno (PE) e o ionômero (I).

Ficam disponíveis para seleção: poliestireno (PS); acrilonitrila butadieno estireno (ABS); polímeros de celulose (CA); Poliamidas (Nylons, PA);

Dentre esses materiais o mais indicado para fabricação do dispositivo é a poliamida, mais popularmente conhecida como Nylon, pois apresenta maior resistência à tração, resistência ao escoamento (deformação plástica) e resistência à fadiga, além de ter disponível em chapas de comprimento e espessuras favoráveis para usinagem do dispositivo sem necessidade de nenhum outro processo ou tratamento. As propriedades gerais da poliamida são apresentadas no anexo A, conforme base de dados do software GRANTA EduPack.

4.3 CÁLCULOS ESTRUTURAIS

Com o objetivo de analisar o comportamento das forças e momentos atuantes já mencionados neste capítulo, serão consideradas 03 condições de utilização. No estudo proposto, são adotadas:

- a) Condição 1: distância entre as mãos do operador de 0.4m (400mm);
- b) Condição 2: distância entre as mãos do operador de 0.2m (200mm);
- c) Condição 3: distância entre as mãos do operador de 0.1m (100mm).

Para cada condição acima, será aplicado o método dos cortes para cada trecho do dispositivo de forma a se analisar os esforços internos solicitantes, sendo:

- a) Trecho E-A: trecho do dispositivo compreendido entre a extremidade esquerda e o primeiro apoio fixo;
- b) Trecho A-B: trecho central do dispositivo compreendido entre o primeiro e o segundo apoios fixos;
- c) Trecho B-D: trecho do dispositivo compreendido entre o segundo apoio fixo e a extremidade direita.

4.3.1 Dimensionamento do dispositivo

Cada cálculo apresentado teve como principal objetivo, demonstrar a influência dos parâmetros de força cortante (N) e momento fletor (Nm) exercem em função do posicionamento das mãos do operador, sendo também um fator de orientação ao indicar a melhor posição de manuseio do dispositivo.

4.3.1.1 Memorial de cálculos estruturais

Conforme demonstrado a seguir, foram calculados e obtidos os valores de força (N), carga distribuída (N/m), além da força cortante (N) e momento fletor (N.m) para cada um dos trechos do dispositivo nas condições previamente informadas.

4.3.1.2 Força

$$F = m * a \quad (9)$$

$$F = 6,0 \text{ Kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 58,8\text{N}$$

4.3.1.3 Carga distribuída

$$C = \frac{F}{\text{comprimento}} \quad (10)$$

$$C = \frac{58,8\text{N}}{2,23\text{m}} = 26,37 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

4.3.1.4 Força Cortante e Momento Fletor – Cálculos Teóricos

Para cada condição analisada, foram calculadas as suas respectivas solicitações de força cortante e momento fletor, conforme apresentado detalhadamente a seguir:

4.3.1.4.1 Força Cortante e Momento Fletor – Condição 1

$$\sum Fx = 0 \quad (11)$$

$$\sum Fy = 0 \quad (12)$$

$$Va + Vb - 58,8 = 0$$

$$Va + Vb = 58,8$$

$$\sum Mb = 0 \quad (13)$$

$$-0,4Va + 58,8 * 0,2 = 0$$

$$-0,4Va = -11,76$$

$$Va = 29,40N$$

Substituindo:

$$Vb = 29,40N$$

a) Trecho E-A

$$H = 0$$

$$V = -26,37x$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} = -13,18x^2$$

Para Xe=0:

$$Ve=0$$

$$Me=0$$

Para Xb=0,915m:

$$Vb= -24,10N$$

$$Ma= -11,0Nm$$

b) Trecho A-B

$$H = 0$$

$$V = -26,37x + 29,40 - 24,10$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} - 24,10x + 29,40 - 11,0$$

Para $X_a=0$:

$$V_a = 5,30\text{N}$$

$$M_a = -11,0\text{Nm}$$

Para $X_b=0,40\text{m}$:

$$V_b = -5,20\text{N}$$

$$M_b = -11,0\text{Nm}$$

c) Trecho B-D

$$H = 0$$

$$V = +26,37x$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} = -13,18x^2$$

Para $X_d=0$:

$$V_d = 0$$

$$M_d = 0$$

Para $X_b=0,915\text{m}$:

$$V_b = 24,10\text{N}$$

$$M_b = -11,0\text{Nm}$$

4.3.1.4.2 Força Cortante e Momento Fletor – Condição 2

Conforme equação 11, 12 e 13, temos:

$$V_a + V_b - 58,8 = 0$$

$$V_a + V_b = 58,8$$

$$-0,2V_a + 58,8 * 0,1 = 0$$

$$-0,2V_a = -5,88$$

$$V_a = 29,40N$$

Substituindo:

$$V_b = 29,40N$$

a) Trecho E-A

$$H = 0$$

$$V = -26,37x$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} = -13,18x^2$$

Para $X_e=0$:

$$V_e=0$$

$$M_e=0$$

Para $X_b=1,015m$:

$$V_b = -26,77N$$

$$M_a = -13,58Nm$$

b) Trecho A-B

$$H = 0$$

$$V = -26,37x + 29,40 - 26,77$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} - 26,77x + 29,40 - 13,58 = -13,18x^2 + 2,63x - 13,58$$

Para $X_a=0$:

$$V_a = 2,63\text{N}$$

$$M_a = -13,58\text{Nm}$$

Para $X_b = 0,20\text{m}$:

$$V_b = -2,64\text{N}$$

$$M_b = -13,58\text{Nm}$$

c) Trecho D-B

$$H = 0$$

$$V = +26,37x$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} = -13,18x^2$$

Para $X_d = 0$:

$$V_d = 0$$

$$M_d = 0$$

Para $X_b = 1,015\text{m}$:

$$V_b = 26,77\text{N}$$

$$M_b = -13,58\text{Nm}$$

4.3.1.4.3 Força Cortante e Momento Fletor – Condição 3

Conforme equação 11, 12 e 13, temos:

$$V_a + V_b - 58,8 = 0$$

$$V_a + V_b = 58,8$$

$$-0,1V_a + 58,8 * 0,05 = 0$$

$$-0,1V_a = -2,94$$

$$V_a = 29,40\text{N}$$

Substituindo:

$$Vb = 29,40N$$

a) Trecho E-A

$$H = 0$$

$$V = -26,37x$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} = -13,18x^2$$

Para $Xe=0$:

$$Ve=0$$

$$Me=0$$

Para $Xb=1,065m$:

$$Vb= -28,08N$$

$$Ma= -14,95Nm$$

b) Trecho A-B

$$H = 0$$

$$V = -26,37x + 29,40 - 28,08$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} - 28,08x + 29,40 - 14,95 = -13,18x^2 + 1,32x - 14,95$$

Para $Xa=0$:

$$Va= 1,32N$$

$$Ma= -14,95Nm$$

Para $Xb=0,10m$:

$$Vb= -1,32N$$

$$Mb= -14,95Nm$$

c) Trecho D-B

$$H = 0$$

$$V = +26,37x$$

$$M = -26,37x * \frac{x}{2} = -13,18x^2$$

Para $X_d=0$:

$$V_d=0$$

$$M_d=0$$

Para $X_b=1,065\text{m}$:

$$V_b= 28,08\text{N}$$

$$M_b= -14,95\text{Nm}$$

4.3.1.5 Discussão dos resultados – Cálculos Teóricos

Ao realizar uma comparação, foi observado que os resultados ocorreram de forma proporcional às mudanças de distâncias entre as mãos do operador nas 03 condições estudadas. Em se tratando de vigas bi apoiadas, simétricas e uniformemente carregadas, obedecem à condição estática denominada para análise, mantendo em equilíbrio em todos os seus trechos. Adicionalmente, os valores obtidos através dos cálculos da força cortante e momento fletor atestam tal equilíbrio.

Observa-se, pois, conforme a distância entre as mãos do operador diminui, há o aumento gradativo dos valores de força cortante e momento fletor gerados durante o ato do manuseio do dispositivo em condição estática. Tais características aumentam a tensão sobre o dispositivo em sua região de montagem central.

Além do aumento dos valores de força cortante e momento fletor, há a ocorrência de alta deflexão das extremidades, podendo favorecer o risco de desmontagem do dispositivo.

Dentre as 03 condições analisadas, verifica-se, portanto, que a condição mais favorável de modo a proporcionar um maior conforto no manuseio e preservar a integridade física do operador é a condição 1, onde a distância entre as mãos é equivalente a 0.4m (400mm). É importante salientar que tal condição também exerce menor solicitação ao serem avaliadas a força cortante e momento fletor atuantes, favorecendo a preservação do dispositivo em regime de trabalho.

4.3.1.6 Simulação

A análise estática da estrutura foi realizada utilizando o software F-TOOL, que proporciona uma eficiente interpretação de seu comportamento quando submetido à solicitação de forças.

O estudo foi realizado considerando o componente mais solicitado do dispositivo, denominada como régua de ajuste com trilho em T. Neste, são considerados os seguintes aspectos para melhor refinamento e análise dos resultados:

- a) É considerado que o operador está parado enquanto manuseia o dispositivo pronto para a realização do setup;
- b) Os dados para a simulação no software F-TOOL foram obtidos a partir da biblioteca do software SolidWorks, do qual foram extraídas as propriedades do material Nylon 6, conforme tabela 17 a seguir:

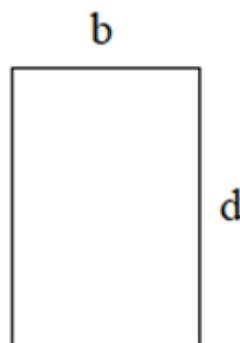
Tabela 17 – Propriedades do material Nylon 6

Propriedade	Valor	Unidades
Módulo elástico	2620	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,34	-
Coefficiente de expansão térmica	$90 * 10^{-6}$	/°C

Fonte: Autores através do software SolidWorks

- c) As propriedades apresentadas serão utilizadas em todas as simulações e com secção abaixo representada na figura 19, onde $b= 30\text{mm}$ e $d= 70\text{mm}$.

Figura 19 – Secção transversal retangular



Fonte: Autores

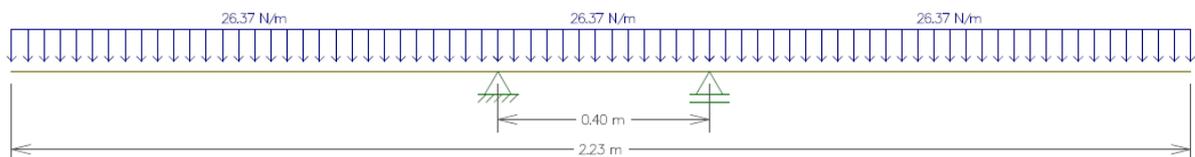
4.3.1.7 Resultados

Para melhor compreensão dos resultados, considera-se que as mãos do operador representadas no tópico 4.3.2 são apoios que exercem uma força vertical ao segurar de forma firme e estática o dispositivo, denominado viga. Trata-se então de uma viga bi apoiada.

São apresentados a seguir, da figura 20 até a figura 31 os diagramas esforços solicitantes (D.E.IS) com as reações e esforços para cada uma das condições consideradas:

4.3.1.7.1 Condição 1

Figura 20 – Representação de viga bi apoiada com carga distribuída



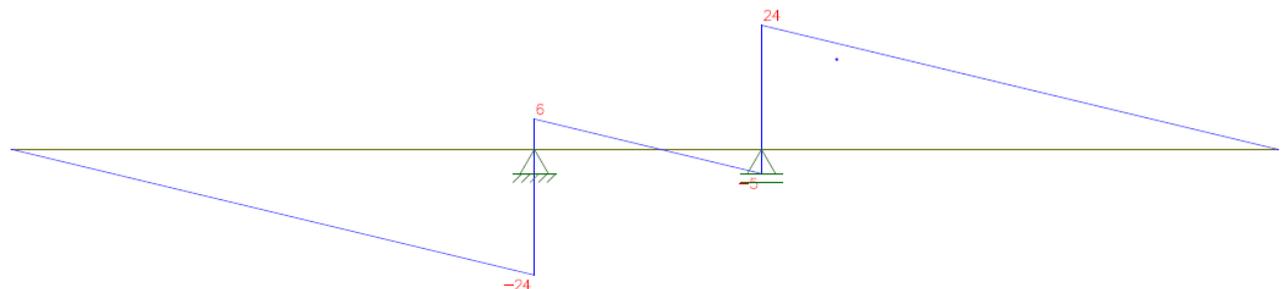
Fonte: Autores

Figura 21 – Reações nos apoios



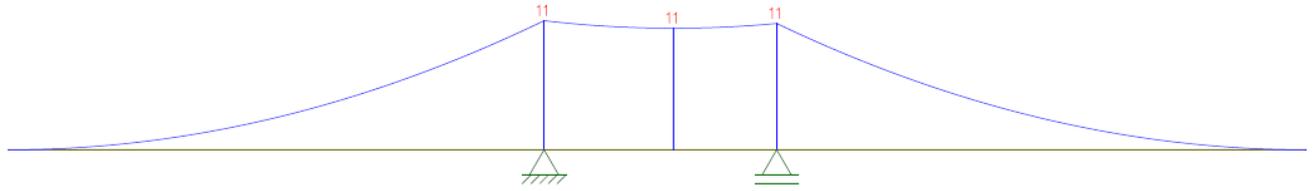
Fonte: Autores

Figura 22 – Diagrama da força cortante



Fonte: Os autores

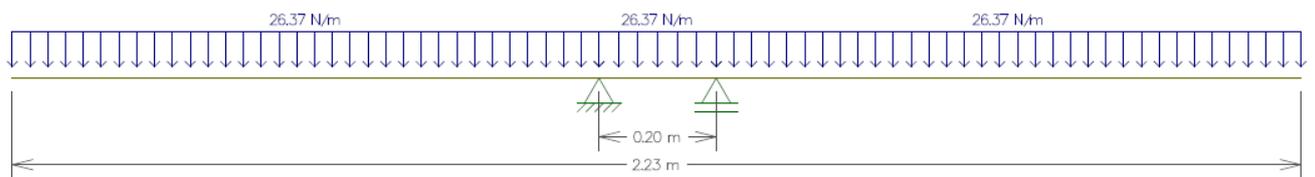
Figura 23 – Diagrama do momento fletor



Fonte: Autores

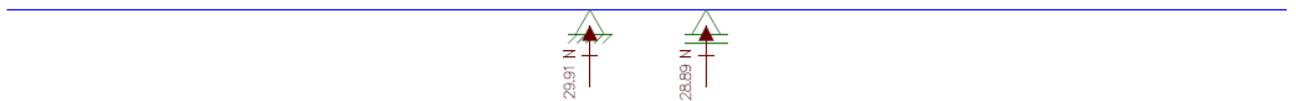
4.3.1.7.2 Condição 2

Figura 24 – Representação de viga bi apoiada com carga distribuída



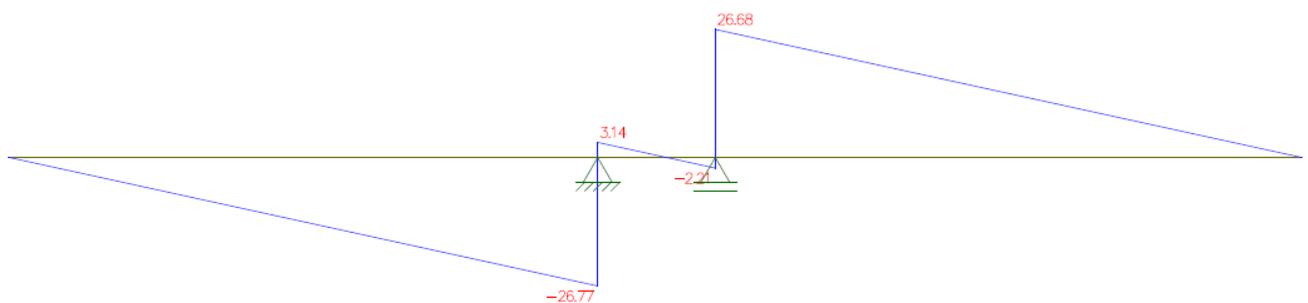
Fonte: Autores

Figura 25 – Reações nos apoios



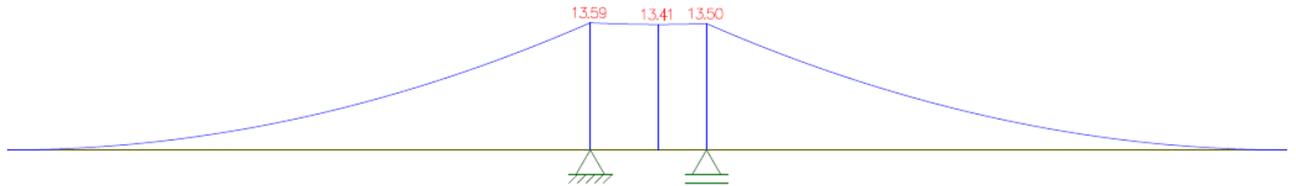
Fonte: Autores

Figura 26 – Diagrama da força cortante



Fonte: Autores

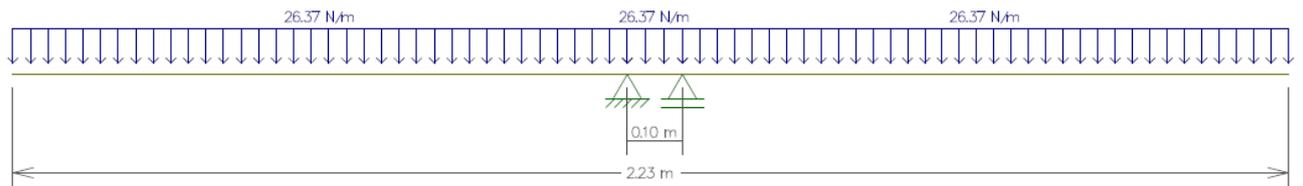
Figura 27 – Diagrama do momento fletor



Fonte: Autores

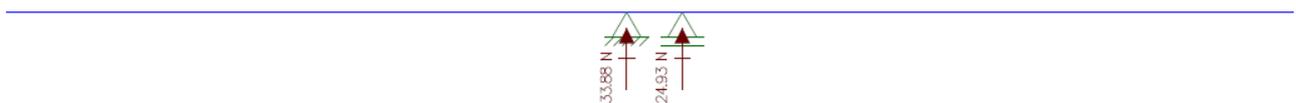
4.3.1.7.3 Condição 3

Figura 28 – Representação de viga bi apoiada com carga distribuída



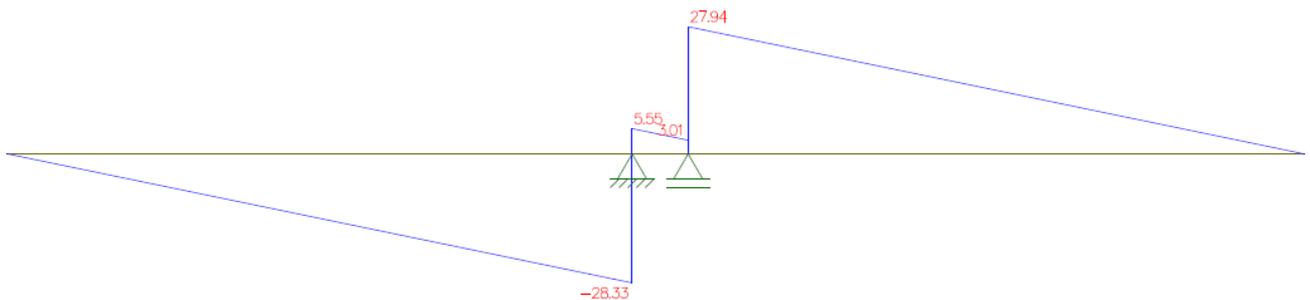
Fonte: Autores

Figura 29 – Reações nos apoios



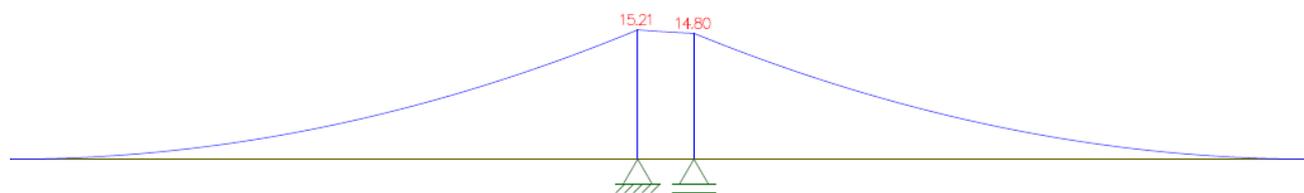
Fonte: Autores

Figura 30 – Diagrama da força cortante



Fonte: Autores

Figura 31 – Diagrama do momento fletor



Fonte: Autores

4.3.1.8 Considerações e discussão dos resultados

Para a discussão dos resultados deste tópico, torna-se necessário a consulta do memorial de cálculos realizado no tópico 4.3.3 deste capítulo. Neste foram realizados os cálculos teóricos para obtenção dos valores das reações de apoio da viga bi apoiada e uniformemente carregada, através das equações de equilíbrio estático.

Adicionalmente, calculam-se através da análise dos esforços internos solicitantes os valores de força cortante e momento fletor de todos os trechos denominados E-A, A-B e D-B.

A utilização do software F-TOOL proporcionou a aproximação de uma situação real de trabalho quando da aplicação de carga para avaliação da viga submetida à diferentes solicitações ao longo dos trechos.

Ao realizar uma cuidadosa comparação de cada uma das condições de manuseio e dos resultados dos cálculos obtidos teoricamente em relação aos resultados obtidos por meio de simulação computacional, observa-se grande aproximação dos valores. Tal fator atesta a precisão do software bem como o uso correto das condições de contorno e do entendimento de suas ferramentas para um resultado mais preciso.

Observam-se também pequenas diferenças nos valores obtidos de forma teórica em comparação à simulação computacional. Nota-se, no entanto, que as condições de equilíbrio ainda permanecem mantidas, uma vez que a soma dos apoios resulta no valor da força aplicada inicialmente com valor igual a 58,8N. Em sua grande maioria, a diferença consiste dentro da precisão centesimal, que não interfere na qualidade da análise e veracidade dos resultados uma vez que os elementos do dispositivo são obtidos pela operação de usinagem, onde a precisão decimal atende aos requisitos estabelecidos para esse projeto.

Outro fator explicativo do ponto de vista prático é proveniente do fato de que o software simula uma condição real de trabalho de um elemento, onde após o recebimento de esforços, o mesmo se deforma em função de suas propriedades, como: Módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e coeficiente de expansão térmica. É importante salientar que, durante o manuseio do dispositivo por diversos operadores, poderá ocorrer um pequeno deslocamento das mãos com relação ao centro do dispositivo, explicando também a diferença entre os resultados.

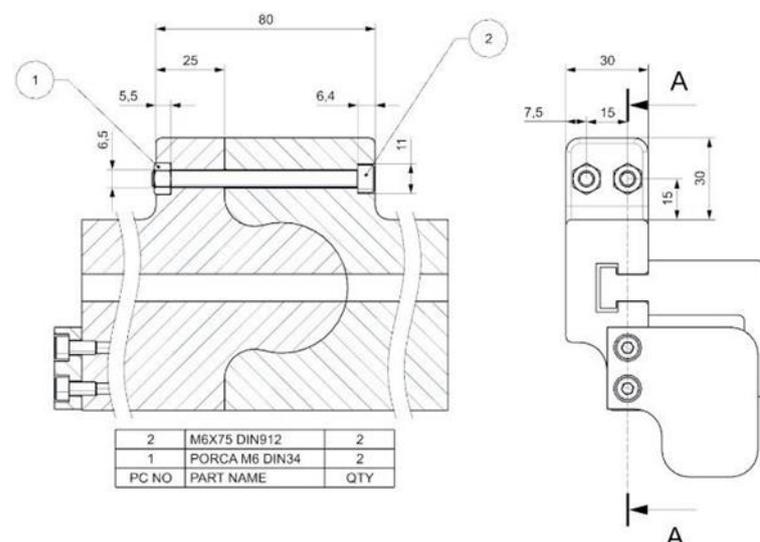
Em contrapartida, nos cálculos teóricos é considerado que a viga é perfeitamente simétrica e se encontra em equilíbrio. Entretanto, a análise estática se demonstrou fundamental para a comparação com o método de simulação por intermédio do software F-TOOL para a validação de todos os cálculos realizados.

4.3.2 Dimensionamento de Parafuso

Dado que a dimensão da régua de ajuste soma 223 cm, viu-se a necessidade de decompô-la em dois corpos independentes com fim de atingir melhores resultados da perspectiva de manuseio, armazenamento e deslocamento. Com a nova característica, exige-se a utilização de um parafuso com fins de unir as duas estruturas e, por fim, conseguir com que a tecnologia desempenhe seu propósito da forma como foi projetada.

Assim como demonstrado na figura 32, será justificada a escolha do parafuso de fixação (peça número 2: Parafuso de Fixação M6x75 8.8 DIN912) e comprovado que suas propriedades toleram as condições a que será submetido.

Figura 32 – Vista em corte e lateral da união de corpos



Fonte: Autores

4.3.2.1 *Premissas*

Com o objetivo de garantir um dimensionamento de uma peça que esteja apta a resistir à todas as várias solicitações que lhe serão atribuídas ao longo do uso da tecnologia, assume-se que a barra repousa sobre um único apoio localizado na região central da barra (ponto de união entre os dois corpos e onde localiza-se o parafuso). Além disso, assume-se que há duas cargas pontuais em cada uma das extremidades da barra, sendo a força de cada uma 30,72N.

Como descrito anteriormente, o valor da carga pontual deriva-se da força distribuída (apresentada anteriormente), porém, com fins de estressar o cenário de simulação, tais forças foram alocadas nas extremidades.

Como já vastamente explorado na engenharia, o primeiro passo consiste em identificar a tensão limite do material do parafuso que se planeja utilizar e, assumir um coeficiente de segurança (CS). Graças a essa “margem”, ajusta-se a tensão limite do material a um novo teto que agora passa a ser a nova tensão limite do utensílio.

4.3.2.2 *Cálculos do dimensionamento*

Cálculo da tensão admissível em função das características do parafuso de fixação e sua classe:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{lim}}{CS} \quad (14)$$

Sendo, a classe do parafuso 8.8, deve-se assumir 80% do produto do último algarismo com 100 como nosso limite de escoamento. Dessa forma chega-se à tensão limite de 640 Mpa.

O valor de CS adotado para o dimensionamento do parafuso será 3, uma vez que se trata de um componente com uma representatividade baixa no orçamento no projeto e que, dado sua relevância na operacionalização do equipamento, exige-se um bom condicionamento da peça.

Dessa forma, substituindo na equação 14 chega-se a uma tensão admissível de 213,34 Mpa.

Agora deve-se calcular a tensão a que o sistema será submetido, assumindo condições demonstradas anteriormente. Dessa forma, a tensão é a relação entre força e a área, deve-se aferir a seção vertical do parafuso de fixação conforme as equações 15,16, 17, 18 e 19 abaixo:

$$\sigma_{sistema} = \frac{F}{AS} \quad (15)$$

sendo,

$$AS = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (16)$$

Porém, assumindo que:

$$d_2 = d - \left(\frac{3 * 0,866P}{8} \right) \quad (17)$$

$$d_3 = d - 1,2268P \quad (18)$$

Dessa forma, considerando os valores normalizados de P e d conforme figura 33, concluímos que o resultado de As é:

$$AS = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d - \left(\frac{3 * 0,866P}{8} \right) + d - 1,2268P}{2} \right)^2 \quad (19)$$

$$AS = \frac{\pi}{4} \left(\frac{6 - \left(\frac{3 * 0,866 * 1}{8} \right) + 6 - 1,2268 * 1}{2} \right)^2 = 20,10 \text{ mm}$$

Figura 33 – Dimensões rosca triangular passo normal

Diâmetro maior nominal <i>d</i> mm	Passo <i>p</i> mm	Série de passo grosso		Série de passo fino		
		Área de tensão de tração <i>A_t</i> , mm ²	Área de diâmetro menor <i>A_r</i> , mm ²	Passo <i>p</i> mm	Área de tensão de tração <i>A_t</i> , mm ²	Área de diâmetro menor <i>A_r</i> , mm ²
1,6	0,35	1,27	1,7			
2	0,40	2,07	1,79			
2,5	0,45	3,39	2,98			
3	0,5	5,03	4,47			
3,5	0,6	6,78	6,00			
4	0,7	8,78	7,75			
5	0,8	14,2	12,7			
6	1	20,1	17,9			
8	1,25	36,6	32,8	1	39,2	36,0
10	1,5	58,0	52,3	1,25	61,2	56,3
12	1,75	84,3	76,3	1,25	92,1	86,0
14	2	115	104	1,5	125	116
16	2	157	144	1,5	167	157
20	2,5	245	225	1,5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3,5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4,5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5,5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1,5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

Fonte: BUDYNAS, 2011 p. 424

Voltando à equação inicial, teremos:

$$\sigma_{sistema} = \frac{26,37 * \left(\frac{2,23}{2}\right)}{20,1} = 1,46 \text{ Mpa} < 213,34 \text{ Mpa}$$

4.3.2.3 Considerações

Como explorado na seção acima, mesmo assumindo um Coeficiente de segurança de 3, o parafuso M6x75 8.8 DIN912 mostra-se mais do que adequado para as solicitações que lhe serão atribuídas. Desta forma, sendo a tensão do sistema inferior à tensão admissível, este parafuso será adotado como parte agregada no mecanismo do dispositivo.

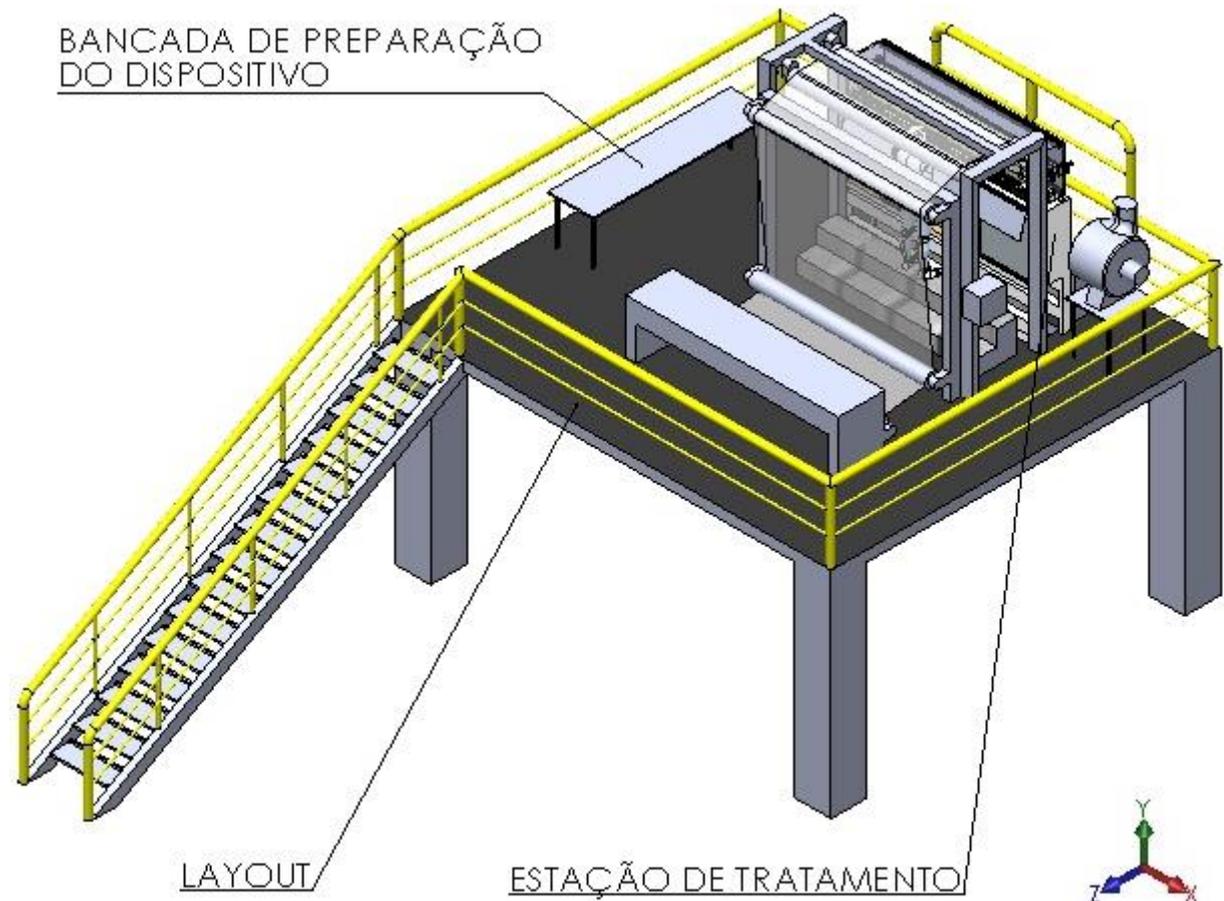
4.4 MODELAMENTO 3D

Esta seção aborda a construção do modelamento 3D do dispositivo e da área utilizada no processo, todos desenhos foram desenvolvidos na projeção do 3º diedro e todas as medidas em mm. Para emprego na construção dos desenhos, utilizou-se o software SolidWorks 2016.

4.4.1 Área de trabalho

A área de trabalho que o colaborador utiliza é constituída por: bancada de preparação do dispositivo, layout e estação de tratamento, conforme ilustrado na figura 34.

Figura 34 – Área de Trabalho

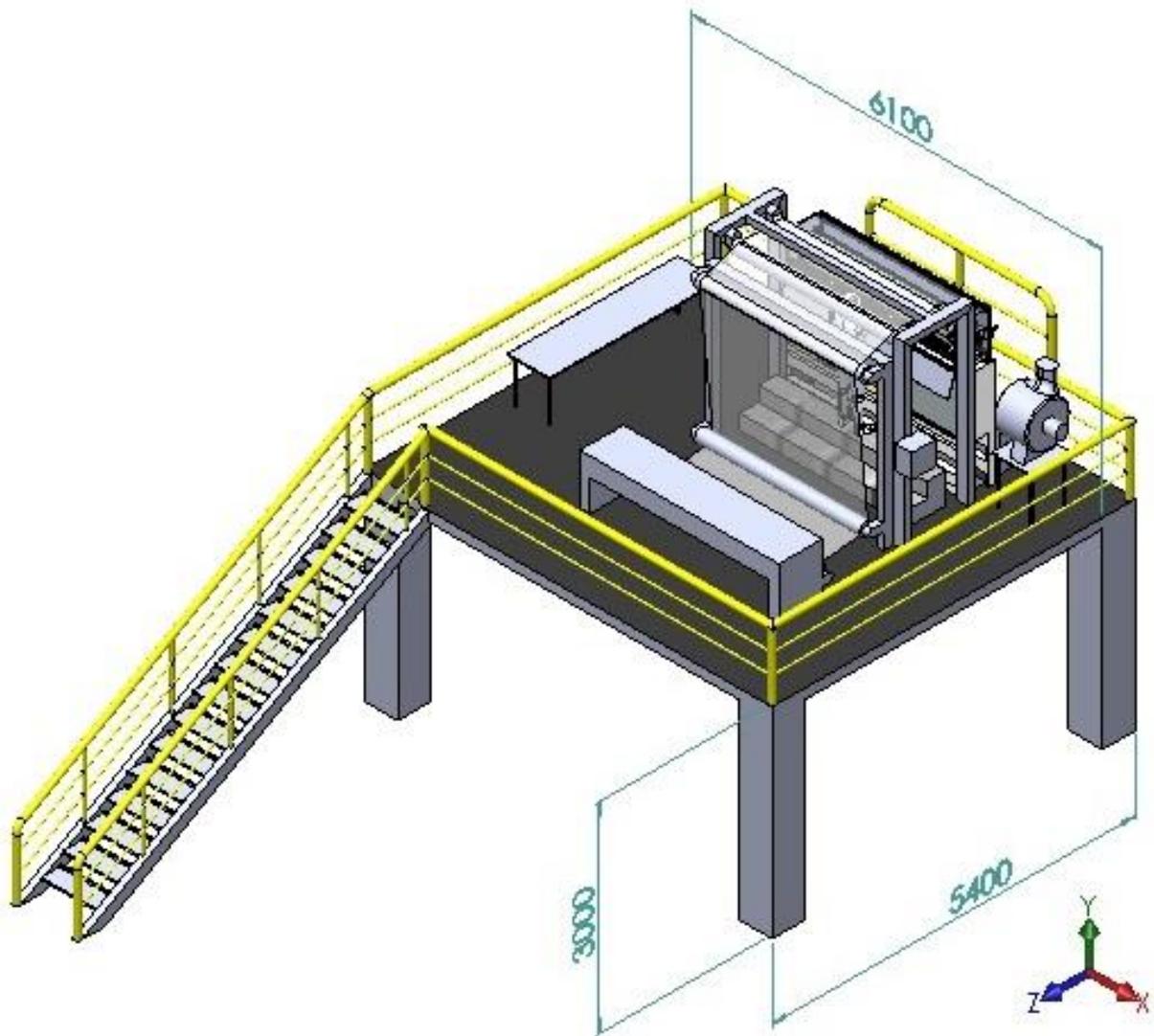


Fonte: Autores

4.4.2 Layout da Estação de Tratamento

O layout onde a estação de tratamento está localizada, é composto por 6.100mm de comprimento, 5.400mm largura e está no piso superior, 1º(primeiro) andar na altura de 3.000mm. Conforme a figura 35:

Figura 35 – Layout Estação de Tratamento com dimensões

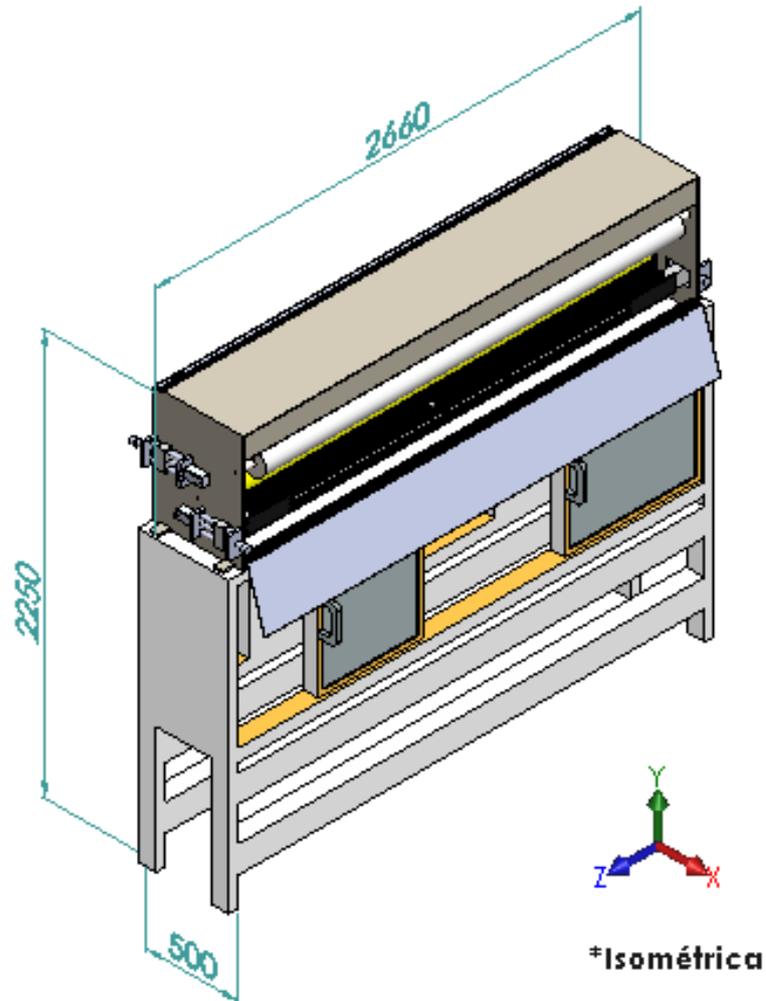


Fonte: Autores

4.4.3 Estação de Tratamento

As dimensões da estação de tratamento, são constituídas por 2.660mm de comprimento total, 500mm de largura total e 2.250mm de altura total. De acordo com a figura 36.

Figura 36 – Estação de Tratamento Corona

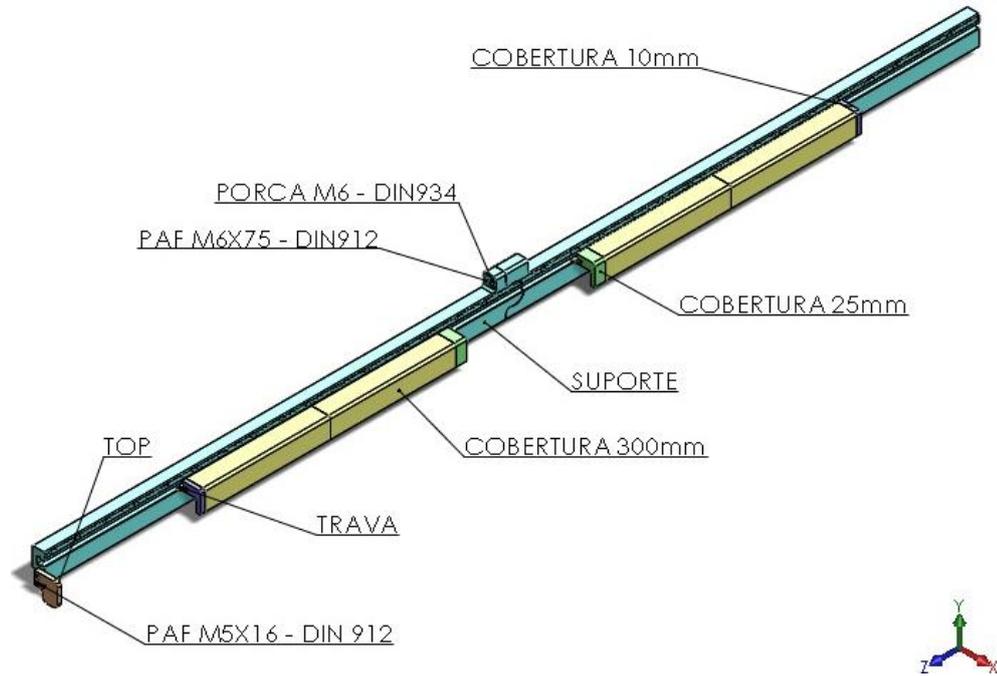


Fonte: Autores

4.4.4 Dispositivo

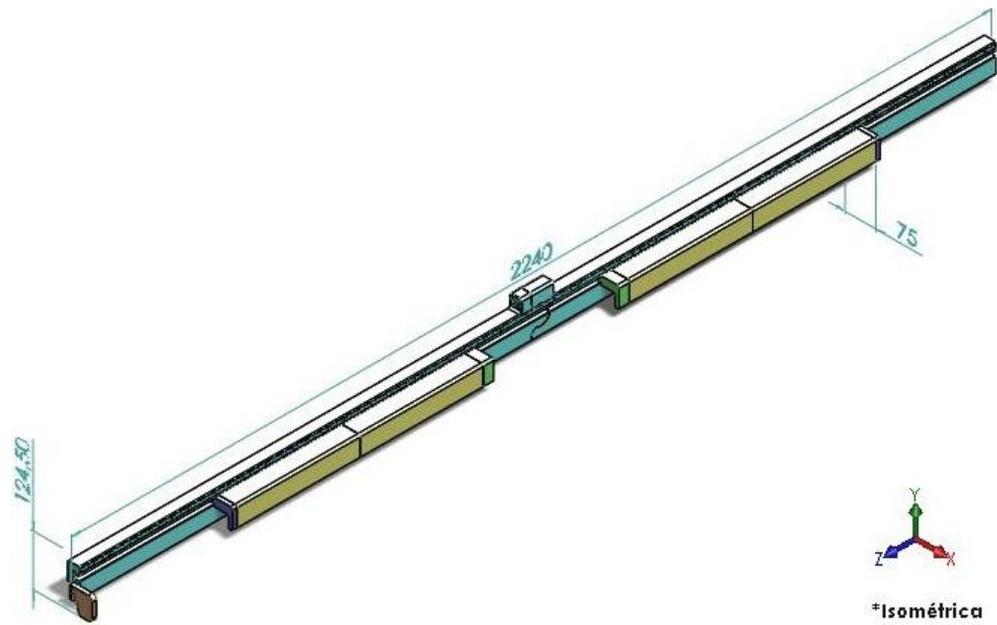
O dispositivo figura 37 é formado por material de nylon 6, contendo formato modular e bipartido. Suas dimensões totais são 2.240mm de comprimento, 75mm de largura e 124,50mm de altura, conforme a figura 38.

Figura 37 – Dispositivo



Fonte: Autores

Figura 38 – Dispositivo com Dimensões

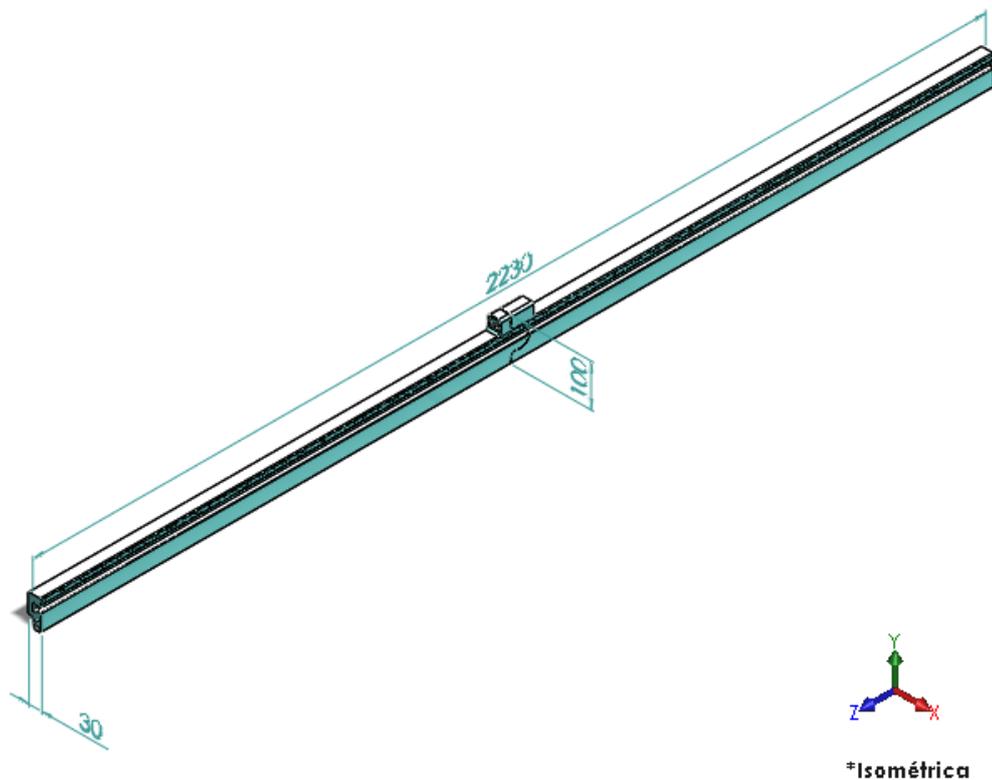


Fonte: Autores

4.4.4.1 Suporte

O suporte possui comprimento de 2.230mm, largura de 30mm e altura de 100mm, de acordo com a figura 39, ele agrega todos os itens do dispositivo tais como: Coberturas, Top, Parafusos, Porcas e Travas.

Figura 39 – Suporte



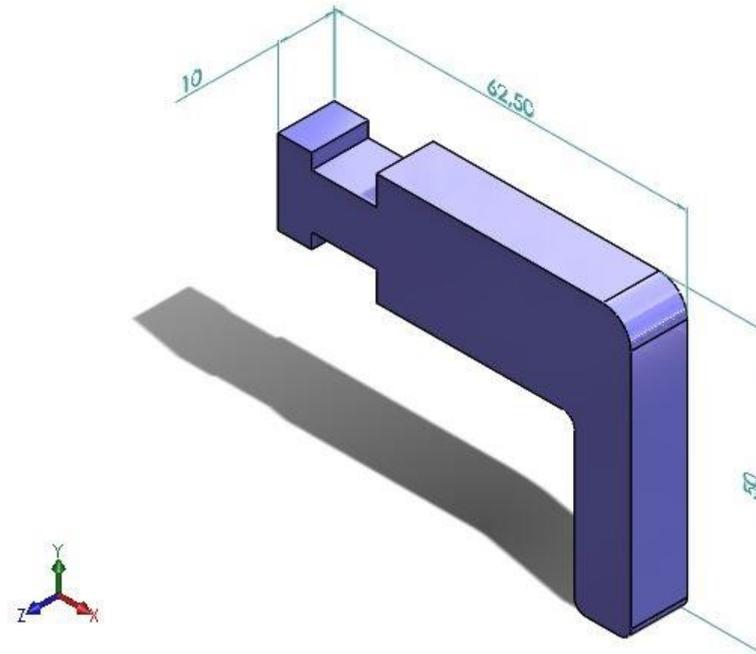
Fonte: Autores

4.4.4.2 Coberturas

As dimensões totais das coberturas, contempladas no estudo de caso são: comprimentos de 10mm figura 40, 25mm figura 41 e 300mm figura 42; largura de 62,5mm e altura de 50mm.

Sua finalidade é sobrepor os eletrodos que farão, o tratamento no filme plástico. Todas as coberturas possuem o mesmo perfil, em “L”, e formato “T” para encaixe com o suporte.

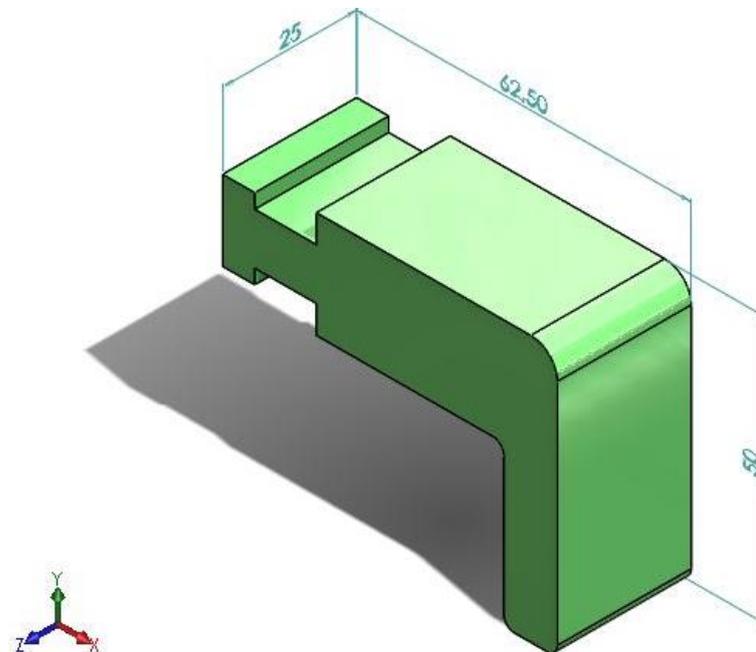
Figura 40 – Cobertura 10mm



*Isométrica

Fonte: Autores

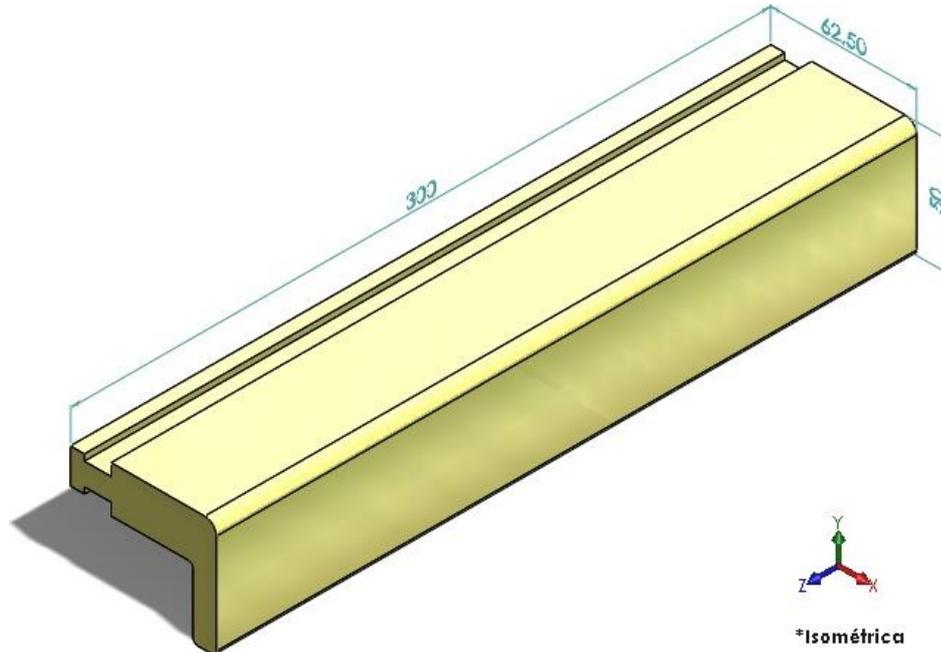
Figura 41 – Cobertura 25mm



*Isométrica

Fonte: Autores

Figura 42 – Cobertura 300mm

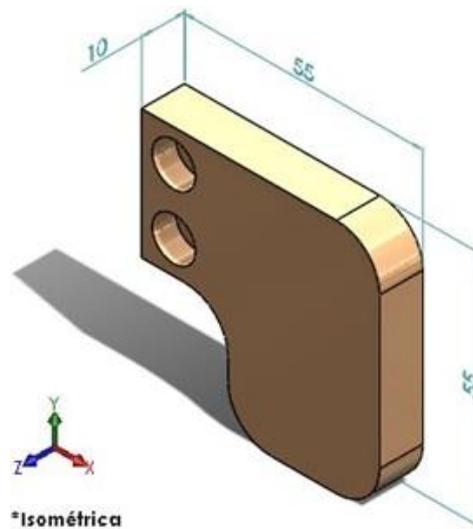


Fonte: Autores

4.4.4.3 Top

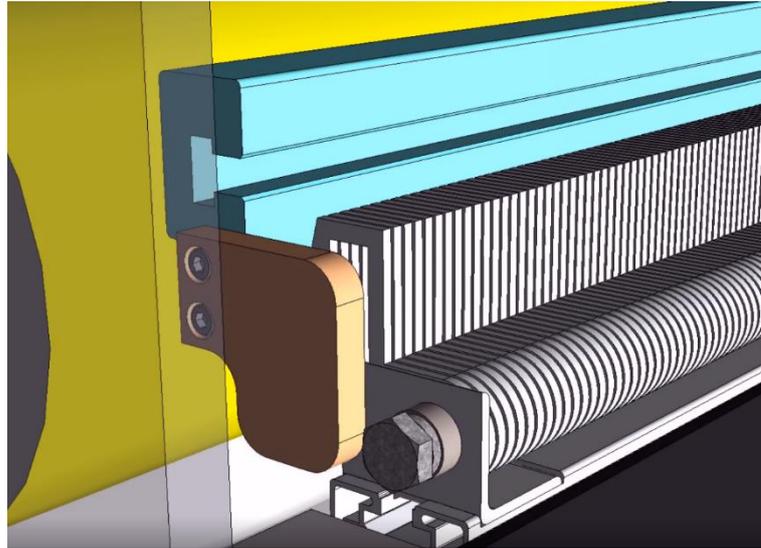
O top é o mecanismo que ajusta o posicionamento inicial do dispositivo e tem dimensões de 10mm de comprimento, 55mm de largura e 55mm de altura figura 43, o colaborador encosta a face do top com a face do primeiro eletrodo há esquerda figura 44.

Figura 43 – Top



Fonte: Autores

Figura 44 – Top posição inicial

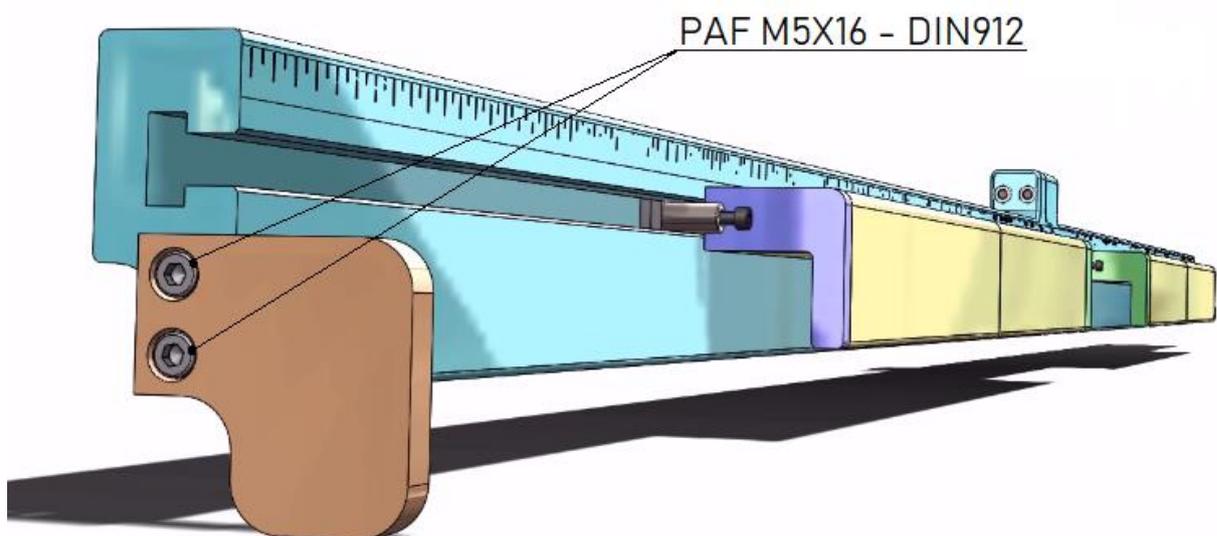


Fonte: Autores

4.4.4.4 Parafusos

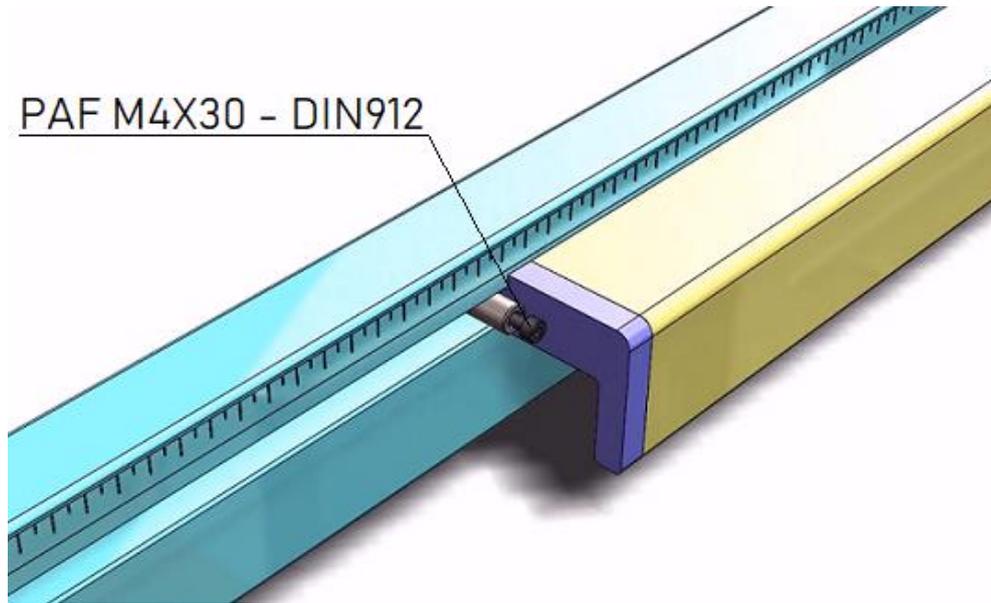
Existem três tipos de parafusos no dispositivo, Allen M5X16 DIN912 figura 45 é utilizado na fixação do top no suporte, Allen M4X30 DIN912 figura 46 utilizado na trava e o Allen M6X75 DIN912 figura 47 utilizado na união do suporte bipartido.

Figura 45 – Parafuso Allen M5X16 - DIN912



Fonte: Autores

Figura 46 – Parafuso Allen M4X30 - DIN912

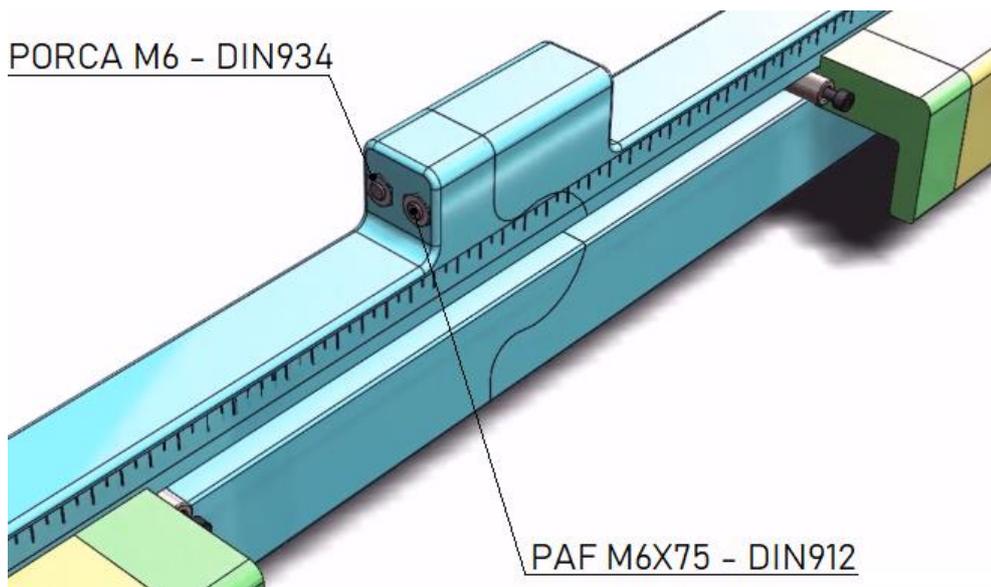


Fonte: Autores

4.4.4.5 Porcas

Para a união do suporte bipartido, foi colocado dois parafusos e duas porcas M6 DIN934, conforme figura 47.

Figura 47 – Porca sextavada M6 - DIN934 e parafuso Allen M6X75 - DIN912

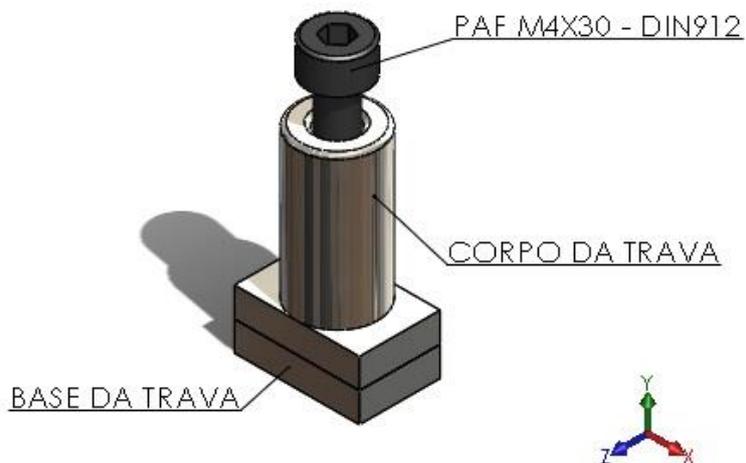


Fonte: Autores

4.4.4.6 Travas

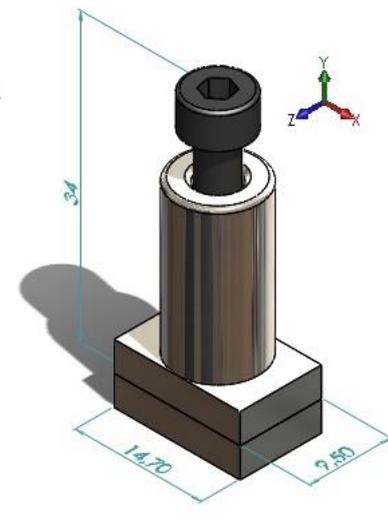
As travas, figura 48, tem por função travar as coberturas no suporte, para que as mesmas não se deslizem no sentido do comprimento do dispositivo, as travas têm 9,5 mm de comprimento, 14,70mm de largura e 34mm de altura, corresponde figura 49. Elas são constituídas por parafuso Allen M4X30 DIN912 figura 46, corpo figura 50 e base figura 51.

Figura 48 – Trava



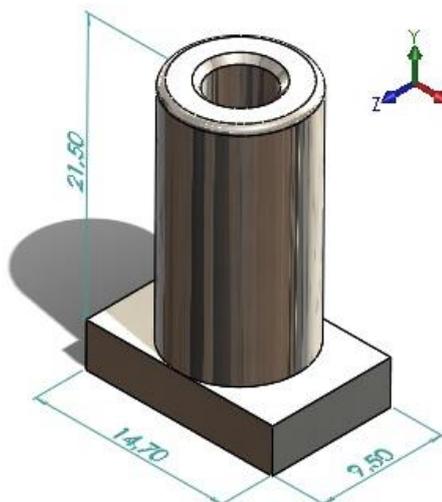
Fonte: Autores

Figura 49 – Trava dimensões



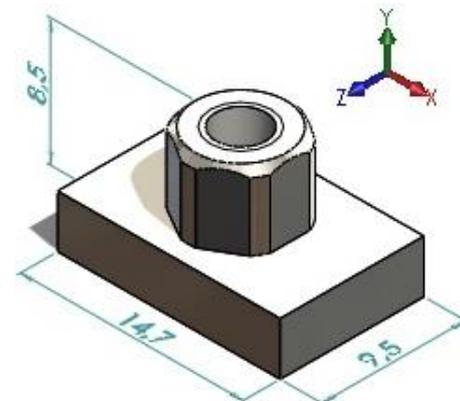
Fonte: Autores

Figura 50 – Corpo da Trava



Fonte: Autores

Figura 51 – Base da Trava



Fonte: Autores

4.5 ANÁLISE TIPO DE JUNÇÃO DO DISPOSITIVO

Devido ao dispositivo ser esbelto no comprimento total de 2.240mm, e de difícil locomoção, foi elaborado o mesmo bipartido e conseqüentemente, abordou-se o estudo sobre o tipo de formato de encaixe que, melhor adequava aos requisitos de projeto, para isso, utilizou conhecimentos de simulação computacional.

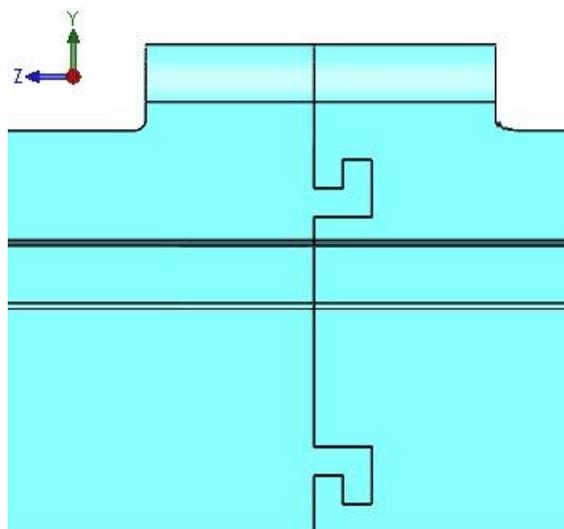
Para todas as simulações, foram adotadas as seguintes condições de contorno:

- a) Von Mises: Análise estática nodal tensão;
- b) Deslocamento resultante: Análise de deslocamento estático;
- c) Ponto de apoio no centro do dispositivo;
- d) A força atuante é igual ao peso;
- e) Gravidade aproximadamente $9,81\text{m/s}^2$;
- f) Malha tetraédrica com tamanho de elemento de 15mm.

4.5.1 Formato “L”

Primeira consideração, formato “L”, figura 52.

Figura 52 – Formato "L"



Fonte: Autores

Obteve resultado de $10\text{N/mm}^2[\text{Mpa}]$ de tensão máxima na análise estática tensão nodal e de 15,8mm de deslocamento máximo na análise de deslocamento estático. A figura 53 destaca a região com máxima deformação e a figura 54 apresenta o deslocamento máximo e mínimo.

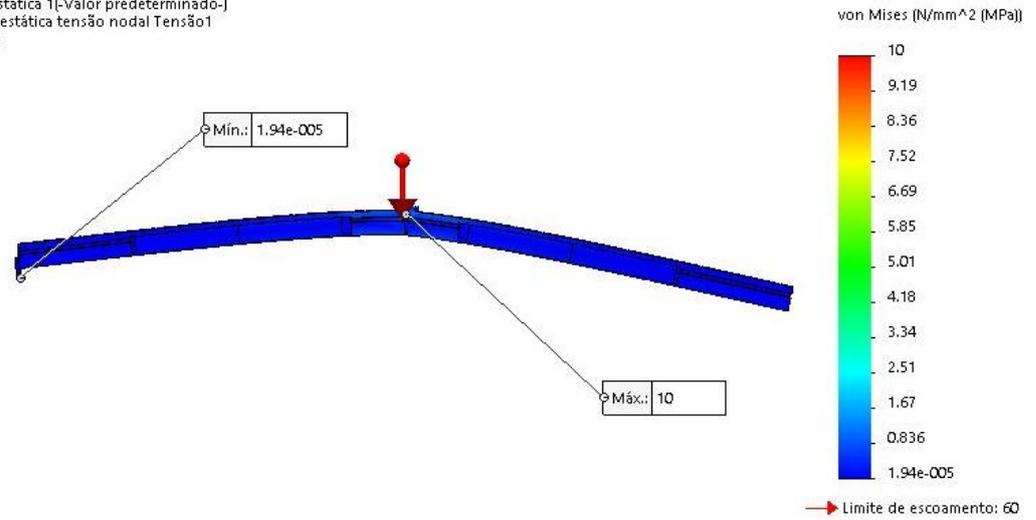
Figura 53 – Formato "L": deformação, análise estática tensão nodal

Nome do modelo:DISPOSITIVO MODULAR

Nome do estudo:Análise estática 1(-Valor predeterminado-)

Tipo de plotagem: Análise estática tensão nodal Tensão1

Escala de distorção: 16.154



Fonte: Autores

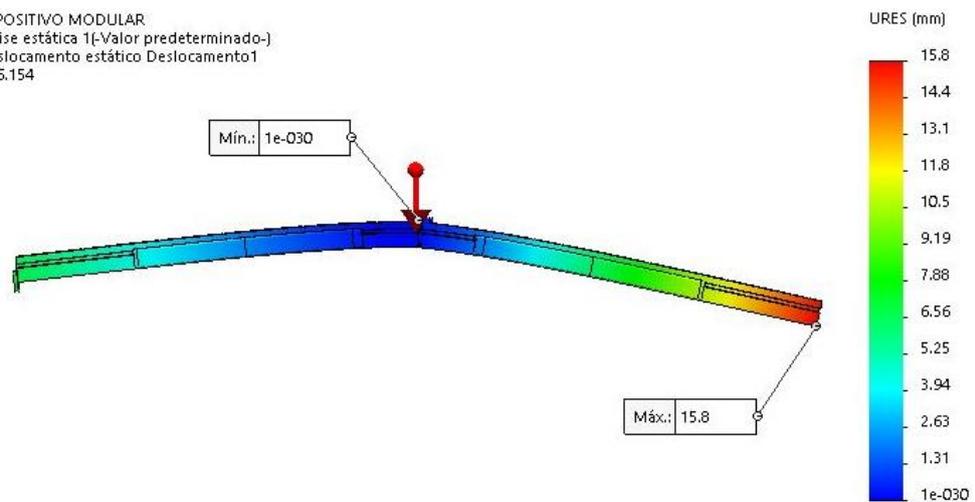
Figura 54 – Formato "L": análise de deslocamento estático

Nome do modelo:DISPOSITIVO MODULAR

Nome do estudo:Análise estática 1(-Valor predeterminado-)

Tipo de plotagem: Deslocamento estático Deslocamento1

Escala de distorção: 16.154

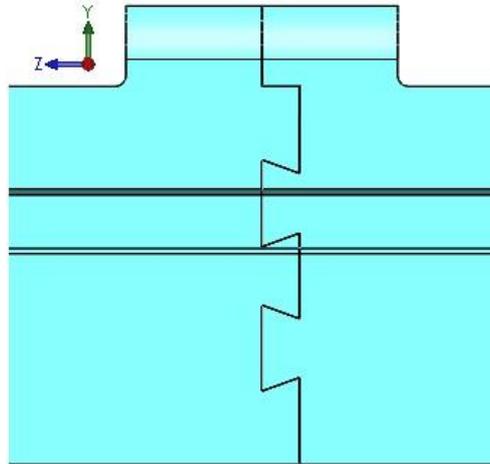


Fonte: Autores

4.5.2 Formato “Rabo de Andorinha”

Segunda consideração, formato “RABO DE ANDORINHA”, figura 55.

Figura 55 – Formato "Rabo de Andorinha"

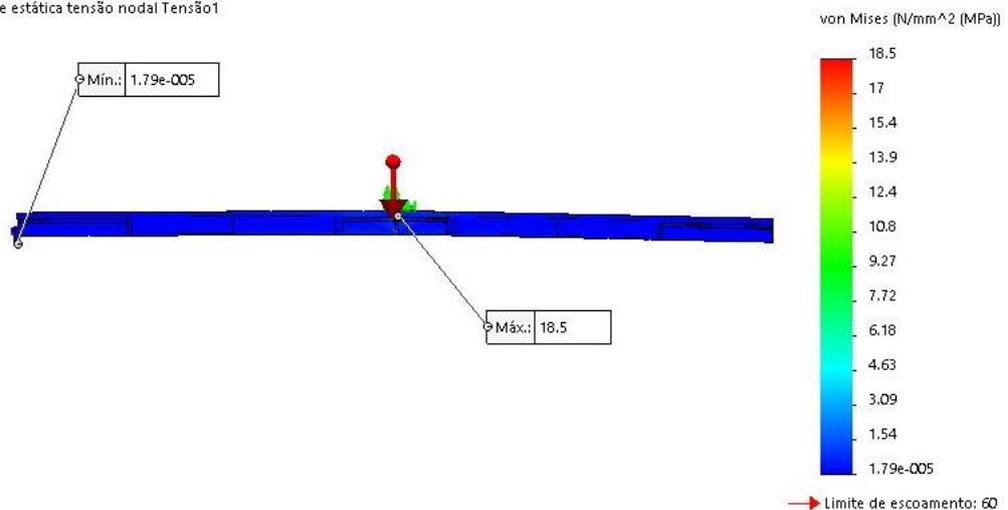


Fonte: Autores

Obteve resultado de $18,5 \text{ N/mm}^2 [\text{Mpa}]$ de tensão máxima na análise estática nodal tensão e de $30,2 \text{ mm}$ de deslocamento máximo na análise de deslocamento estático. A figura 56 destaca a região com máxima deformação e figura 57 apresenta o deslocamento máximo e mínimo.

Figura 56 – Formato "Rabo de Andorinha": deformação, análise estática tensão nodal

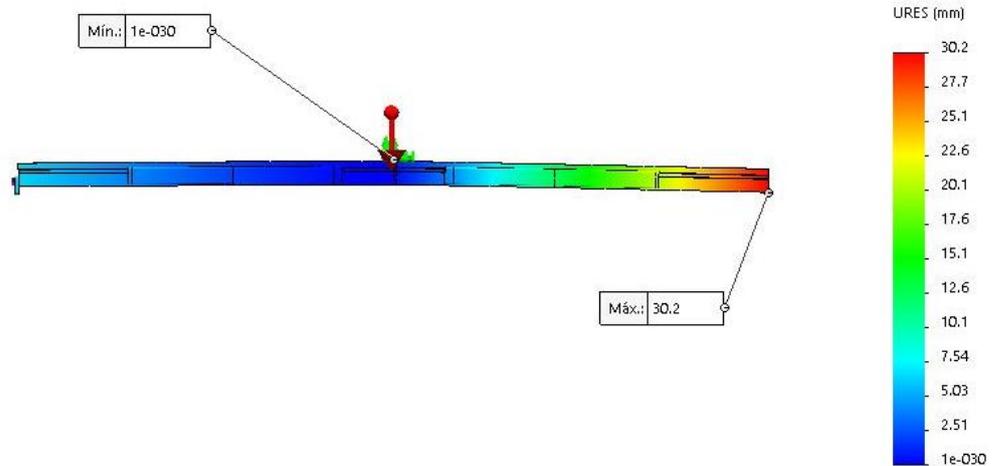
Nome do modelo: DISPOSITIVO MODULAR
 Nome do estudo: Andorinha-(RABO DE ANDORINHA-)
 Tipo de plotagem: Análise estática tensão nodal Tensão1
 Escala de distorção: 1



Fonte: Autores

Figura 57 – Formato "Rabo de Andorinha": análise de deslocamento estático

Nome do modelo:DISPOSITIVO MODULAR
 Nome do estudo:Andorinha-RABO DE ANDORINHA-)
 Tipo de plotagem: Deslocamento estático Deslocamento1
 Escala de distorção: 1

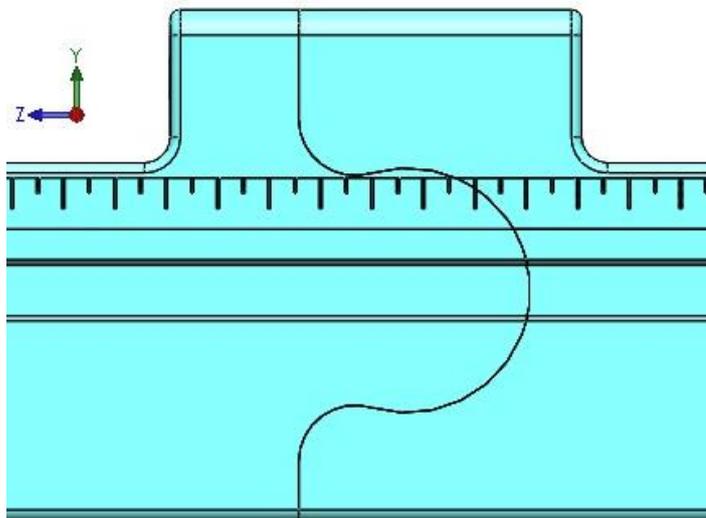


Fonte: Autores

4.5.3 Formato "CIRCULAR"

Terceira consideração, formato "CIRCULAR", figura 58.

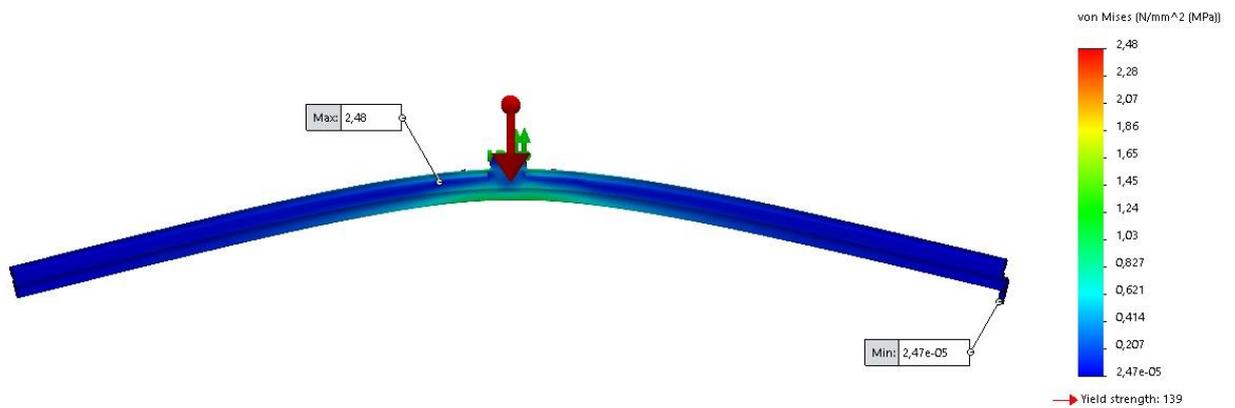
Figura 58 – Formato "Circular"



Fonte: Autores

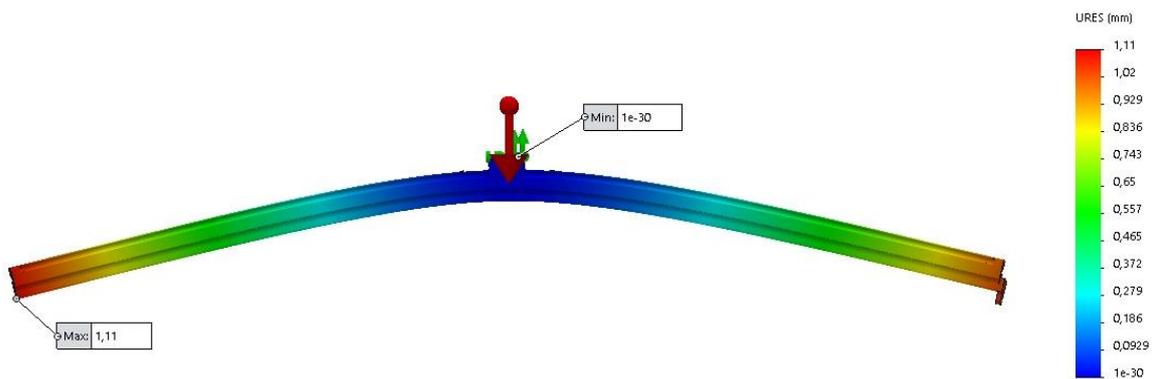
Obteve resultado de $2,48\text{N/mm}^2[\text{Mpa}]$ de tensão máxima na análise estática nodal tensão e de $1,1\text{mm}$ de deslocamento máximo na análise de deslocamento estático. A figura 59 destaca a região com máxima deformação e figura 60 apresenta o deslocamento máximo e mínimo.

Figura 59 – Formato "Circular": deformação, análise estática tensão nodal



Fonte: Autores

Figura 60 – Formato "Circular": análise de deslocamento estático



Fonte: Autores

4.5.4 Formato escolhido

Os critérios utilizados para a escolha do formato foram: menor tensão e o menor deslocamento, conforme a tabela 18.

Tabela 18 – Resultado obtido de Tensão e Deslocamento

FORMATO ANÁLISE	CIRCULAR	L	RABO DE ANDORINHA
TENSÃO [MPA]	2,48	10,0	18,5
DESLOCAMENTO [MM]	1,1	15,8	30,2

Fonte: Autores

Sendo assim, os formatos seguem a seguinte expressão lógica:

$$CIRCULAR < L < RABO DE ANDORINHA$$

Portanto o formato escolhido é o circular, baseado no critério de menor tensão e o menor deslocamento, após análise das simulações.

4.6 ANÁLISE ESTÁTICA

Após os cálculos efetuados no capítulo 4.3, nesta seção é empregada a análise estática. A análise é baseada em 3 condições citadas anteriormente: Primeira condição operador segurando o dispositivo no centro, em uma distância de 400mm, segunda condição o operador segurando em uma distância de 200mm e por fim, terceira condição o operador segurando em 100mm, posição de conforto.

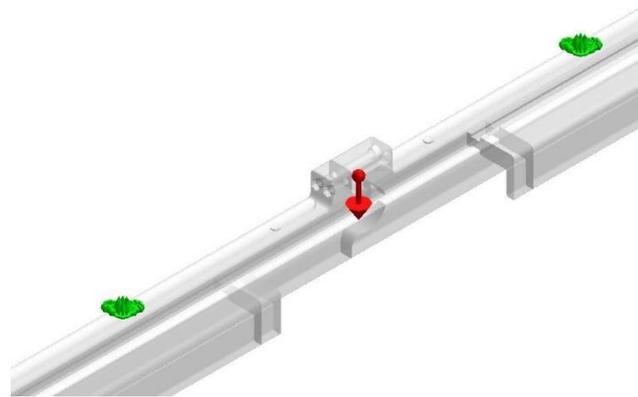
As análises foram elaboradas de acordo com:

- a) Von Mises: Análise estática nodal tensão;
- b) Deslocamento resultante: Análise de deslocamento estático;
- c) A força atuante é igual ao peso;
- d) Gravidade aproximadamente 9,81m/s²;
- e) Malha tetraédrica com tamanho de elemento de 15mm.

4.6.1 Condição 1: operador segurando dispositivo com 400mm entre as mãos

Primeira hipótese, ao qual o colaborador tem o centro do dispositivo como apoio para o transporte até a operação, com distância de 400mm, ilustrado na figura 61.

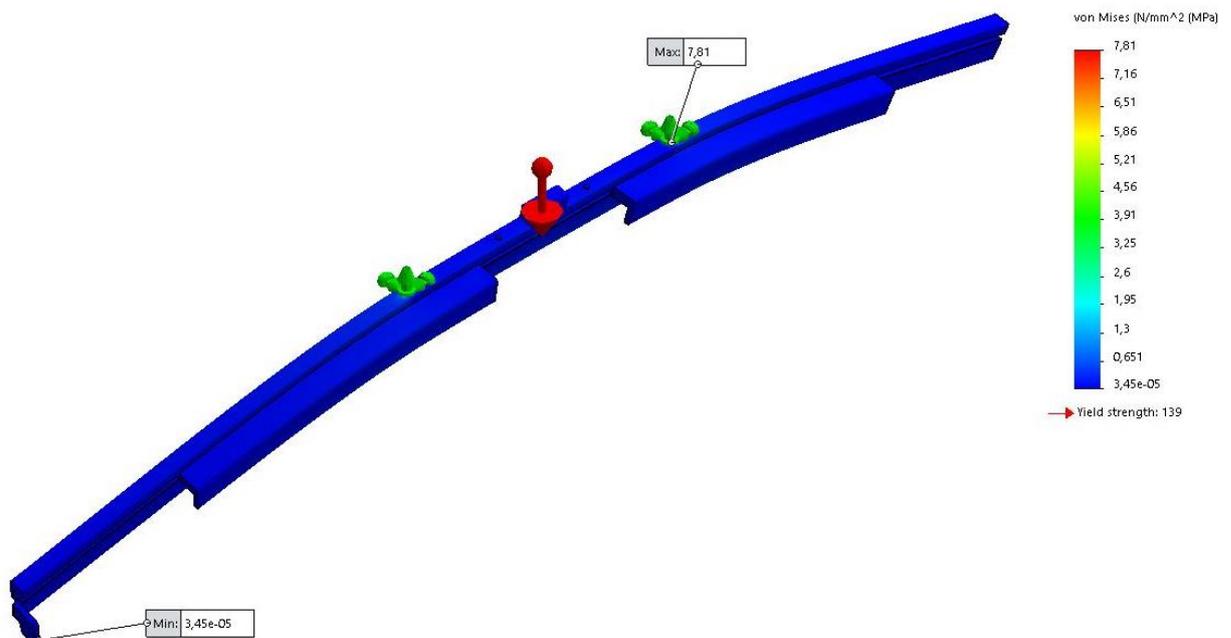
Figura 61 – Condição 1: 400mm de distância



Fonte: Autores

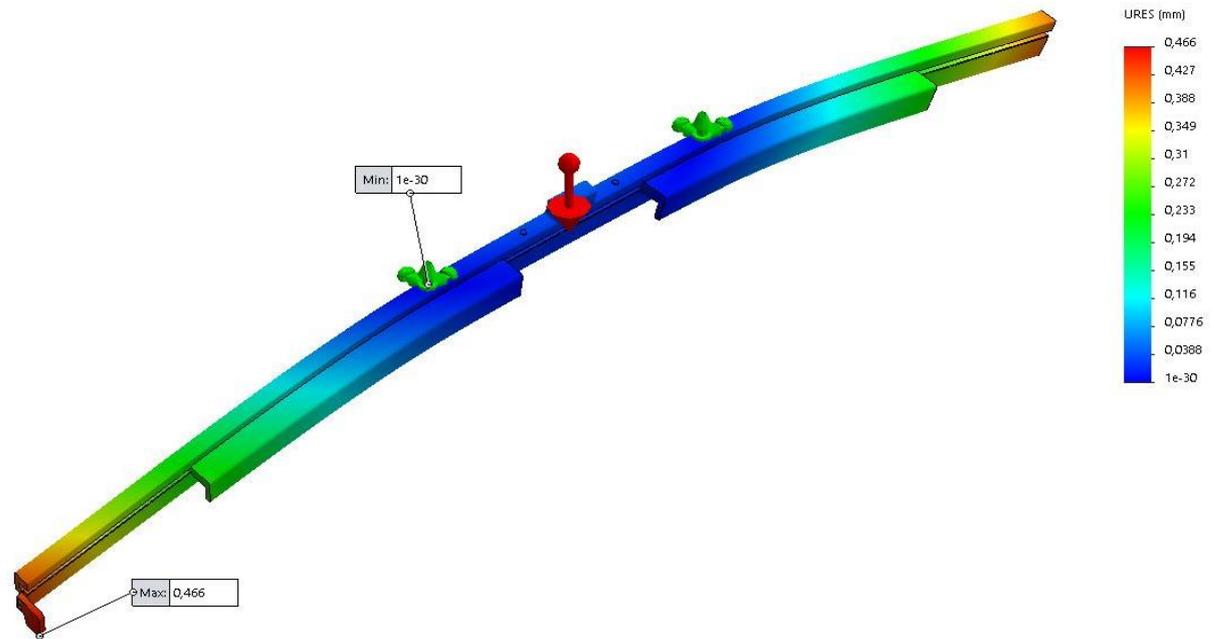
O Resultado obtido na análise de tensão está demonstrado na figura 62 e de deslocamento na figura 63.

Figura 62 – Condição 3: Tensão



Fonte: Autores

Figura 63 – Condição 3: Deslocamento

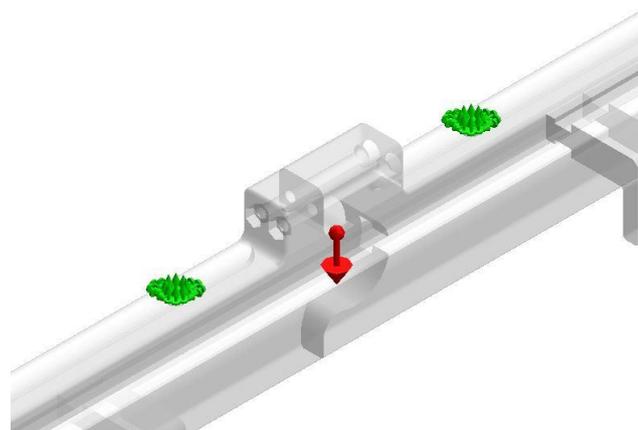


Fonte: Autores

4.6.2 Condição 2: operador segurando dispositivo com 200mm entre as mãos

Segunda hipótese, ao qual o colaborador tem o centro do dispositivo como apoio para o transporte até a operação, com distância de 200mm, ilustrado na figura 64.

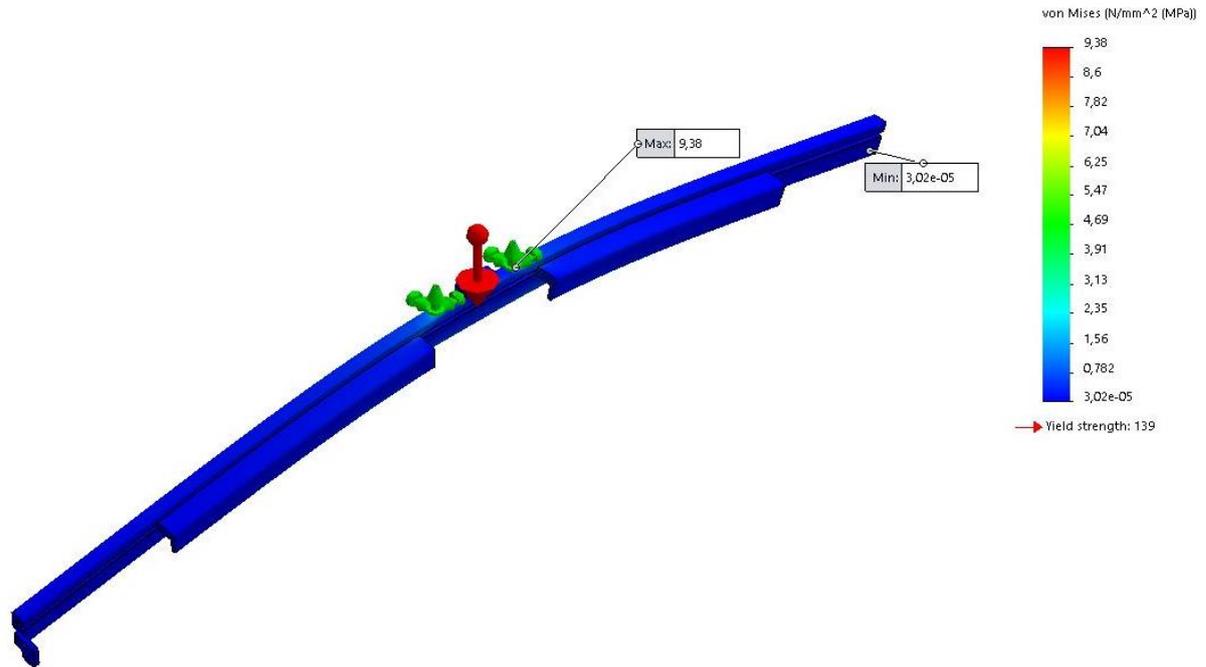
Figura 64 – Condição 2: 200mm de distância



Fonte: Autores

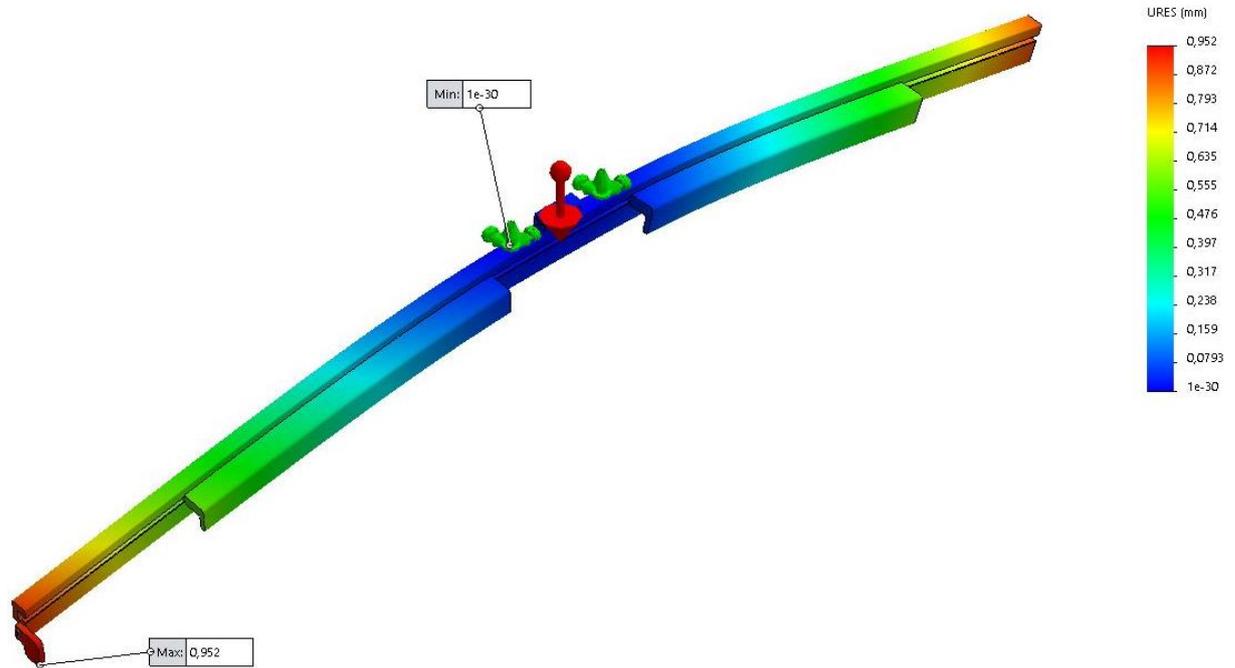
O Resultado obtido na análise de tensão está demonstrado na figura 65 e de deslocamento na figura 66.

Figura 65 – Condição 2: Tensão



Fonte: Autores

Figura 66 – Condição 2: Deslocamento

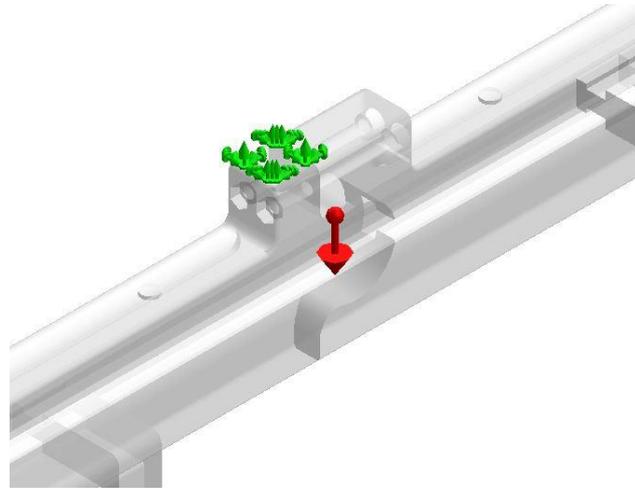


Fonte: Autores

4.6.3 Condição 3: operador segurando o dispositivo no centro

Terceira hipótese, ao qual o colaborador tem o centro do dispositivo como apoio para o transporte até a operação, com distância de 200mm, ilustrado na figura 67.

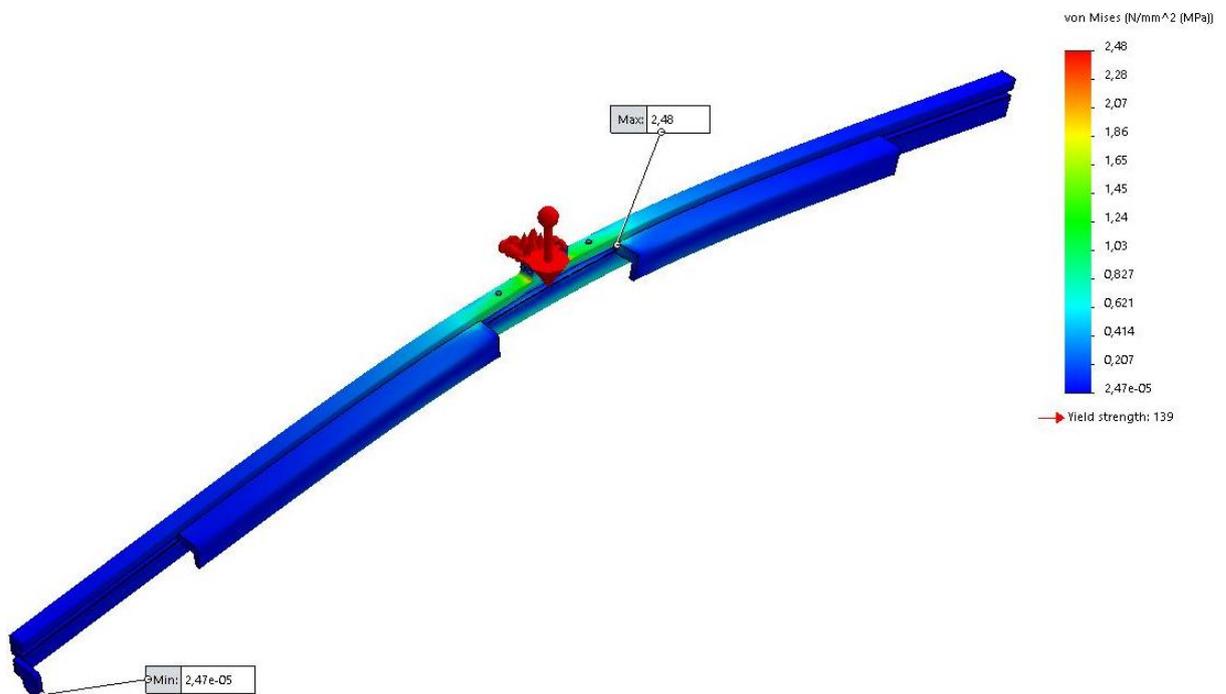
Figura 67 – Condição 3: 100mm de distância



Fonte: Autores

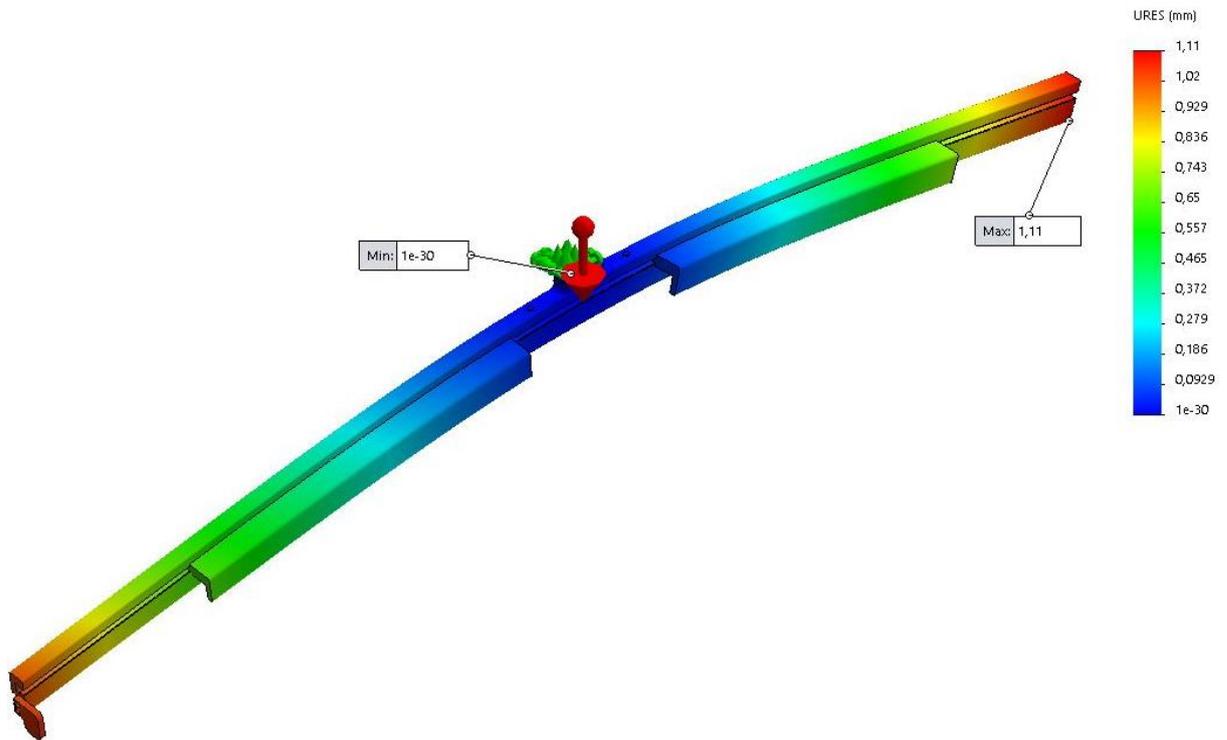
O Resultado obtido na análise de tensão está demonstrado na figura 68 e de deslocamento na figura 69.

Figura 68 – Condição 3: Tensão



Fonte: Autores

Figura 69 – Condição 3: Deslocamento



Fonte: Autores

4.6.4 Conclusões da análise estática

A validação dos cálculos e análise estática foi validada por intermédio de simulação, como temos uma força de 58,8N distribuído no dispositivo de 2240mm, a tensão máxima atuante é de 9,38MPa, sendo extremamente baixa comparada com a tensão de limite de escoamento, 103,65MPa conforme figura 70. Conclui-se que o dispositivo não sofrerá falha, em nenhuma das hipóteses citadas, conforme tabela 19:

Tabela 19 – Resultado obtido de Tensão e Deslocamento

CONDICÃO	400mm	200mm	100mm
ANÁLISE			
TENSÃO [MPA]	7,81	9,38	2,48
DESLOCAMENTO [MM]	0,466	0,952	1,11

Fonte: Autores

Figura 70 – Propriedade dos materiais

PA TIPO 6 (NYLON 6)		
Propriedade	Valor	Unidades
Módulo elástico	2620	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.34	N/A
Módulo de cisalhamento	970.4	N/mm ²
Massa específica	1120	kg/m ³
Resistência de tração	90	N/mm ²
Resistência à compressão		N/mm ²
Limite de escoamento	103.648886	N/mm ²
Coefficiente de expansão térmica		/K
Condutividade térmica	0.233	W/(m·K)
Calor específico	1601	J/(kg·K)
Coefficiente de amortecimento do material		N/A

Fonte: SolidWorks Library

4.7 ANÁLISE MODAL

A fim de verificar se o dispositivo proposto está sujeito a falhas por vibração foi realizado o estudo para identificar as vibrações do sistema que podem afetar o dispositivo e a determinação da frequência natural do dispositivo através de análise computacional.

4.7.1 Vibrações do sistema

Analisando as condições de operação da estação de tratamento onde o dispositivo será utilizado e as condições de operação e manuseio do dispositivo foi possível observar que o dispositivo está sujeito a sofrer vibrações dos seguintes modos:

- Durante o processo de setup da estação onde o dispositivo está sobreposto sobre a régua de eletrodos este está sujeito as vibrações causadas pelos rolos que estão em constante rotação, que para essa análise será tratado através do estudo de vibração forçada induzida por desbalanceamento.
- Durante o deslocamento do operador com o dispositivo em mãos este está sujeito as vibrações causadas pelo movimento do operador, que para essa análise será considerada uma extrapolação onde o operador caminha por um longo percurso com o disposto em mãos, e será tratado através do estudo de vibração forçada por oscilação de base.

4.7.1.1 Vibração forçada induzida por desbalanceamento

Para obter experimentalmente os valores de vibração e rotação do sistema, foram realizadas medições diretamente na estação de tratamento utilizando o coletor de vibrações e balanceador dinâmico modelo NK620 da marca TEKNIKAO e um tacômetro digital modelo TD-704. As figuras 71 e 72 a seguir apresentam os equipamentos utilizados.

Figura 71 – Coletor de vibração TEKNIKAO modelo NK620



Fonte: Autores

Figura 72 – Tacômetro digital utilizado para medição da rotação



Fonte: Autores

Uma vez que a estação de tratamento está em constante rotação as medições foram realizadas em momentos diferentes. A tabela 20 apresenta os valores de rotação em rpm medidos com o tacômetro e valor médio e máximo obtido assim como a frequência correspondente em hertz, conforme equação 20.

$$f[Hz] = \frac{n[rpm]}{60} \quad (20)$$

Tabela 20 – Rotação e frequência da estação de tratamento

Medição	Rotação [RPM]	Frequência [Hz]
1	3340	55,67
2	3339	55,65
3	3319	55,32
4	3310	55,17
5	3344	55,73
6	3305	55,08
7	3299	54,98
8	3314	55,23
9	3331	55,52
10	3302	55,03
11	3326	55,43
12	3297	54,95
13	3352	55,87
14	3274	54,57
Média	3318	55,30
Máximo	3352	55,87

Fonte: Autores

A tabela 21 a seguir apresenta os valores de vibrações indicado por aceleração em m/s², sendo valores de pico e média RMS, e indicado por velocidade em mm/s sendo valores em média RMS e o respectivo valor médio e máximo obtido.

Tabela 21 – Vibração da estação de tratamento por aceleração e velocidade

Coletor de vibrações - Aceleração [m/s ²]			Coletor de vibrações - Velocidade [mm/s]	
Medição	Pico	RMS	Medição	RMS
1	0,48	0,15	1	0,41
2	0,59	0,16	2	0,33
3	0,67	0,16	3	0,29
4	0,58	0,15	4	0,38
5	0,63	0,15	5	0,26
6	0,72	0,16	6	0,29
7	0,53	0,15	7	0,3
8	0,61	0,15	8	0,33
9	0,52	0,15	9	0,24
10	0,63	0,14	10	0,31
11	0,68	0,16	11	0,3
12	0,64	0,16	12	0,31
13	0,5	0,16	13	0,36
14	0,62	0,16	14	0,33
Média	0,60	0,15	Média	0,32
Máximo	0,72	0,16	Máximo	0,41

Fonte: Autores

Os valores de vibração obtidos por aceleração e velocidade são mais utilizados para análises de manutenção preditiva e corretiva, uma vez que o valor obtido por aceleração é facilmente convertido em força se conhecida a massa do objeto fonte da rotação, e conforme ensaios é possível identificar qual o elemento que está sendo responsável pela vibração.

Os valores de vibração obtidos por velocidade são também muito utilizados em manutenção pois é comum que as normas relacionadas a análise de vibrações em equipamentos apresentem os valores de referência em mm/s RMS, deste modo é possível identificar se os valores de vibração estão dentro do permitido para o tipo de equipamento.

O valor relevante para essa análise é o máximo valor de rotação do equipamento que por consequência corresponde a máxima frequência em hertz, que conforme tabela 20 corresponde à 3352 rpm e 55,87hz.

4.7.1.2 Vibração por oscilação de base

Para o estudo da vibração forçada induzida por oscilação de base vamos considerar valores teóricos para a velocidade de caminhada e tamanho do passo do operador que segurará o dispositivo, uma vez que estes valores podem variar de pessoa para pessoa.

Assim como foi realizado para as análises anteriores, vamos considerar três situações distintas onde em cada uma delas o operador segura o dispositivo em uma determinada posição, sendo elas: segurando o dispositivo com uma única mão posicionada no centro do dispositivo; segurando o dispositivo com duas mãos posicionadas equidistantes do centro do dispositivo com uma distância entre as mãos de 200 mm; e segurando o dispositivo com duas mãos posicionadas equidistantes do centro do dispositivo com uma distância entre as mãos de 400 mm, que é a posição recomendada pois é ergonomicamente correta e confortável para o operador.

A tabela 22 apresenta os valores de velocidade em km/hora e seu respectivo em m/s e os valores obtidos de período do passo do operador em segundo e a frequência em hertz correspondentes obtidos conforme equações 21 e 22, para um valor de passo igual à 0,315 metros.

$$T[s] = \frac{\text{passo}[m]}{\text{velocidade} \left[\frac{m}{s} \right]} \quad (21)$$

$$f[Hz] = \frac{1}{T[s]} \quad (22)$$

Tabela 22 – Velocidades adotadas para movimentação do operador

Tipo de movimento	Velocidade		Cálculos	
	Km/h	m/s	Período (s)	frequência (Hz)
Caminhada	5	1,39	0,23	4,409
	6,5	1,81	0,17	5,732
Corrida	7,5	2,08	0,15	6,614
	8,5	2,36	0,13	7,496
	9,5	2,64	0,12	8,377
	10,5	2,92	0,11	9,259
	11,5	3,19	0,10	10,141
	12,5	3,47	0,09	11,023

Fonte: Autores

4.7.2 Simulação computacional

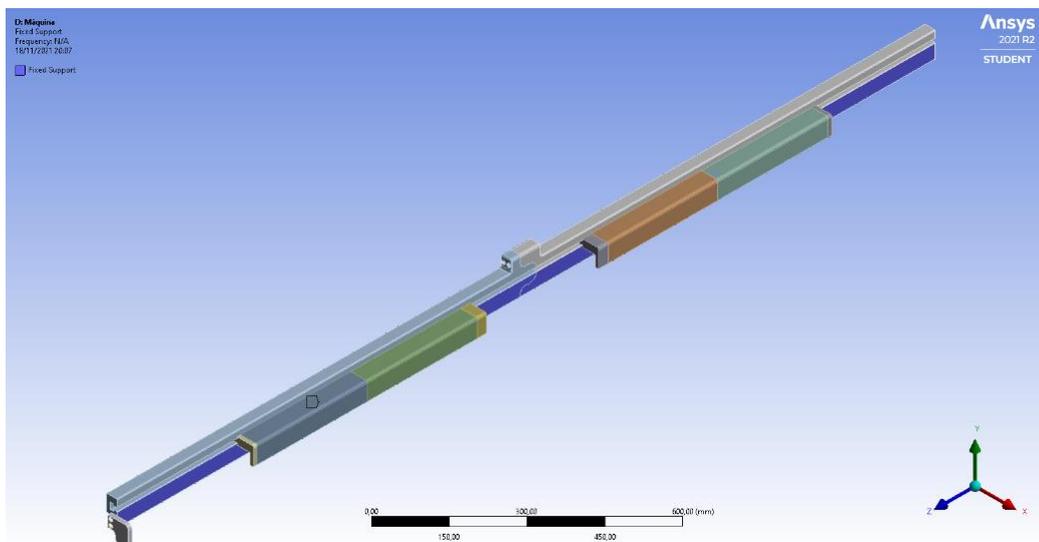
O objetivo dessa simulação é verificar as frequências naturais de vibração para garantir que durante a utilização e manuseio o dispositivo não esteja sujeito a essas frequências. Para identificar a frequência natural do dispositivo foi utilizado o módulo de análise modal do software ANSYS, com as condições de contorno adequadas para cada tipo de análise, todos os relatórios de simulação gerado pelo software estão disponíveis no apêndice B.

4.7.2.1 Vibração por desbalanceamento

Para simulação computacional do dispositivo para análise da vibração forçada por desbalanceamento, foram adotados os seguintes critérios:

- Força no dispositivo é somente a causada pela própria massa do dispositivo;
- Os pontos de fixação do dispositivo são todas as partes em que o dispositivo tem contato com os eletrodos quando montado sobre ele, ou seja, a parte interna dos suportes e a parte interna da régua, conforme ilustrado na figura 73 as áreas destacadas em roxo;
- Material selecionado Nylon 6.0 utilizando as propriedades da biblioteca do software;
- Foram solicitados os primeiros seis modos de vibrar.

Figura 73 – Pontos de fixação para simulação de vibração por oscilação de base



Fonte: Autores

Os resultados obtidos dessa análise são as frequências naturais de vibração em hertz do dispositivo para cada modo de vibrar solicitado conforme apresentado na tabela 23.

Tabela 23 – Resultados obtidos para simulação de vibração oscilação de base

Modo Vibrar	Frequência Natural em Hertz
1	355,79
2	677,91
3	683,98
4	736,84
5	871,65
6	876,49

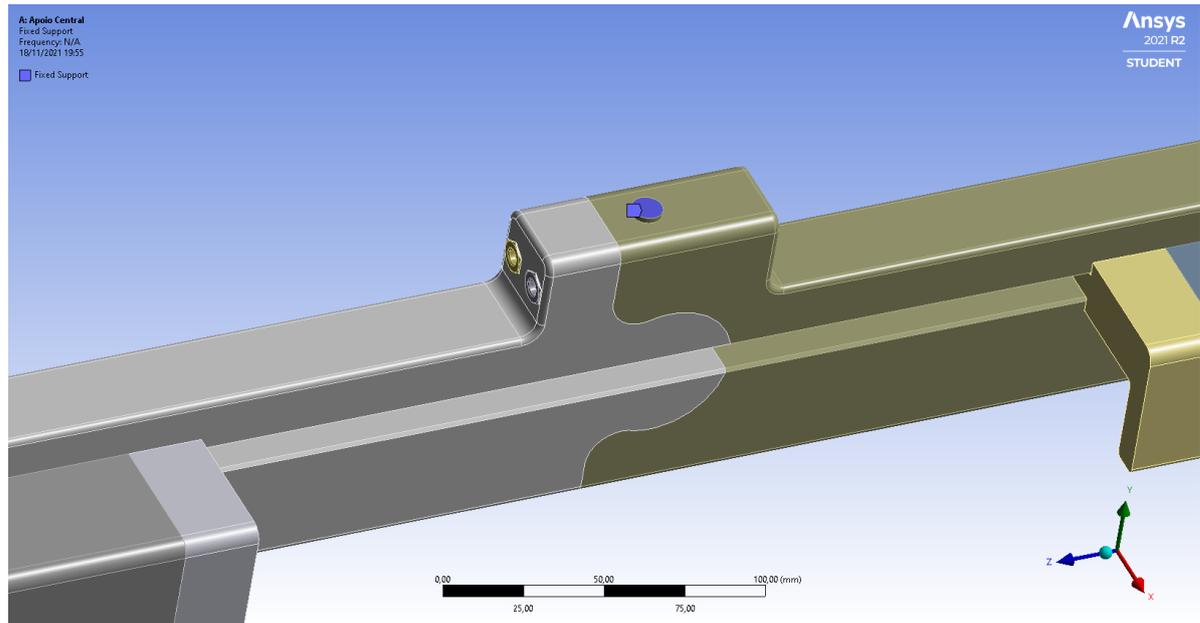
Fonte: Autores

4.7.2.2 Vibração por oscilação de base

Para simulação computacional do dispositivo para análise da vibração forçada por oscilação de base, foram adotados os seguintes critérios:

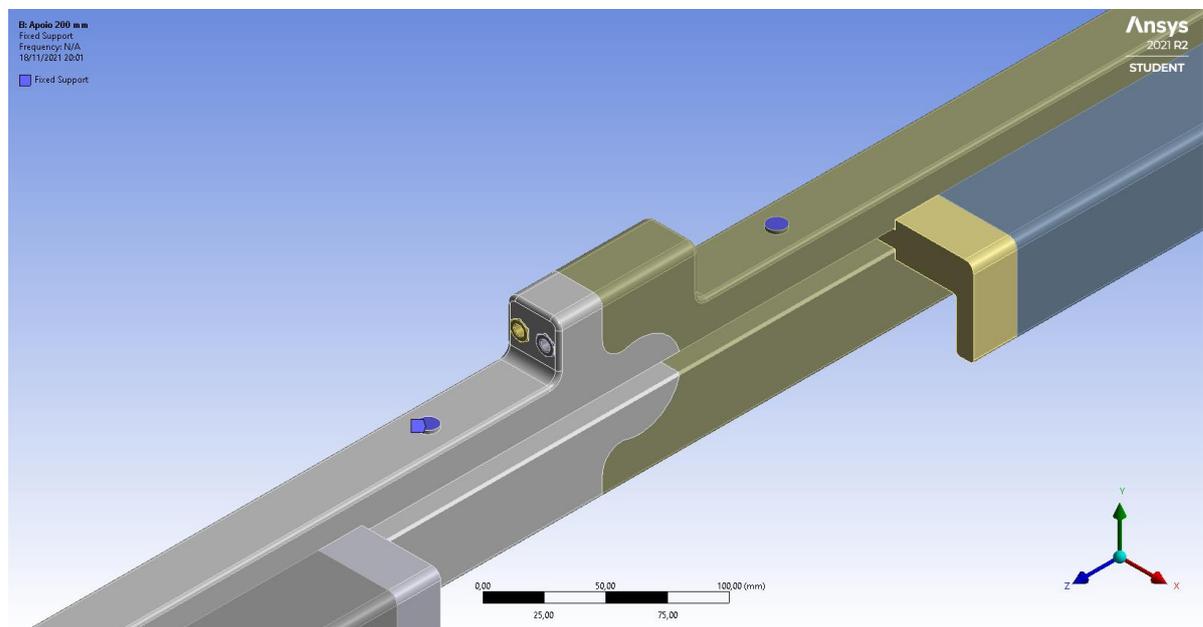
- a) Força no dispositivo é somente a causada pela própria massa do dispositivo;
- b) Os pontos de fixação no dispositivo são pontos correspondentes aos locais de apoio da mão do operador para cada situação simulada:
 - Para situação em que o operador segura o dispositivo com uma única mão no centro do dispositivo o ponto de fixação foi representado por uma por uma área circular conforme indicado na figura 74.
 - Para situação em que o operador segura o dispositivo com as duas mãos posicionadas equidistantes do centro do dispositivo com uma distância entre as mãos de 200 mm o ponto de fixação foi representado por uma área circular conforme indicado na figura 75.
 - Para situação em que o operador segura o dispositivo com as duas mãos posicionadas equidistantes do centro do dispositivo com uma distância entre as mãos de 400 mm o ponto de fixação foi representado por uma área circular conforme indicado na figura 76.
- c) Material selecionado Nylon 6.0 utilizando as propriedades da biblioteca do software;
- d) Foram solicitados os primeiros seis modos de vibrar.

Figura 74 – Ponto de fixação para simulação de vibração por oscilação de base posição central



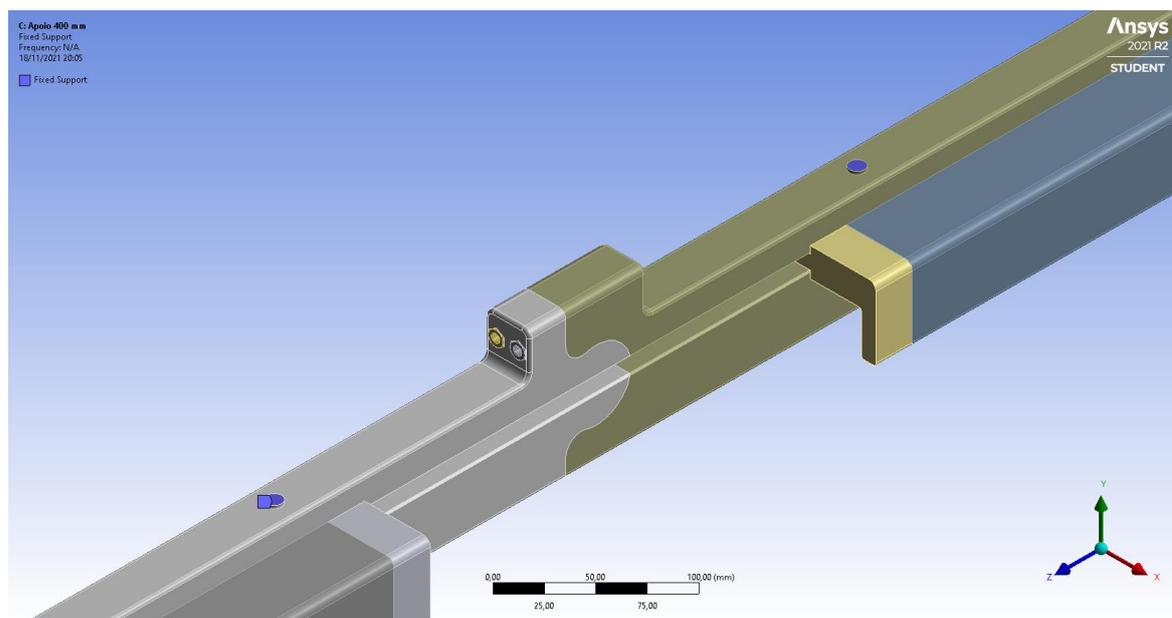
Fonte: Autores

Figura 75 – Ponto de fixação para simulação de vibração por oscilação de base posição 200 mm



Fonte: Autores

Figura 76 – Ponto de fixação simulação de vibração por oscilação de base posição 400 mm



Fonte: Autores

Os resultados obtidos dessa análise são as frequências naturais de vibração em hertz do dispositivo para cada modo de vibrar solicitado conforme apresentado na tabela 24.

Tabela 24 – Resultados obtidos para simulação de vibração oscilação de base

Modo Vibrar	Frequência natural em hertz		
	Central	200 mm	400 mm
1	8,10	11,02	12,70
2	9,01	11,52	14,64
3	10,31	15,33	17,74
4	14,78	15,87	18,09
5	36,85	44,27	48,87
6	40,44	46,18	51,22

Fonte: Autores

4.7.3 Considerações

Uma vez que por convenção as frequências naturais são apresentadas em ordem crescente, e o objetivo é garantir que o dispositivo não esteja sujeito a vibrações forçadas em frequências próximas de suas frequências naturais, ao garantir que o dispositivo não esteja sujeito a vibração com frequência natural próxima da frequência do primeiro modo de vibrar, por consequência podemos concluir que o dispositivo não estará sujeito a vibrações com frequências que sejam próximas da indicada para o segundo modo de vibrar ou dos demais.

Deste modo a conclusão dessa análise será dada pela comparação do máximo de frequência valor estimado para condição de vibração apresentadas com o mínimo valor de frequência natural obtida através da simulação computacional par as mesmas condições. Os resultados dessa comparação são apresentados na tabela 25 a seguir.

Tabela 25 – Resultados obtidos para análise modal

Tipos de análise	Vibração forçada por desbalanceamento	Vibração forçada por oscilação de base		
		Central	200 mm	400 mm
Mínima frequência natural simulada [Hz]	355,79	8,1	11,02	12,7
Máxima frequência em operação [Hz]	55,87	5,732		

Fonte: Autores

Com base nos dados da tabela 25 pode-se concluir que em ambos os casos de vibrações, seja por desbalanceamento ou por oscilação de base, o dispositivo está adequado e dentro dos parâmetros não oferecendo risco de as frequências entrarem num estado de ressonância.

É importante ressaltar que embora na tabela 22 apresente valores de frequência natural maiores que 5,732 hertz, é considerado como condição máxima no projeto o valor limite de caminhada que é de 6,5 km/h, uma vez que não é recomendado e não há em ambiente real espaço hábil ou necessidade de que o operador atinja uma velocidade maior que a máxima de caminha.

Tendo como base os valores mínimos de frequência natural obtida para cada caso e fazendo os cálculos inversos conforme equação 20, para vibração por desbalanceamento, e equação 21 e 22, para vibração por oscilação podemos determinar qual seria a condição máxima de uso para cada caso. Estes resultados são apresentados na tabela 26 a seguir.

Tabela 26 – Cálculo dos valores máximos possíveis de condição de uso do dispositivo

Tipos de análise	Vibração forçada por desbalanceamento	Vibração forçada por oscilação de base
Mínima frequência natural simulada [Hz]	355,79	8,1
Máxima rotação correspondente [rpm]	21347,4	-
Máxima velocidade de caminhada [Km/h]	-	9,2

Fonte: Autores

4.8 CÁLCULOS DE USINAGEM

Com o intuito de prever os custos necessários e o tempo gasto para produzir o dispositivo, foi realizado cálculos baseados no livro ANSELMO et. al. (1999), utilizando ferramentais e parâmetros adequados para obtenção de resultados favoráveis para o projeto.

Como método de simplificação da estrutura bipartida, foi realizado os cálculos de um único módulo e seu resultado multiplicado por 2, e por conta de o material apresentar uma resistência mecânica baixa, foi utilizada fresas de alumínio, por considerar um material com características parecidas e pela dificuldade em encontrar ferramentas específicas para polímeros.

4.8.1 Material Utilizado

O material comprado para realizar a confecção das peças foi uma chapa de Nylon 6, dimensionada com base na peça de maior espessura, obtendo assim as medidas 3000 X 500 X 50. A matéria-prima mencionada está avaliada em aproximadamente R\$ 6320,00.

4.8.2 Faceamento para Regularização e Traseiro

No faceamento, foi utilizada a fresa Baseworx com pastilhas intercambiáveis de desbaste e acabamento, na qual trabalhou-se com os parâmetros indicados nos cálculos a seguir.

Para regularização:

$$fz = 0,5 \text{ mm/dente}$$

$$Zd = 5 \text{ dentes}$$

$$Vc = 130 \text{ m/min}$$

$$\emptyset fresa = 80 \text{ mm}$$

$$apmáx = 3 \text{ mm}$$

A primeira etapa do cálculo consiste em calcular a espessura que será usinada do material bruto, conforme a equação 23.

$$Espes Usin = Espessura da Chapa - Espessura do Dispositivo \quad (23)$$

$$Espes. Usin = 50 - 30 = 20 \text{ mm}$$

Foi utilizada as equações 24 e 25 para definir a quantidade de passes necessários para usinar a região da peça por completo e a profundidade usinada.

$$i = \frac{Espessura Usinada}{apm\acute{a}x} = \frac{20}{3} = 6,67 = 7 \text{ passes} \quad (24)$$

$$apreal = \frac{20}{7} = 2,86 \text{ mm} \quad (25)$$

Utilizando a equação 26, podemos definir a rotação que será utilizada durante o processo de usinagem.

$$n = \frac{Vc * 1000}{\pi * \emptyset fresa} = \frac{130 * 1000}{\pi * 80} = 517,3 \text{ rpm} \quad (26)$$

Para calcular a Velocidade de Avanço da ferramenta (V_f) na equação 30, definiu-se abaixo alguns parâmetros importantes, tais como a entrada da ferramenta da peça (A) na equação 27, o comprimento de corte na equação 28 e o percurso de corte na equação 29.

$$A = \frac{\emptyset fresa}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm} \quad (27)$$

$$\text{Comprimento de Corte} = 1145 \text{ mm} \quad (28)$$

$$\text{Percurso de Corte} = A + \text{Comprimento de Corte} \quad (29)$$

$$\text{Percurso de Corte} = 40 + 1145 = 1185 \text{ mm}$$

$$V_f = Vc * Z_d * fz \quad (30)$$

$$V_f = 130 * 5 * 0,5$$

$$V_f = 1293,13 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Através da equação (31 e 32, calculou-se o tempo resultante para realizar a usinagem do Dispositivo e como método de simplificação, foi adotado que os dois módulos principais seriam iguais, por esse motivo o tempo de corte (t_c) foi multiplicado por dois.

$$t_c = \frac{\text{Percurso de Corte}}{V_f} = \frac{1185}{1293,13} = 0,916 \text{ min} \quad (31)$$

$$t_c \text{ total} = 0,916 * i * 2 \quad (32)$$

$$t_c \text{ total} = 0,916 * 7 * 2$$

$$t_c \text{ total} = 12,84 \text{ min}$$

4.8.3 Faceamento Traseiro

No faceamento traseiro, realizou-se os cálculos com base nas equações numeradas no tópico 4.8.2 e para essa seção utilizou-se a fresa Baseworx, na qual trabalhou-se com os parâmetros indicados nos cálculos a seguir.

$$f_z = 0,5 \text{ mm/dente}$$

$$Z_d = 4 \text{ dentes}$$

$$V_c = 130 \text{ m/min}$$

$$\varnothing_{\text{fresa}} = 35 \text{ mm}$$

$$a_{p\text{máx}} = 3 \text{ mm}$$

Os resultados obtidos a partir dos cálculos estão apresentados na tabela 27.

Tabela 27 – Resultados do faceamento traseiro

Descrição	Valores	Unidades
Espessura Usinada	15	mm
i	5	Passes
n	1182,29	rpm
A	17,5	mm
Comprimento de Corte	1145	mm
Percurso de Corte	1162,5	mm
Vf	2364,59	mm/min
t _c	0,491	min
t _c total	4,92	min

Fonte: Autores

4.8.4 Canal “T” – Primeira Etapa

Na realização do Canal “T”, foi necessário dividir o procedimento em duas etapas, sendo a primeira realizar o fresamento do corpo do “T”. Utilizou-se a fresa de topo Z4 WR202 fabricada pela empresa MWR, trabalhando com os parâmetros a seguir.

$$fz = 0,063 \text{ mm/dente}$$

$$Zd = 4 \text{ dentes}$$

$$Vc = 145 \frac{m}{min}$$

$$\emptyset fresa = 10 \text{ mm}$$

Foi utilizada a equação 33 para calcular a profundidade máxima de corte, cuja expressão foi retirada do catálogo da ferramenta.

$$apmáx = 0,5 * \emptyset fresa \quad (33)$$

$$apmáx = 0,5 * 10 = 5 \text{ mm}$$

Os resultados obtidos a partir dos cálculos estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Resultados dos Cálculos do Canal "T" - Primeira Etapa

Descrição	Valores	Unidades
Espessura Usinada	19	mm
i	4	Passes
apreal	4,75	mm
n	4615,9	rpm
A	5	mm
Comprimento de Corte	1145	mm
Percurso de Corte	1150	mm
Vf	1163,1	mm/min
tc	0,989	min
tc total	7,9	min

Fonte: Autores

4.8.5 Canal “T” – Segunda Etapa

A segunda etapa do canal “T”, consiste em usinar a seção superior ao corpo do “T”, utilizando a fresa especial, denominada como INDAÇO 1601 – Fresa Rasgo T – DIN 851 A N, utilizando os parâmetros abaixo.

$$\varnothing fresa = 18 \text{ mm}$$

$$Zd = 10 \text{ dentes}$$

$$\text{Espessura Usinada} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Avanço} = 0,12 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$n = 1500 \text{ rpm}$$

Para a fresa utilizada nessa etapa, o catálogo da ferramenta não possuía o valor de retirada de material por dente (fz), por esse motivo esse valor foi calculado de acordo com a equação 34.

$$fz = \frac{\text{Avanço}}{Zd} = \frac{0,12}{10} = 0,012 \frac{\text{m}}{\text{dente}} \quad (34)$$

Os resultados obtidos a partir dos cálculos estão apresentados na Tabela 29Tabela 28.

Tabela 29 – Resultados dos Cálculos do Canal "T" - Segunda Etapa

Descrição	Valores	Unidades
Vc	84,82	m/min
A	9	mm
Comprimento de Corte	1145	mm
Percurso de Corte	1154	mm
Vf	180	mm/min
tc	0,0064	min
tc total	0,0128	min

Fonte: Autores

4.8.6 Junta Circular

Para realizar os cálculos da junção entre as duas partes do dispositivo, foi utilizada a mesma fresa da usinagem do corpo do Canal “T”, seguindo os parâmetros indicados na sequência.

$$fz = 0,063 \text{ mm/dente}$$

$$Zc = 4 \text{ dentes}$$

$$Vc = 145 \text{ m/min}$$

$$\emptyset fresa = 10 \text{ mm}$$

$$\emptyset usinado = 48 \text{ mm}$$

Os resultados obtidos a partir dos cálculos estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Resultado dos Cálculos da Junta Circular

Descrição	Valores	Unidades
n	4615,9	rpm
A	5	mm
Comprimento de Corte	48	mm
Percurso de Corte	53	mm
V _{fm}	1405,42	m/min
tc	0,037	min
tc total	0,074	min

Fonte: Autores

4.8.7 Módulos de Ajuste

Na realização da etapa de faceamento, foi utilizada a mesma ferramenta da régua maior, com a finalidade de economizar tempo de setup e com a compra de novas fresas.

O cálculo dos módulos apresentados a seguir, contemplarão os tamanhos de 300 mm, 25 mm e 10 mm e por se tratar do mesmo cálculo, os resultados obtidos serão apresentados em uma tabela.

Os parâmetros utilizados na etapa do faceamento estão listados na sequência.

$$fz = 0,5 \text{ mm/dente}$$

$$Zd = 5 \text{ dentes}$$

$$Vc = 130 \text{ m/min}$$

$$\emptyset fresa = 80 \text{ mm}$$

$$apmáx = 3 \text{ mm}$$

Para o corpo do encaixe em “T” na parte traseira da peça foi adotado os parâmetros a seguir para a realização da usinagem.

$$\emptyset fresa = 18 \text{ mm}$$

$$Zd = 2 \text{ dentes}$$

$$\text{Espessura Usinada} = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{Avanço} = 0,31 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$n = 1500 \text{ rpm}$$

Para a região superior do encaixe em “T” na parte traseira da peça foi adotado os parâmetros a seguir para a realização da usinagem.

$$\emptyset fresa = 10 \text{ mm}$$

$$Zd = 2 \text{ dentes}$$

$$\text{Espessura Usinada} = 2,5 \text{ mm}$$

$$\text{Avanço} = 0,35 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$n = 2730 \text{ rpm}$$

Tabela 31 – Resultados dos Cálculos dos Módulos

Descrição	Módulo 300 mm	Módulo 25 mm	Módulo 10 mm
Percurso de Corte [mm]	300	25	10
Número de Peças	4	2	2
tc – Etapa 1 [min]	10,52	1	0,77
tc – Corpo “T”	5,32	0,29	0,16
tc – Região Superior “T”	5,11	0,25	0,13

Fonte: Autores

O tempo total de corte resultante apresentado na Tabela 31 para a produção dos módulos, é igual a 23,6 minutos, sendo um tempo razoável e condizente com o esperado.

Com base nos cálculos apresentados, foi possível determinar o tempo total de usinagem do dispositivo de 49,3 minutos. A partir desse valor calculado, será possível o levantamento dos custos totais de fabricação, obtendo um valor próximo do real.

4.9 ANÁLISE ECONÔMICA

A partir dos resultados apresentados neste projeto para fabricação do dispositivo e sua utilização no processo visando melhor custo-benefício, qualidade, ergonomia, menor tempo setup possível, foi realizada uma sequência de análises econômicas a fim de verificar a viabilidade financeira do projeto.

4.9.1 Cálculo do ROI (Retorno sobre investimento) e Payback

No caso do projeto proposto pela BLEJS, assume-se que conforme equação 35.

$$\textit{Investimento} = \textit{Materia Prima} + \textit{M\~{a}o de Obra} \quad (35)$$

Sendo a matéria prima avaliada em R\$ 6.320,00 e a mão de obra R\$ 128 o total capital investido é de R\$ 6.448,00

Esse valor está associado aos custos de projeto, manufatura do equipamento, custos com serviços terceirizados e material consumido

Assume-se como receita todos os ganhos computados desde a utilização dessa tecnologia na planta da fábrica, diferindo a média dos ganhos computados pela empresa no período anterior a adoção da régua. Dessa forma é possível isolar o prêmio ganho na receita com o novo método de setup na linha de produção.

Logo, foi assumido como Receita na análise de ROI tudo que antes era apara e que, após a utilização da régua, foi possível capitaliza.

Antes, perdia-se 450Kg de material por apara por máquina por setup. Dessa forma, considerando que no mês são feitos, em média, 8 setups o total perdido em apara por mês por máquina é de 3.600Kg. Com o uso da régua, a perda passa de 450Kg para 75Kg (Redução de 83,3% da perda de matéria prima). Dessa forma, perde-se em apara por mês 600Kg.

Considerando o preço da matéria prima avaliada em R\$ 7/Kg, o que antes a fábrica arcava com 25.200,00 por mês por máquina, com o uso do dispositivo passou a ser R\$ 6.000,00.

Não o suficiente, vale relembrar que os 3.000Kg que antes eram descartados, hoje conseguem ser capitalizados. Dessa forma, soma-se ao retorno os 3.000Kg marcados à R\$ 17/Kg (valor de venda final do produto), gerando uma receita bruta de R\$ 51.000,00. Logo, conclui-se que a receita será R\$ 51.000,00 + R\$ 19.200,00.

$$ROI = \frac{(Receita - Custos)}{(Custos)} \quad (36)$$

$$ROI = \frac{(51.000,00 + 19.200,00 - 6.448,00)}{(6.448,00)} = 989,7\% \text{ no primeiro mês}$$

Isso significa que no primeiro mês é estimado um retorno de dez vezes o custo de implementação, por máquina.

Dessa forma, partindo do pressuposto que são realizados oito setups ao longo do mês, necessita-se de apenas um setup (12,5% do tempo produtivo do mês) para conseguir o retorno do capital investido e ainda ganhar um prêmio de R\$ 2.300,00 em forma de produtividade, o projeto justifica-se como viável da perspectiva econômica.

5 CONCLUSÃO

Com base em todos os estudos apresentados, concluiu-se que o dispositivo atende com segurança os requisitos que foram determinados para sua construção.

A análise ergonômica, que foi ponto de partida do desenvolvimento do projeto, limitou o peso máximo do dispositivo em sete quilos e duzentos gramas e conforme modelamento 3D no SolidWorks o dispositivo apresentou cinco quilos e duzentos gramas, ou seja 27,8% menor que o máximo permitido.

A análise estática provou que o dispositivo suporta as tensões atuantes, pois a máxima tensão atuante é 9,38 MPa e o limite de escoamento do material selecionado é 103,65 Mpa, acarretando um coeficiente de segurança de aproximadamente 11.

A análise modal provou que em condições de uso as frequências de vibrações que o dispositivo está sujeito não atingem as frequências naturais de vibração, e, portanto, não corre o risco de falha do dispositivo por ressonância.

A análise econômica provou que o dispositivo é um investimento viável, pois estima-se que com apenas um mês de uso a redução das perdas obtida resulta em dez vezes o custo de implementação.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante a execução deste projeto foi identificado algumas vertentes que podem ser abordadas em trabalhos futuros, como por exemplo a utilização de software que reproduza a realidade ergonômica durante a realização da atividade, modernização da estação de tratamento e automatização.

Foi verificado com apoio o do professor Dr. Fabio Lima do corpo docente de engenharia de produção do centro universitário FEI, que o software Tecnomatix Process Simulate da Siemes, disponibiliza um gráfico de tensões de um determinado objeto na execução de uma operação. O intuito seria utilizar o software para simular o operador realizando o setup com o dispositivo e obter as tensões atuantes no braço do operador, validando as condições ergonômicas apresentadas pelas normas.

Todo o projeto foi desenvolvido considerando como premissa não alterar o layout da estação de tratamento, a fim de que a solução possa ser aplicada atendendo a demanda atual. Entretanto para trabalhos futuros pode ser considerada essa possibilidade a fim de modernizar o equipamento, permitindo automatização do processo de setup.

REFERÊNCIA

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos finitos: a base da tecnologia cae**. 6. ed. [S. L.]: Érica, 2009. ISBN 9788571947412

BALACHANDRAN, Balakumar; MAGRAB, Edward B. **Vibrações mecânicas**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 616 p.

BEER, Ferdinand P.; E. JOHNSTON, Russel Jr.; DEWOLF, John T.; MAZUREK, David F. **Mecânica dos materiais**. 5. ed. McGrawHill, 2011.

BLAKE, Charles Diniz Marques. **Método NIOSH: Levantamento de cargas**. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/8408860/>. Acesso em: 31 out 2021.

BRASIL. Constituição (1977). Lei n. 6514, de 22 de dezembro de 1977. **Lex: da segurança e medicina do trabalho cap 5**, Brasília, dez. 1977.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6514.htm. Acesso em: 31 out. 2021.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 1073 p.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

COLLINS, Jack A.; BUSBY, Henry R.; STAAB, George H. **Mechanical design of machine elements and machines: A failure prevention perspective**. 2. Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2003. 912 p.

COLTRO, Leda; ALVES, Rosa M. Vercelino. Tratamento Superficial De Filmes flexíveis por plasma. **CETEA informativo: Boletim de tecnologia e desenvolvimento de embalagens**. Instituto de tecnologia de alimentos, volume 13, n. 2, p. 1-5, Abr. Mai, Jun. 2001. Disponível em: https://ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v13n2/v13n2_artigo2.pdf. Acesso em: 05 jun. 2021.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 6.ed. São Paulo, SP: Artliber, 2008.

ERGOTRIADE, Engenharia e gestão de ergonomia, jul. 2016. Disponível em: <https://www.ergotriade.com.br/single-post/2016/07/29/qual-%C3%A9-o-limite-de-peso-recomendado-legisla%C3%A7%C3%A3o-conceitos-niosh-e-5-dicas>. Acesso em: 31 out. 2021.

GIESECKE, Frederick E. et al. (). **Comunicação gráfica moderna**. Porto Alegre: Bookman. 2002. ISBN 9788573078441.

HIBBELER, R.C. **Estática**: mecânica para Engenharia, 12.ed. São Paulo. Pearson Education do Brasil, 2010.

KELLY, S. Graham. **Vibrações mecânicas**: teoria e aplicações. São Paulo: Cengage Learning, c2018. 533 p. Número de chamada: 534 K29v

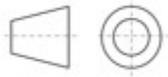
KÖNIG, W. und Klocke, F., 1997. **Fertigungsverfahren 1**: Drehen. Fräsen, Bohren. Ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.

RAO, Singiresu S. **Vibrações mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice-Hall, 2009, 2008. 424 p. Número de chamada: 534 R215v4

WAGNER, Lais Pietsch. Avaliação ergonômica para verificar o manuseio de carga no setor de expedição de um frigorífico de pequeno porte para bovinos localizado na região sul de Santa Catarina. 2016. 92 p. Monografia (Especialista em Engenharia de Segurança do trabalho) – Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/86793155-Universidade-do-extremo-sul-catarinense-unesc-pos-graduacao-especializacao-em-engenharia-de-seguranca-do-trabalho-lais-pietsch-wagner.html>

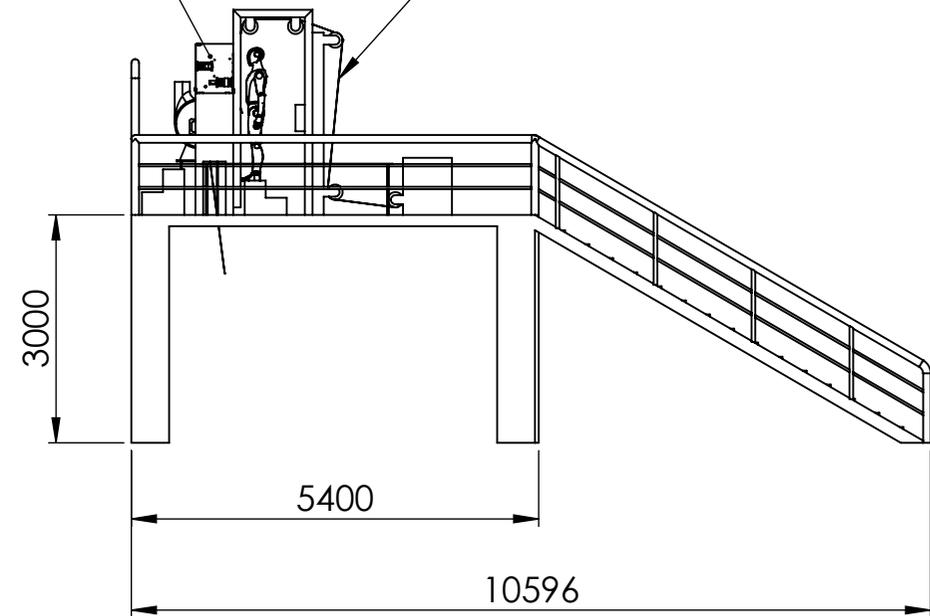
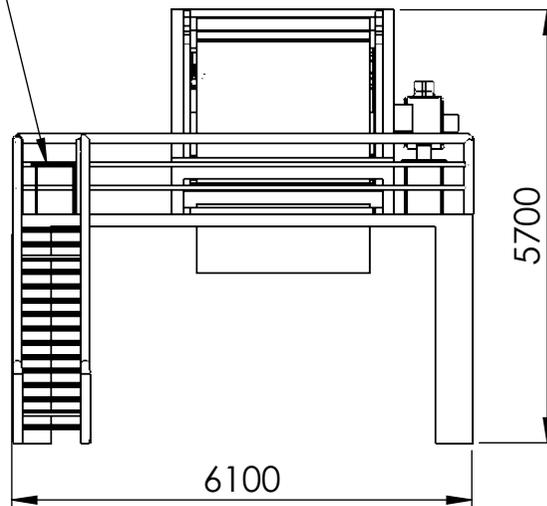
APÊNDICE A – DESENHOS 2D/3D



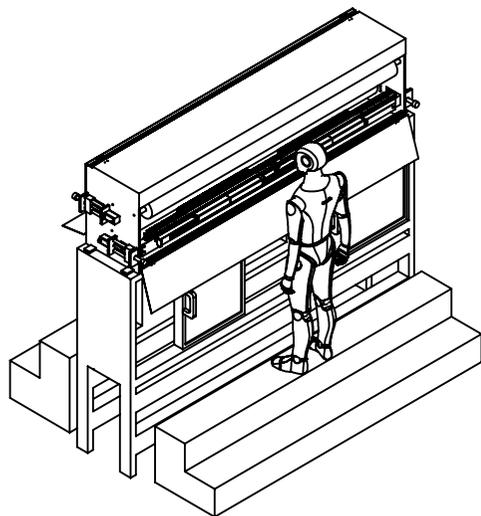
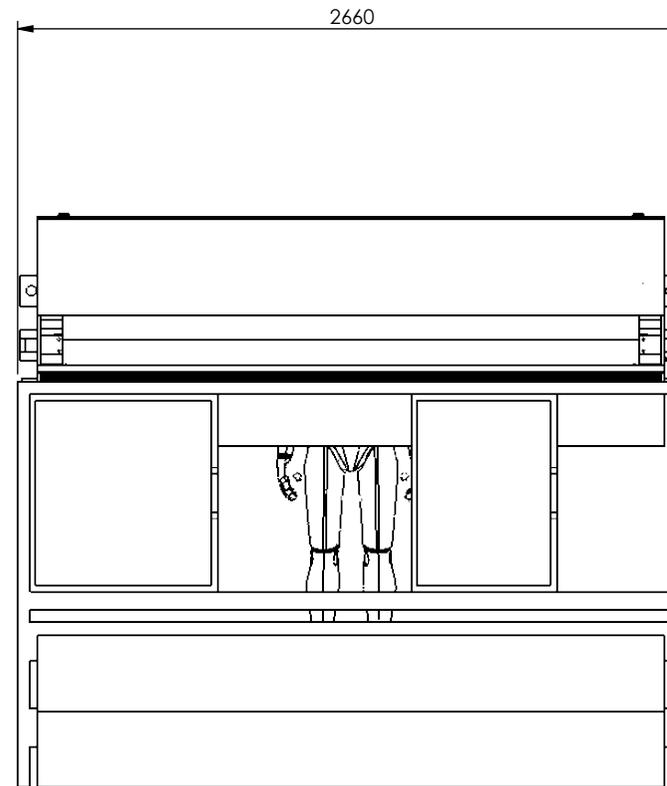
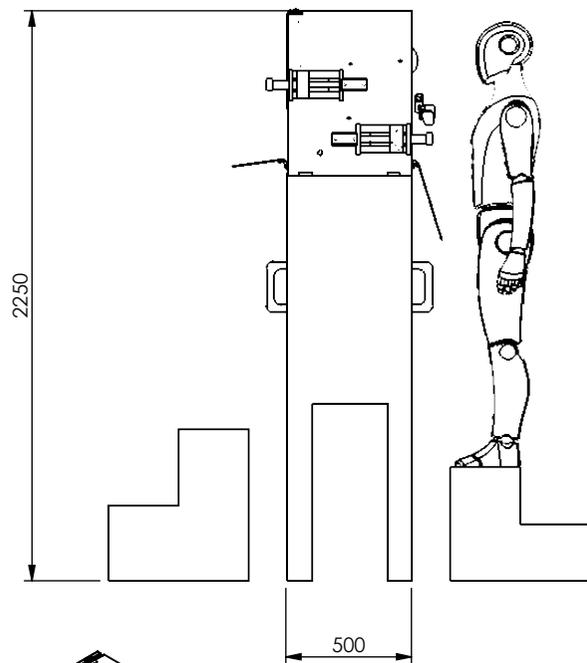
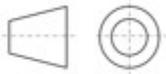
BANCADA

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

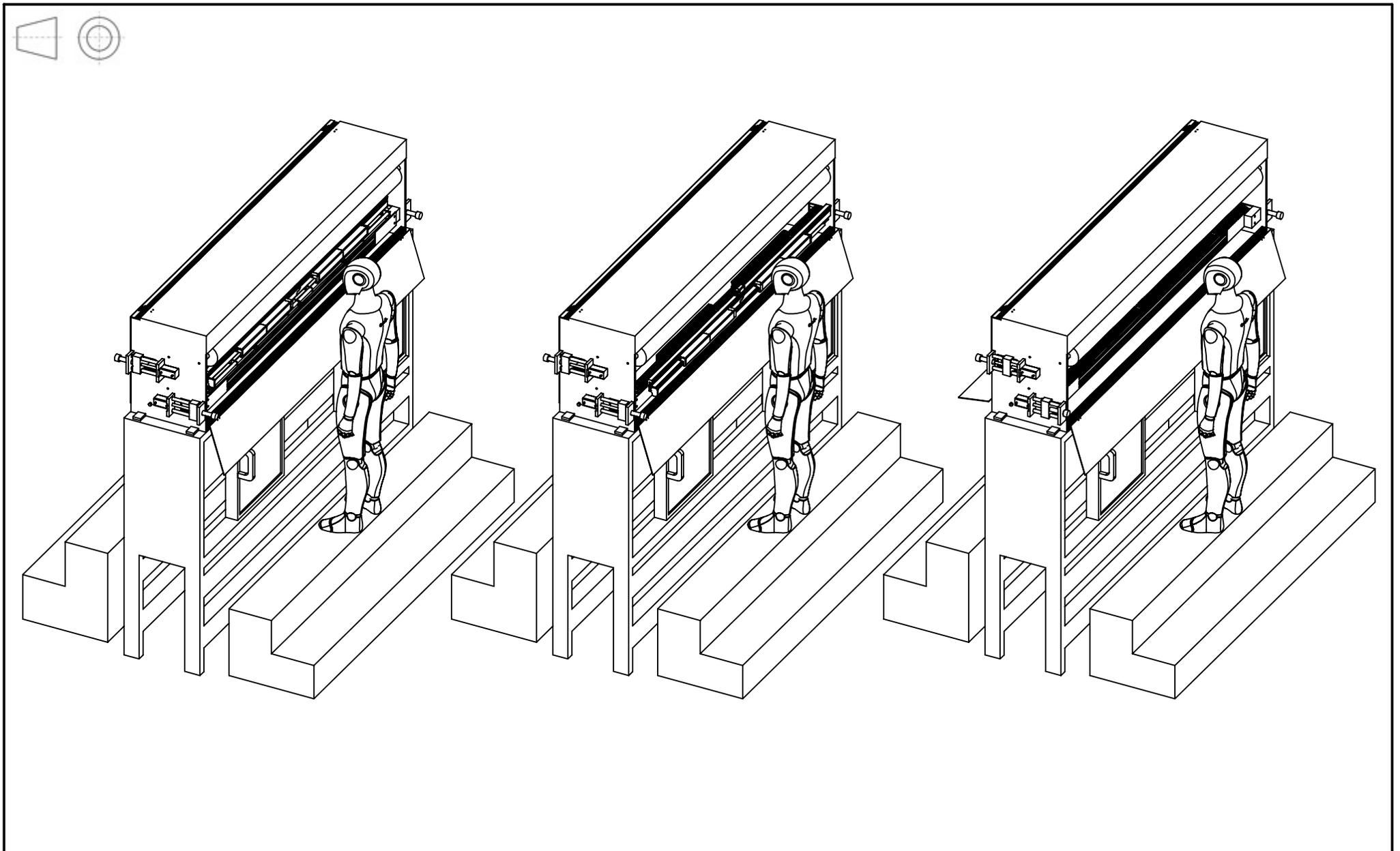
FILME PLÁSTICO



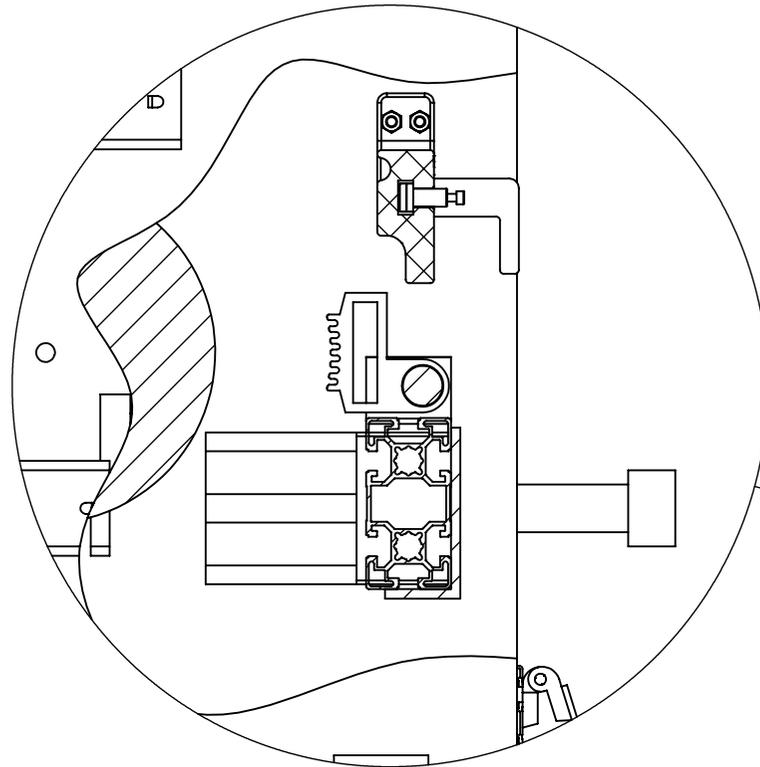
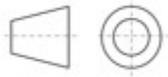
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm	
 centro universitário FEU	ESTAÇÃO DE TRABALHO	Massa: - kg	Data: 07/12/2021	 BLEJS Solução e Desenvolvimento	
		Esc.: 1:100	Prof. Dr. Adalto		



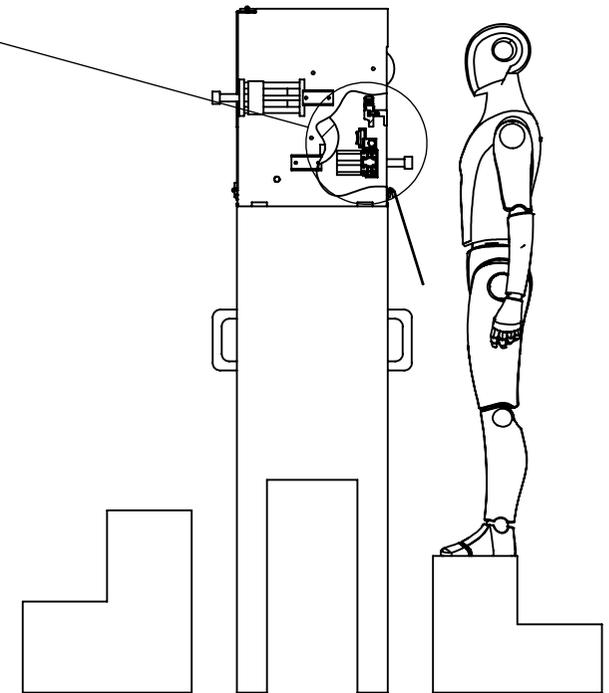
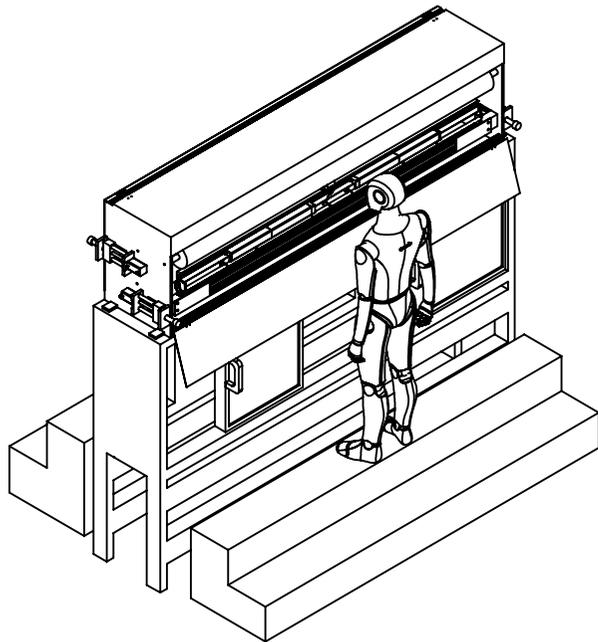
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	Massa: - kg	Data: 07/12/2021	
		Esc.: 1:30	Prof. Dr. Adalto	



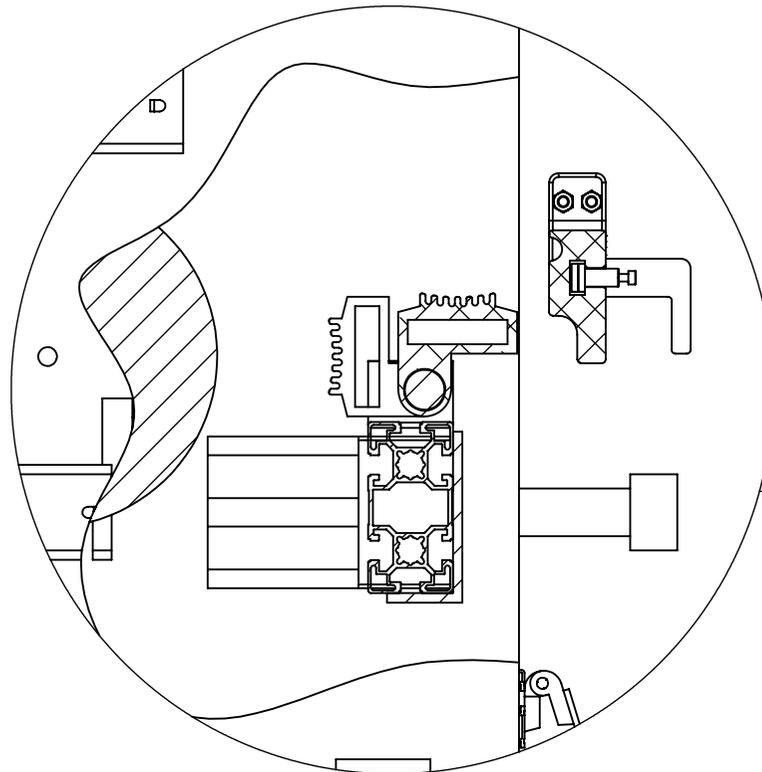
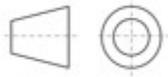
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
	ETAPAS	Massa: - kg	Data: 07/12/2021	
		Esc.: 1:30	Prof. Dr. Adalto	



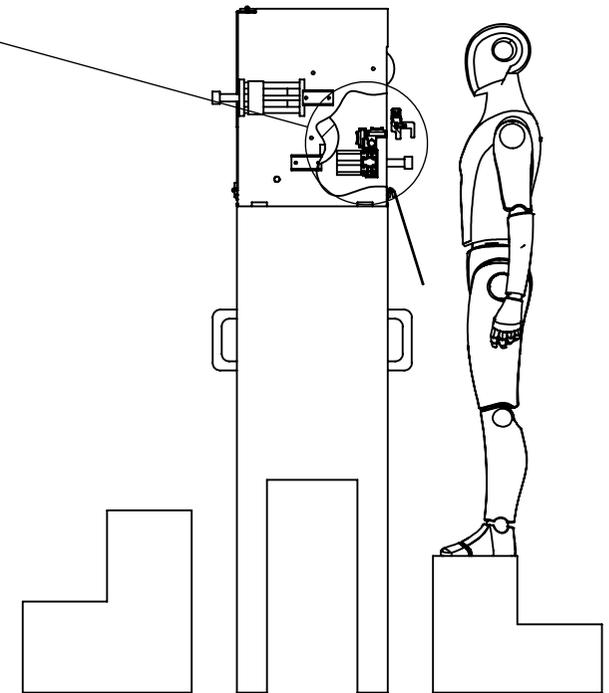
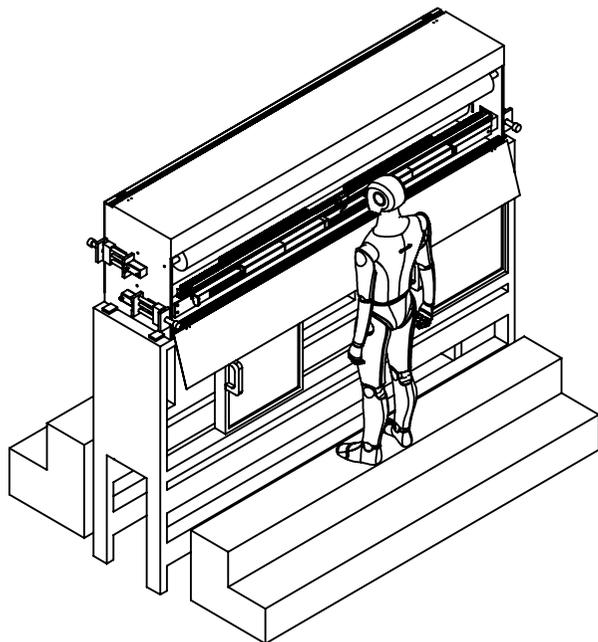
DETALHE A
ESCALA 1 : 4



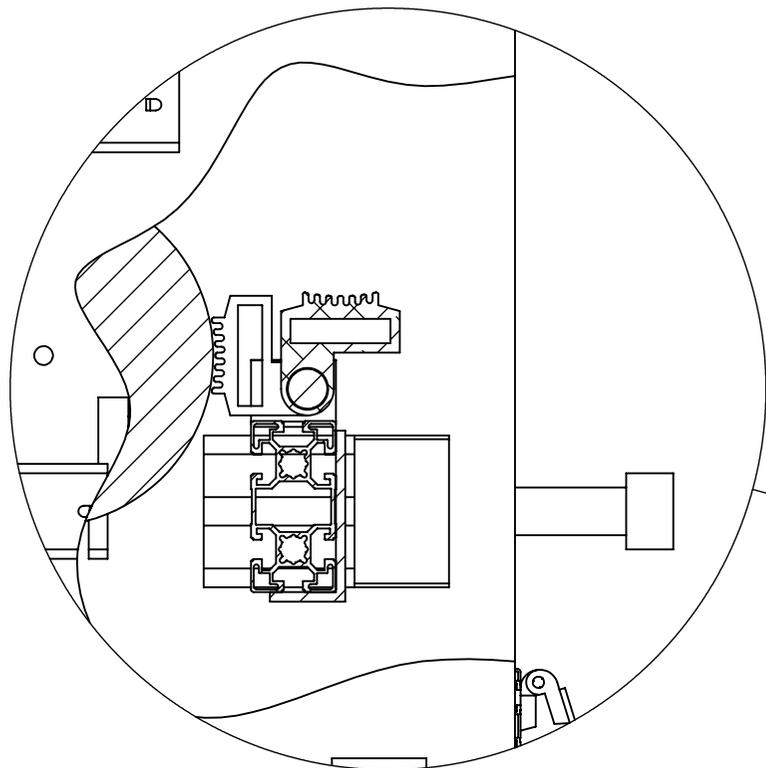
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
 centro universitário FEI	PREPARAÇÃO	Massa: - kg	Data: 07/12/2021	 Solução e Desenvolvimento
		Esc.: 1:25	Prof. Dr. Adalto	



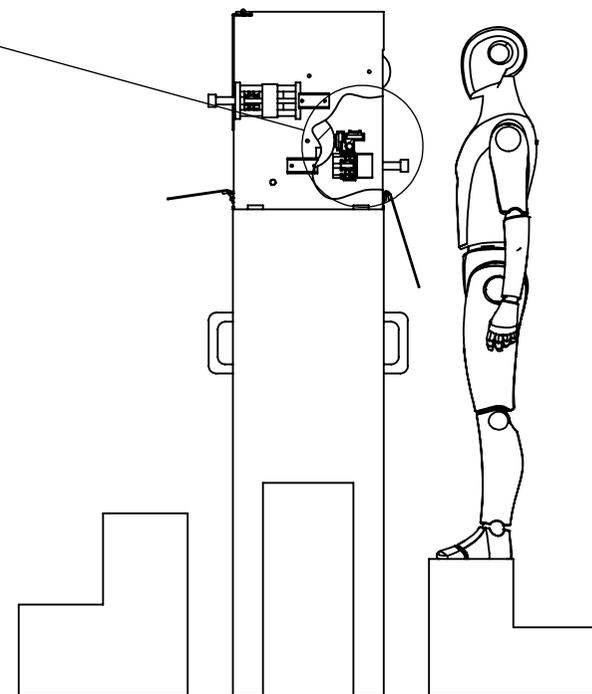
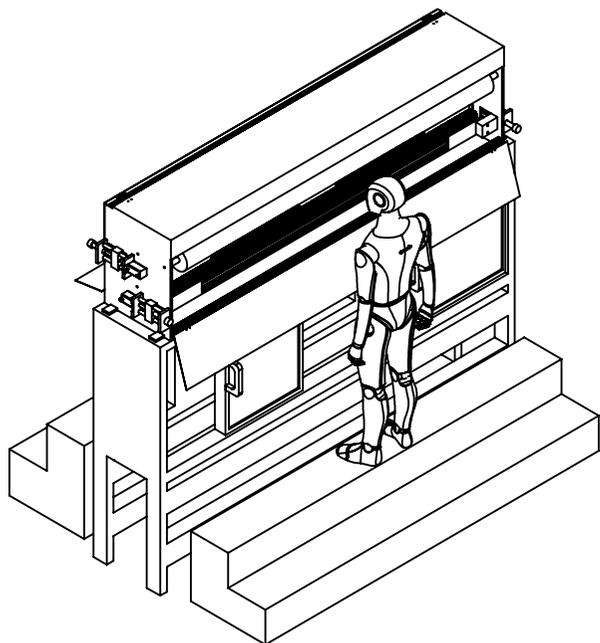
DETALHE B
ESCALA 1 : 4



AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
 centro universitário FEI	SETUP	Massa: - kg	Data: 07/12/2021	 Solução e Desenvolvimento
		Esc.: 1:25	Prof. Dr. Adalto	



DETALHE C
ESCALA 1 : 4



AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F

Unid.:mm



TRATAMENTO

Massa:
- kg

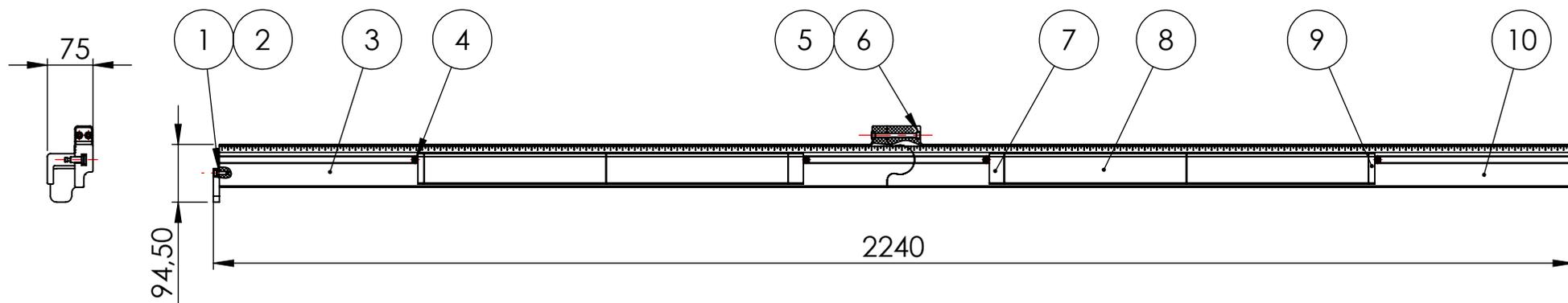
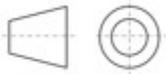
Data:
07/12/2021

BLEJS
Solução e Desenvolvimento

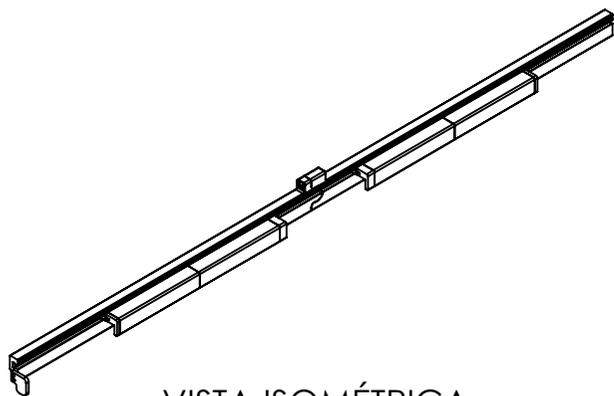
Esc.: 1:25

Prof. Dr. Adalto

T.: 162



Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.
1	TOP	1
2	M5X10 DIN912	2
3	SUPORE A	1
4	TRAVA	4
5	PORCA M6 DIN34	2
6	M6X75 DIN912	2
7	COBERTURA 25MM	2
8	COBERTURA 300MM	4
9	COBERTURA 10MM	2
10	SUPORE B	1



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:20

AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F

Unid.:mm



DISPOSITIVO
MODULAR

Massa:
5.76 kg

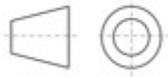
Data:
30/10/2021

BLEJS
Solução e Desenvolvimento

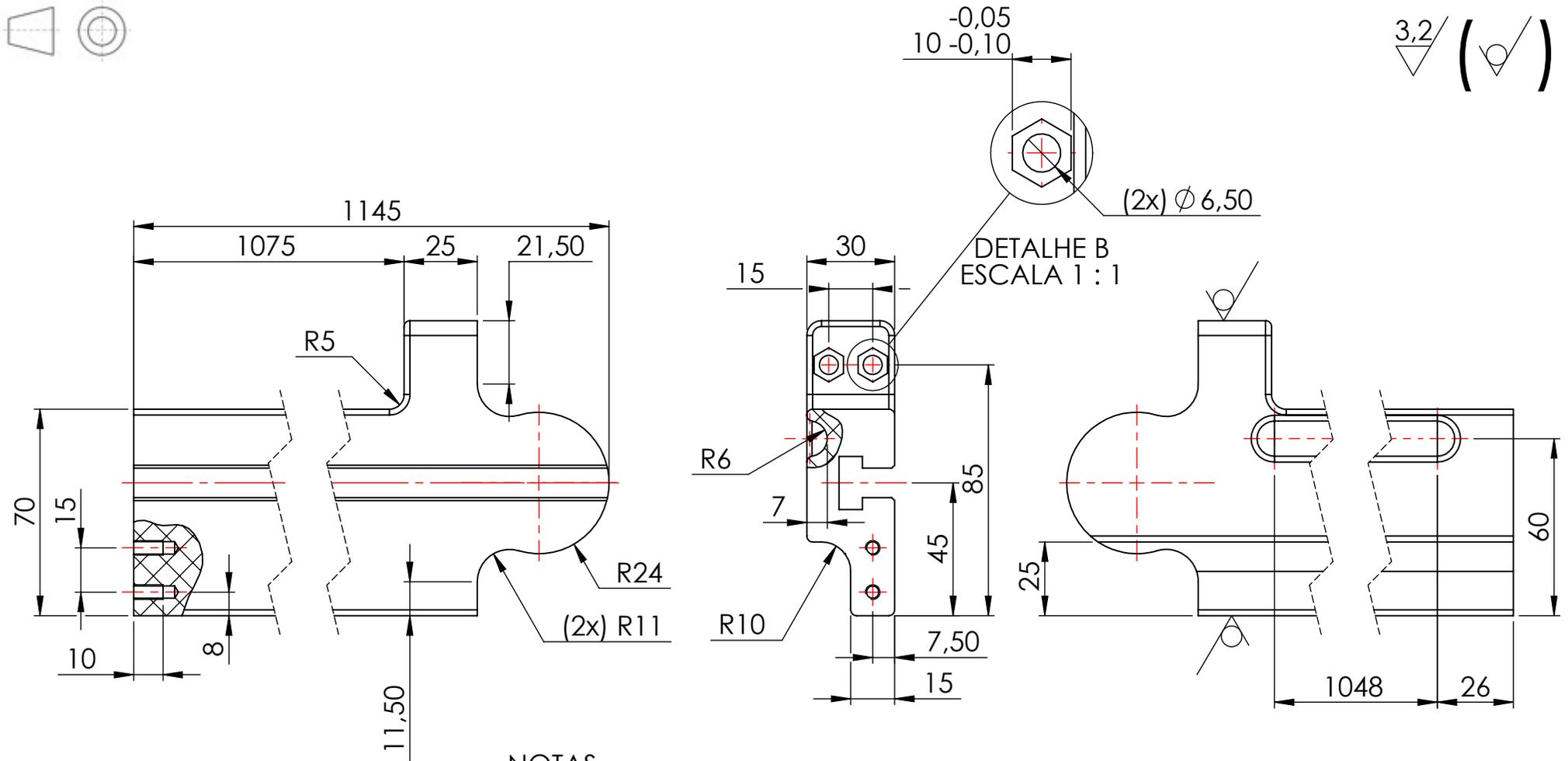
Esc.: 1:10

Prof. Dr. Adalto

T.: 162

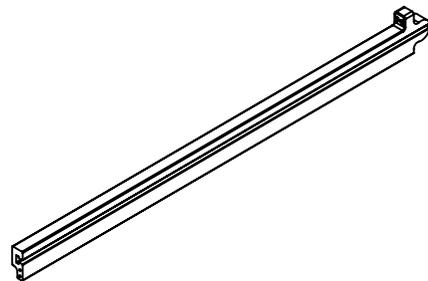


3,2/ (✓)



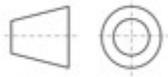
NOTAS

- Rasgo "T" conforme DIN 851 18X8
- Raios não cotados: 2mm
- Remover cantos vivos

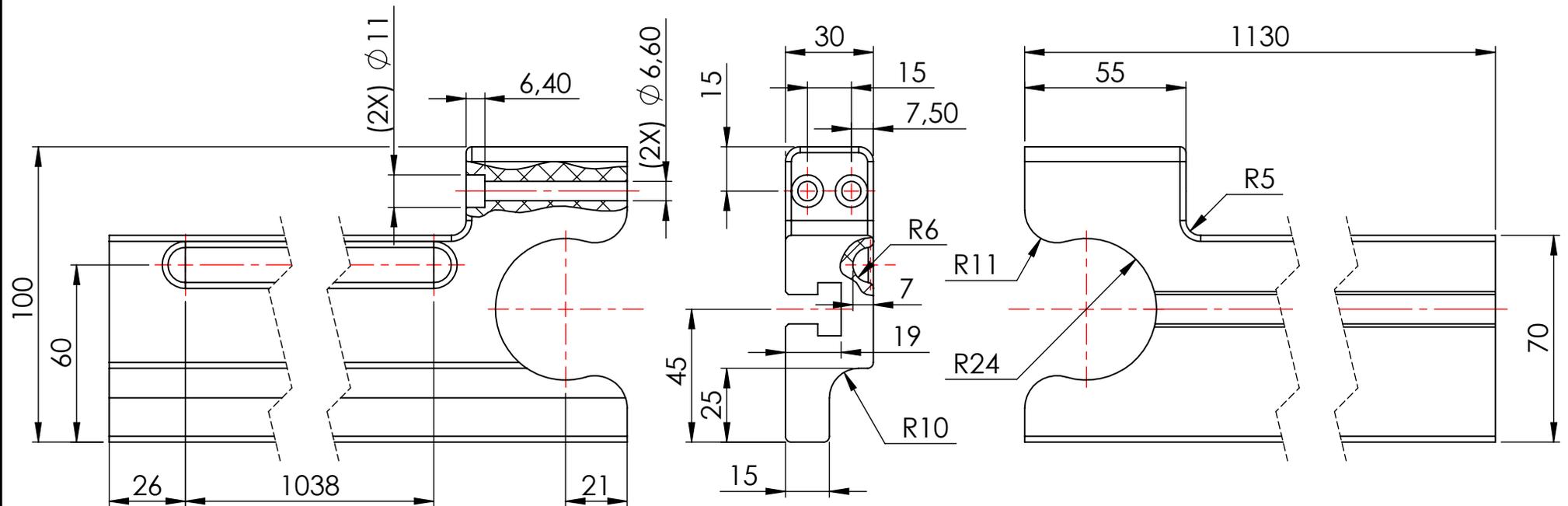


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:15

Nylon Tipo 6 100x40			1150 mm	
MATÉRIA PRIMA			QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
 centro universitário FEI	SUPORTE A	Massa: 1.82 kg	Data: 25/10/2021	 Solução e Desenvolvimento
		Esc.: 1:2	Prof. Dr. Adalto	

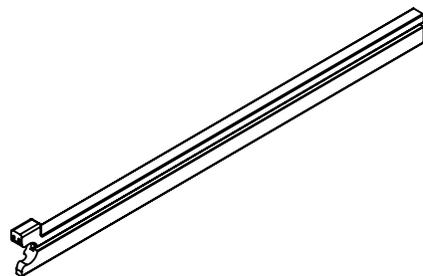


3,2/ (√)



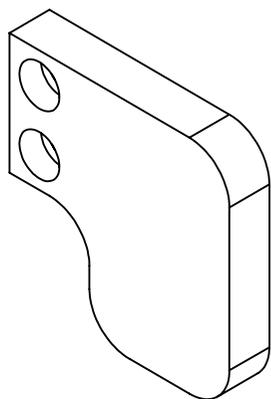
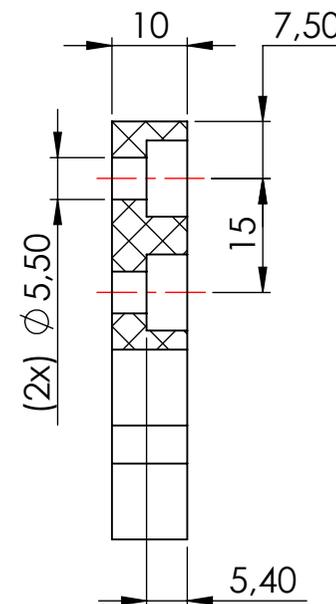
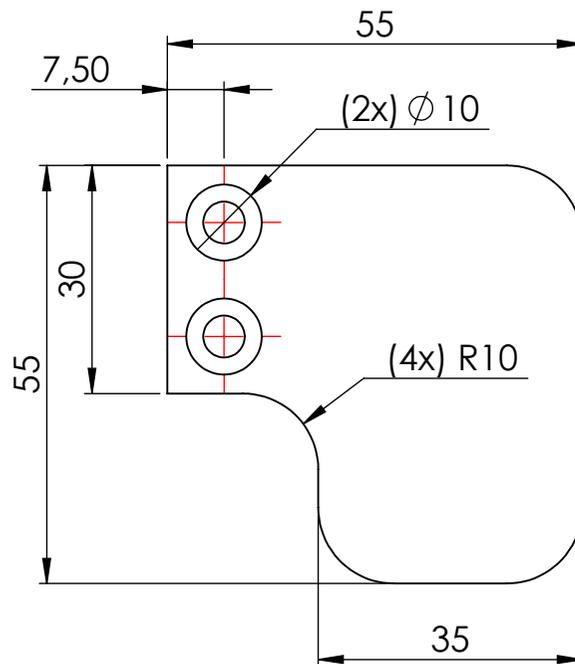
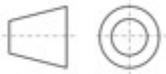
NOTAS

- Rasgo "T" conforme DIN 851 18X8
- Raios não cotados: 2mm
- Remover cantos vivos



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:15

Nylon Tipo 6 100x40mm			1035 mm	
MATÉRIA PRIMA			QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
	SUPORTE B	Massa: 1.80 kg	Data: 25/10/2021	
		Esc.: 1:2	Prof. Dr. Adalto	

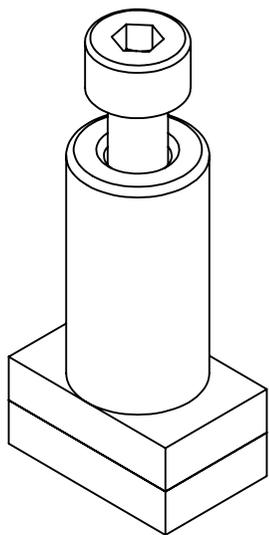
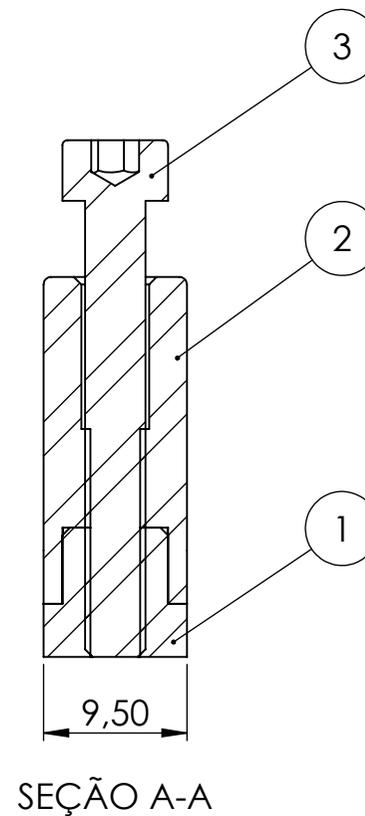
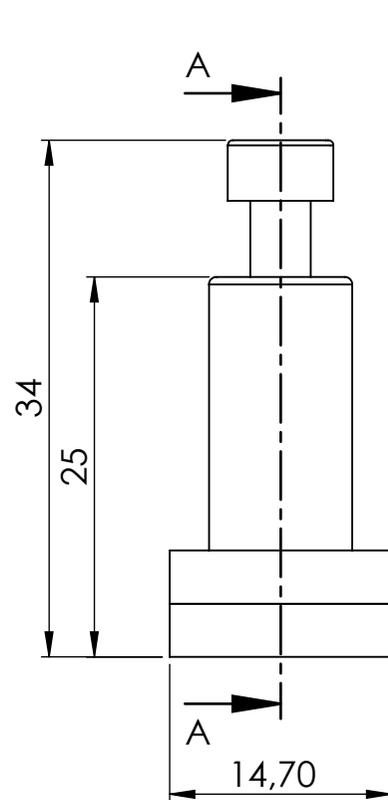
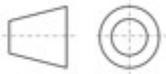


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 3:4

NOTAS

- Remover cantos vivos

Nylon Tipo 6 zzzxyyy mm			15 mm	
MATÉRIA PRIMA			QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
	TOP	Massa: 0.03 kg	Data: 25/10/2021	 Solução e Desenvolvimento
		Esc.: 1:1	Prof. Dr. Adalto	

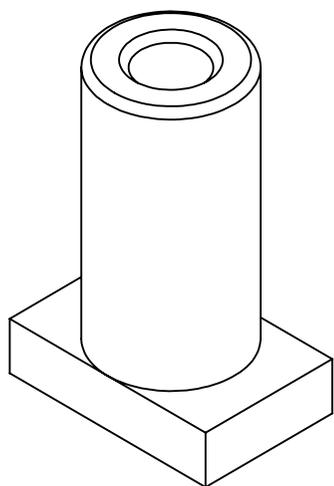
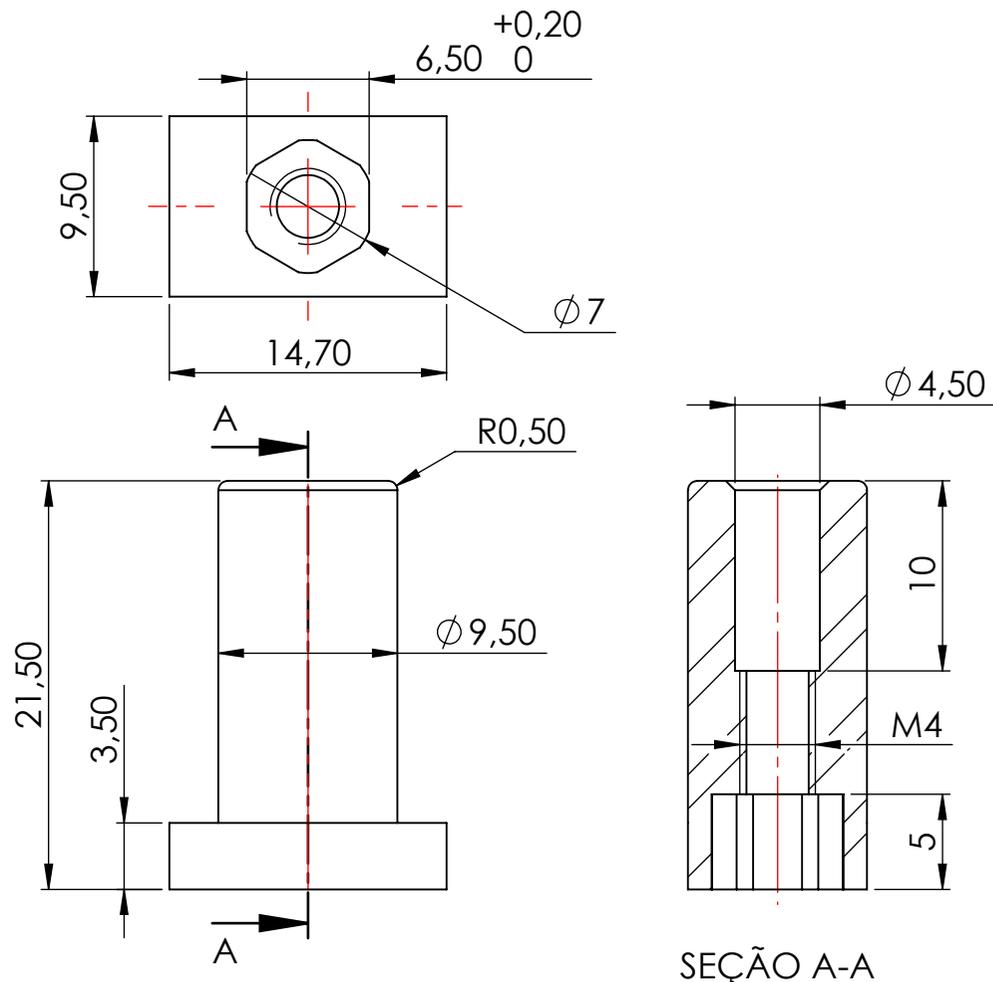


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 2:1

Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BASE DA TRAVA	1
2	CORPO DA TRAVA	1
3	PAF M4x30 - DIN 912	1

AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F Unid.:mm

	TRAVA	Massa: 0.02 kg	Data: 25/10/2021	
		Esc.: 2:1	Prof. Dr. Adalto	

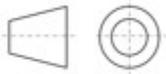


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 5:2

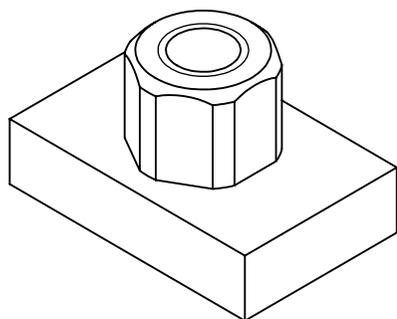
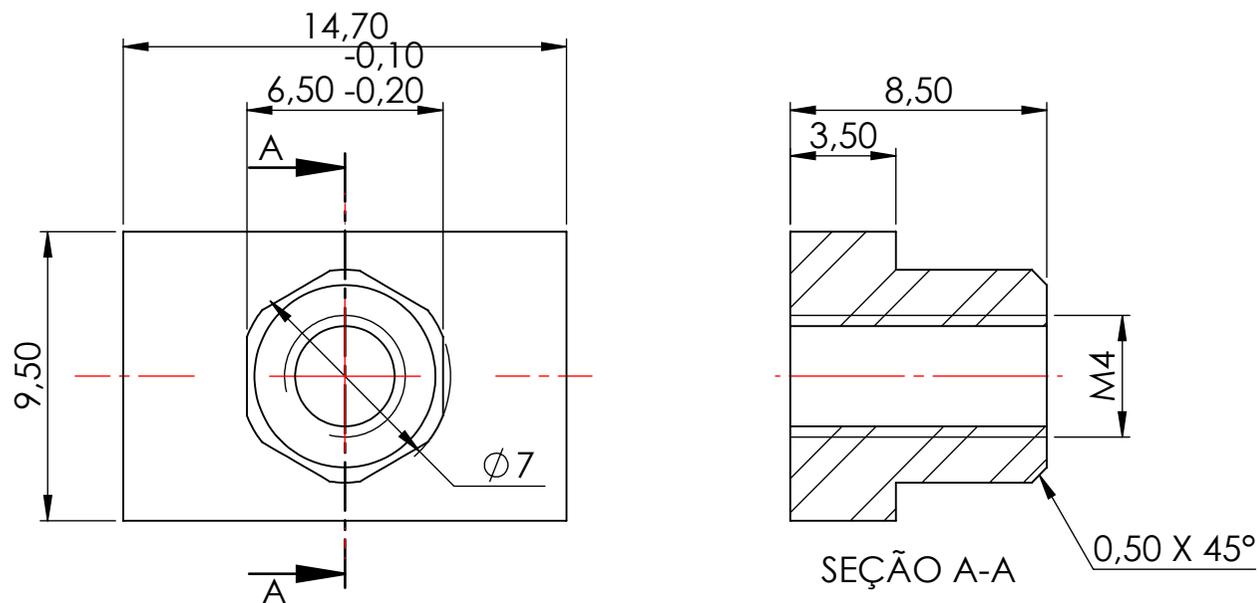
NOTAS

- Remover cantos vivos
- Tratamento superficial: oxidação preta.

Aço SAE 1045 1/2"x5/8"			25 mm	
MATÉRIA PRIMA			QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
	CORPO DA TRAVA	Massa: 10.73 g	Data: 30/10/2021	
		Esc.: 5:2	Prof. Dr. Adalto	



3,2/

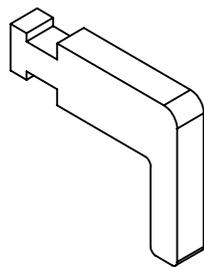
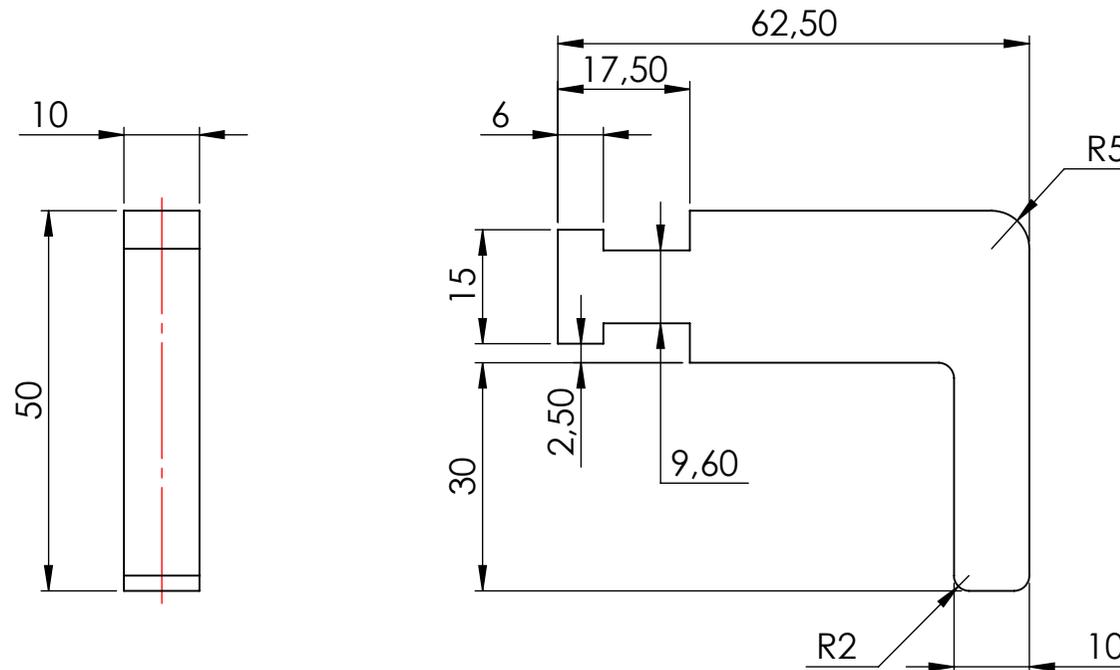
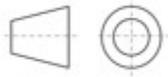


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 3:1

NOTAS

- Remover cantos vivos
- Tratamento superficial: oxidação preta.

Aço SAE 1045 1/2"x5/8"			15 mm	
MATÉRIA PRIMA			QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
	BASE DA TRAVA	Massa: 4.66 g	Data: 25/10/2021	 Solução e Desenvolvimento
		Esc.: 4:1	Prof. Dr. Adalto	

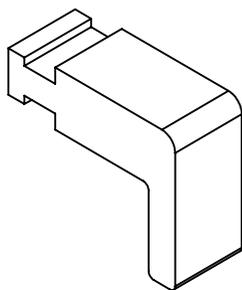
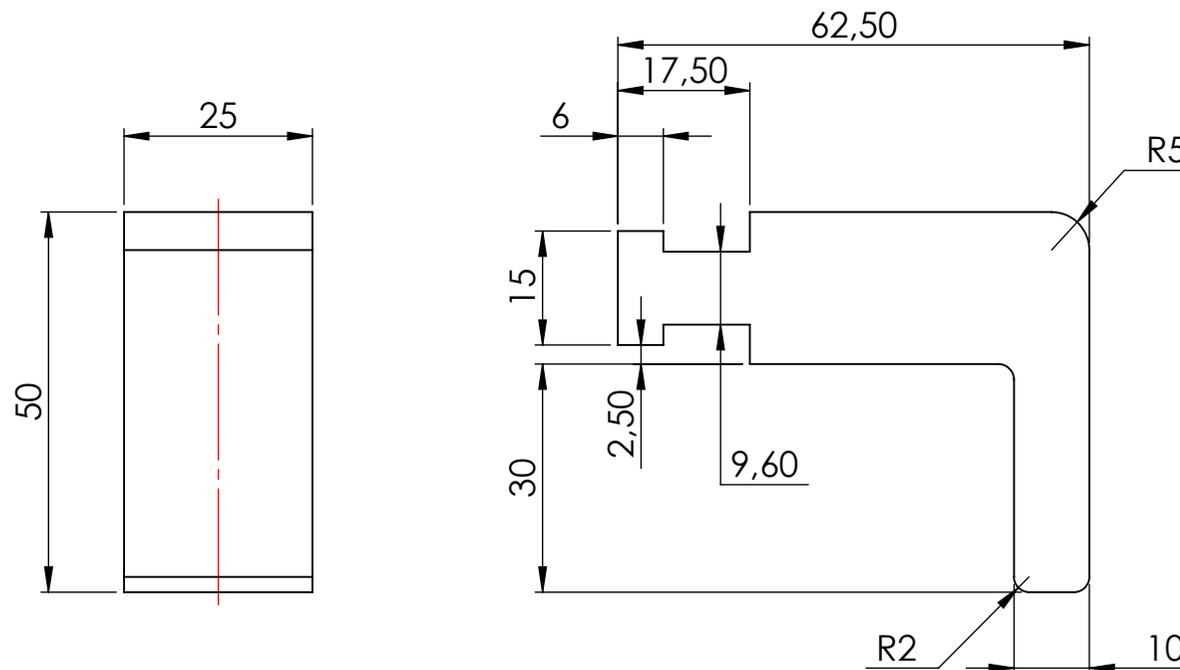
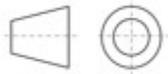


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

NOTAS

1- REMOVER CANTOS VIVOS

Nylon Tipo 6			15mm	
MATÉRIA PRIMA			QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F				Unid.:mm
	COBERTURA 10mm	Massa: 0.02 kg	Data: 25/10/2021	
		Esc.: 1:1	Prof. Dr. Adalto	

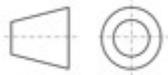


VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

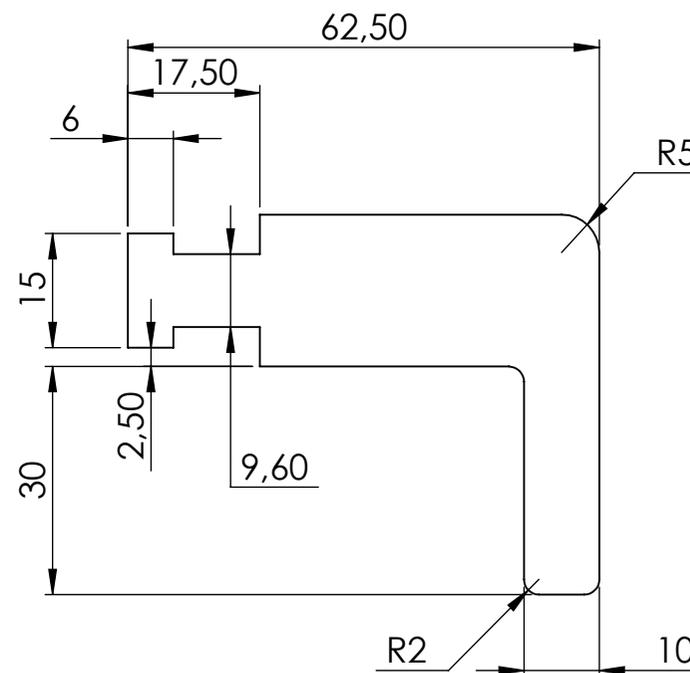
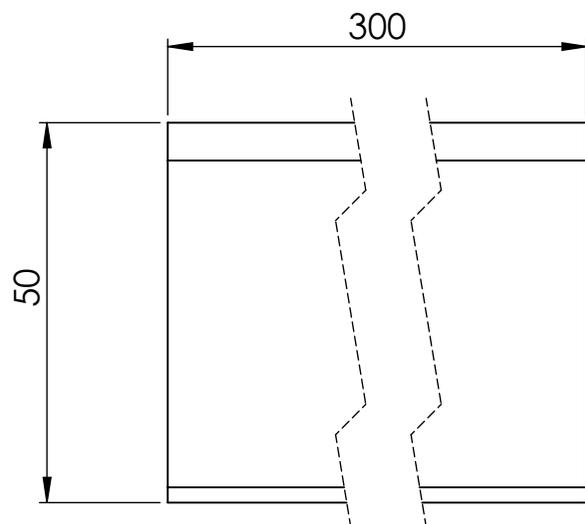
NOTAS

1- Remover cantos vivos

Nylon tipo 6 yyy x zzz mm				30 mm	
MATÉRIA PRIMA				QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F					Unid.:mm
 centro universitário FEI	COBERTURA 25mm	Massa: 0.04 kg	Data: 25/10/2021	 BLEJS Solução e Desenvolvimento	
		Esc.: 1:1	Prof. Dr. Adalto		

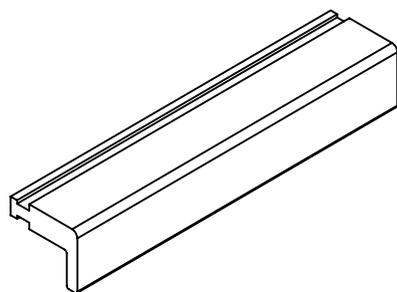


3,2/



NOTAS

1- Remover cantos vivos



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:5

Nylon Tipo 6					
MATÉRIA PRIMA				QUANTIDADE	
AFASTAMENTOS NÃO INDICADOS: CONFORME NBR- ISO 2768-1, GRAU F					Unid.:mm
	COBERTURA 25mm	Massa: 0.47 kg	Data: 25/10/2021		
		Esc.: 1:1	Prof. Dr. Adalto		

APÊNCIDE B – RESULTADOS SIMULAÇÕES ANÁLISE MODAL

RESULTADOS SIMULAÇÃO DE VIBRAÇÃO POR OSCILAÇÃO DE BASE

```

32      64  TARGE170    0.000  0.000000
33      91  CONTA174    0.016  0.000172
34      91  TARGE170    0.000  0.000000
35     350  CONTA174    0.016  0.000045
36     350  TARGE170    0.000  0.000000
37      64  CONTA174    0.000  0.000000
38      64  TARGE170    0.000  0.000000
39     274  CONTA174    0.031  0.000114
40     274  TARGE170    0.016  0.000057
41     202  CONTA174    0.031  0.000155
42     202  TARGE170    0.000  0.000000
43     274  CONTA174    0.047  0.000171
44     274  TARGE170    0.000  0.000000
45     200  CONTA174    0.016  0.000078
46     200  TARGE170    0.000  0.000000
47     163  CONTA174    0.000  0.000000
48     163  TARGE170    0.000  0.000000
49      57  CONTA174    0.000  0.000000
50      57  TARGE170    0.000  0.000000
51      75  CONTA174    0.000  0.000000
52      75  TARGE170    0.000  0.000000
53      57  CONTA174    0.000  0.000000
54      57  TARGE170    0.000  0.000000
55      76  CONTA174    0.000  0.000000
56      76  TARGE170    0.000  0.000000
57      58  CONTA174    0.000  0.000000
58      58  TARGE170    0.000  0.000000
59     882  CONTA174    0.016  0.000018
60     882  TARGE170    0.016  0.000018
61      57  CONTA174    0.000  0.000000
62      57  TARGE170    0.000  0.000000
63     866  CONTA174    0.047  0.000054
64     866  TARGE170    0.016  0.000018
65      58  CONTA174    0.000  0.000000
66      58  TARGE170    0.000  0.000000
67      57  CONTA174    0.000  0.000000
68      57  TARGE170    0.000  0.000000
69     868  CONTA174    0.062  0.000072
70     868  TARGE170    0.016  0.000018
71     890  CONTA174    0.062  0.000070
72     890  TARGE170    0.000  0.000000
73     109  CONTA174    0.000  0.000000
74     109  TARGE170    0.000  0.000000
75     107  CONTA174    0.016  0.000146
76     107  TARGE170    0.000  0.000000
77      88  CONTA174    0.000  0.000000
78      88  TARGE170    0.000  0.000000
79      96  CONTA174    0.016  0.000163
80      96  TARGE170    0.000  0.000000
81     210  CONTA174    0.016  0.000074
82     210  TARGE170    0.000  0.000000

```

Time at end of element matrix formulation CP = 5.375.

```

BLOCK LANCZOS CALCULATION OF UP TO      8 EIGENVECTORS.
NUMBER OF EQUATIONS      =      194541
MAXIMUM WAVEFRONT        =          417
MAXIMUM MODES STORED     =           8
MINIMUM EIGENVALUE       =  0.00000E+00
MAXIMUM EIGENVALUE       =  0.10000E+31

```

```

*** NOTE ***                      CP =      11.000  TIME= 22:14:01
The initial memory allocation (-m) has been exceeded.
Supplemental memory allocations are being used.

```

```

Local memory allocated for solver      = 564.958 MB
Local memory required for in-core solution = 538.503 MB
Local memory required for out-of-core solution = 182.967 MB

Total memory allocated for solver      = 1038.317 MB
Total memory required for in-core solution = 989.705 MB
Total memory required for out-of-core solution = 340.108 MB

```

```

*** NOTE ***                      CP =      11.016  TIME= 22:14:01
The Distributed Sparse Matrix Solver used by the Block Lanczos
eigensolver is currently running in the in-core memory mode. This
memory mode uses the most amount of memory in order to avoid using the
hard drive as much as possible, which most often results in the
fastest solution time. This mode is recommended if enough physical
memory is present to accommodate all of the solver data.

```

```

*** ANSYS - ENGINEERING ANALYSIS SYSTEM  RELEASE 2021 R2      21.2    ***
DISTRIBUTED Ansys Mechanical Enterprise Academic Student

```

```

00000000  VERSION=WINDOWS x64  22:14:12  NOV 05, 2021 CP=      20.578

```

```

An_lise Modal do Dispositivo--Modal (D5)

```

```

*** FREQUENCIES FROM BLOCK LANCZOS ITERATION ***

```

```

MODE      FREQUENCY (HERTZ)

1         355.7935745816
2         677.9154362304
3         683.9837002385
4         736.8393022328
5         871.6505870907
6         876.4891315695
7         1145.137552745
8         1257.471998128

```

```

*** ANSYS - ENGINEERING ANALYSIS SYSTEM  RELEASE 2021 R2      21.2    ***
DISTRIBUTED Ansys Mechanical Enterprise Academic Student

```

```

00000000  VERSION=WINDOWS x64  22:14:12  NOV 05, 2021 CP=      20.906

```

```

An_lise Modal do Dispositivo--Modal (D5)

```

```

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION

MODE  FREQUENCY  PERIOD  PARTIC.FACTOR  RATIO  EFFECTIVE MASS  CUMULATIVE  RATIO EFF.MASS
1     355.794    0.28106E-02  0.13757E-01  1.000000  0.189252E-03  0.410899  0.327104E-01

```

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
2	677.915	0.14751E-02	0.10457E-01	0.760109	0.109343E-03	0.648303	0.188989E-01
3	683.984	0.14620E-02	0.10559E-01	0.767544	0.111493E-03	0.890374	0.192705E-01
4	736.839	0.13571E-02	-0.73824E-03	0.053663	0.544998E-06	0.891557	0.941978E-04
5	871.651	0.11472E-02	-0.44530E-02	0.323693	0.198292E-04	0.934610	0.342730E-02
6	876.489	0.11409E-02	-0.45367E-02	0.329775	0.205814E-04	0.979296	0.355731E-02
7	1145.14	0.87326E-03	0.12112E-04	0.000880	0.146708E-09	0.979296	0.253571E-07
8	1257.47	0.79525E-03	0.30880E-02	0.224471	0.953583E-05	1.00000	0.164818E-02
sum					0.460579E-03		0.796068E-01

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	355.794	0.28106E-02	-0.28284E-02	0.786198	0.799959E-05	0.206341	0.138266E-02
2	677.915	0.14751E-02	-0.35975E-02	1.000000	0.129421E-04	0.540169	0.223692E-02
3	683.984	0.14620E-02	-0.34614E-02	0.962152	0.119810E-04	0.849205	0.207080E-02
4	736.839	0.13571E-02	0.48704E-04	0.013538	0.237211E-08	0.849266	0.409997E-06
5	871.651	0.11472E-02	0.16492E-02	0.458427	0.271985E-05	0.919422	0.470101E-03
6	876.489	0.11409E-02	0.16595E-02	0.461302	0.275407E-05	0.990460	0.476016E-03
7	1145.14	0.87326E-03	0.26201E-03	0.072830	0.686473E-07	0.992231	0.118650E-04
8	1257.47	0.79525E-03	-0.54881E-03	0.152553	0.301194E-06	1.00000	0.520586E-04
sum					0.387688E-04		0.670082E-02

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	355.794	0.28106E-02	-0.13327E-04	0.003615	0.177604E-09	0.961078E-05	0.306973E-07
2	677.915	0.14751E-02	-0.46925E-03	0.127302	0.220195E-06	0.119251E-01	0.380587E-04
3	683.984	0.14620E-02	0.56032E-03	0.152009	0.313958E-06	0.289145E-01	0.542648E-04
4	736.839	0.13571E-02	0.36861E-02	1.000000	0.135874E-04	0.764174	0.234845E-02
5	871.651	0.11472E-02	-0.11721E-02	0.317981	0.137385E-05	0.838518	0.237457E-03
6	876.489	0.11409E-02	0.11747E-02	0.318694	0.138001E-05	0.913195	0.238522E-03
7	1145.14	0.87326E-03	0.12410E-02	0.336676	0.154014E-05	0.996537	0.266199E-03
8	1257.47	0.79525E-03	0.25297E-03	0.068628	0.639941E-07	1.00000	0.110608E-04
sum					0.184797E-04		0.319404E-02

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTX DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	355.794	0.28106E-02	1.5470	0.278470	2.39323	0.576753E-01	0.621827E-03
2	677.915	0.14751E-02	5.5554	1.000000	30.8622	0.801437	0.801887E-02
3	683.984	0.14620E-02	-1.5467	0.278412	2.39224	0.859088	0.621570E-03
4	736.839	0.13571E-02	-0.85289E-01	0.015353	0.727422E-02	0.859263	0.189005E-05
5	871.651	0.11472E-02	-2.3475	0.422571	5.51096	0.992074	0.143190E-02
6	876.489	0.11409E-02	0.54599	0.098281	0.298106	0.999258	0.774562E-04
7	1145.14	0.87326E-03	-0.15716	0.028290	0.246996E-01	0.999853	0.641764E-05
8	1257.47	0.79525E-03	-0.77978E-01	0.014036	0.608055E-02	1.00000	0.157990E-05
sum					41.4948		0.107815E-01

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTY DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	355.794	0.28106E-02	7.5273	0.462021	56.6606	0.147149	0.147355E-01
2	677.915	0.14751E-02	16.292	1.000000	265.435	0.836488	0.690306E-01
3	683.984	0.14620E-02	-4.8792	0.299483	23.8068	0.898315	0.619135E-02
4	736.839	0.13571E-02	-1.4306	0.087812	2.04673	0.903630	0.532286E-03
5	871.651	0.11472E-02	-5.8659	0.360044	34.4087	0.992990	0.894854E-02
6	876.489	0.11409E-02	1.0148	0.062288	1.02985	0.995665	0.267829E-03
7	1145.14	0.87326E-03	-0.96588	0.059285	0.932916	0.998088	0.242620E-03
8	1257.47	0.79525E-03	-0.85808	0.052668	0.736297	1.00000	0.191486E-03
sum					385.057		0.100140

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTZ DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	355.794	0.28106E-02	-1.1499	1.000000	1.32221	0.496164	0.721742E-01
2	677.915	0.14751E-02	-0.73839	0.642151	0.545224	0.700760	0.297616E-01
3	683.984	0.14620E-02	-0.74021	0.643727	0.547904	0.906363	0.299079E-01
4	736.839	0.13571E-02	0.74615E-02	0.006489	0.556747E-04	0.906384	0.303905E-05
5	871.651	0.11472E-02	0.31771	0.276296	0.100937	0.944261	0.550975E-02
6	876.489	0.11409E-02	0.32272	0.280652	0.104145	0.983341	0.568486E-02
7	1145.14	0.87326E-03	0.30705E-02	0.002670	0.942827E-05	0.983345	0.514651E-06
8	1257.47	0.79525E-03	-0.21068	0.183216	0.443841E-01	1.00000	0.242275E-02
sum					2.66487		0.145465

*** NOTE *** CP = 20.906 TIME= 22:14:12
 The modes requested are mass normalized (Nrmkey on MODOPT). However, the modal masses and kinetic energies below are calculated with unit normalized modes.

***** MODAL MASSES, KINETIC ENERGIES, AND TRANSLATIONAL EFFECTIVE MASSES SUMMARY *****

MODE	FREQUENCY	MODAL MASS	KENE	X-Dir	RATIO%	Y-Dir	RATIO%	Z-Dir	RATIO%
1	355.8	0.8228E-04	205.6	0.1893E-03	3.27	0.8000E-05	0.14	0.1776E-09	0.00
2	677.9	0.4747E-04	430.6	0.1093E-03	1.89	0.1294E-04	0.22	0.2202E-06	0.00
3	684.0	0.4718E-04	435.7	0.1115E-03	1.93	0.1198E-04	0.21	0.3140E-06	0.01
4	736.8	0.5117E-05	54.84	0.5450E-06	0.01	0.2372E-08	0.00	0.1359E-04	0.23
5	871.7	0.4527E-04	678.9	0.1983E-04	0.34	0.2720E-05	0.05	0.1374E-05	0.02
6	876.5	0.4541E-04	688.6	0.2058E-04	0.36	0.2754E-05	0.05	0.1380E-05	0.02
7	1145.5	0.9238E-04	2391.	0.1467E-09	0.00	0.6865E-07	0.00	0.1540E-05	0.03
8	1257.	0.4604E-04	1437.	0.9536E-05	0.16	0.3012E-06	0.01	0.6399E-07	0.00
sum				0.4606E-03	7.96	0.3877E-04	0.67	0.1848E-04	0.32

RESULTADOS SIMULAÇÃO DE VIBRAÇÃO POR OSCILAÇÃO DE BASE
POSIÇÃO CENTRAL

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	8.10256	0.12342	0.38793E-02	0.060769	0.150489E-04	0.299716E-02	0.260353E-02
2	9.01519	0.11092	0.62891E-02	0.098518	0.395524E-04	0.108744E-01	0.684274E-02
3	10.3104	0.96989E-01	0.63836E-01	1.000000	0.407510E-02	0.822474	0.705010
4	14.7849	0.67636E-01	-0.47377E-02	0.074216	0.224460E-04	0.826944	0.388326E-02
5	36.8519	0.27136E-01	-0.45892E-02	0.071889	0.210605E-04	0.831138	0.364356E-02
6	40.4368	0.24730E-01	-0.29118E-01	0.456136	0.847866E-03	1.00000	0.146685
sum					0.502107E-02		0.868668

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	8.10256	0.12342	0.10179E-02	0.016879	0.103604E-05	0.281016E-03	0.179240E-03
2	9.01519	0.11092	0.15924E-02	0.026406	0.253579E-05	0.968824E-03	0.438703E-03
3	10.3104	0.96989E-01	0.42433E-02	0.070364	0.180053E-04	0.585259E-02	0.311500E-02
4	14.7849	0.67636E-01	0.60304E-01	1.000000	0.363661E-02	0.992247	0.629150
5	36.8519	0.27136E-01	-0.13824E-02	0.022925	0.191116E-05	0.992765	0.330639E-03
6	40.4368	0.24730E-01	-0.51646E-02	0.085643	0.266736E-04	1.00000	0.461465E-02
sum					0.368677E-02		0.637828

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	8.10256	0.12342	-0.22866E-02	0.266145	0.522874E-05	0.382209E-01	0.904595E-03
2	9.01519	0.11092	0.85917E-02	1.000000	0.738179E-04	0.577813	0.127708E-01
3	10.3104	0.96989E-01	-0.78214E-03	0.091034	0.611748E-06	0.582285	0.105835E-03
4	14.7849	0.67636E-01	-0.20955E-03	0.024390	0.439115E-07	0.582606	0.759689E-05
5	36.8519	0.27136E-01	-0.70377E-02	0.819119	0.495285E-04	0.944648	0.856865E-02
6	40.4368	0.24730E-01	0.27518E-02	0.320284	0.757238E-05	1.00000	0.131006E-02
sum					0.136803E-03		0.236676E-01

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTX DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	8.10256	0.12342	2.5614	0.056606	6.56098	0.207905E-02	0.170473E-02
2	9.01519	0.11092	-45.250	1.000000	2047.58	0.650919	0.532018
3	10.3104	0.96989E-01	1.8817	0.041585	3.54096	0.652041	0.920039E-03
4	14.7849	0.67636E-01	-32.959	0.728377	1086.31	0.996272	0.282253
5	36.8519	0.27136E-01	-0.74381	0.016438	0.553260	0.996447	0.143752E-03
6	40.4368	0.24730E-01	3.3485	0.073999	11.2123	1.00000	0.291327E-02
sum					3155.75		0.819952

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTY DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	8.10256	0.12342	47.355	1.000000	2242.46	0.620508	0.583183
2	9.01519	0.11092	6.3072	0.133190	39.7802	0.631516	0.103454E-01
3	10.3104	0.96989E-01	32.609	0.688620	1063.37	0.925760	0.276544
4	14.7849	0.67636E-01	-3.2565	0.068768	10.6046	0.928694	0.275788E-02
5	36.8519	0.27136E-01	-1.5469	0.032666	2.39285	0.929356	0.622294E-03
6	40.4368	0.24730E-01	-15.978	0.337414	255.301	1.00000	0.663945E-01
sum					3613.91		0.939846

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTZ DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	8.10256	0.12342	-0.96836E-01	0.042011	0.937715E-02	0.979749E-03	0.512756E-03
2	9.01519	0.11092	-0.18250	0.079176	0.333075E-01	0.445981E-02	0.182130E-02
3	10.3104	0.96989E-01	-2.3050	1.000000	5.31316	0.559592	0.290531
4	14.7849	0.67636E-01	1.8139	0.786934	3.29026	0.903367	0.179916
5	36.8519	0.27136E-01	0.17811	0.077272	0.317249E-01	0.906681	0.173476E-02
6	40.4368	0.24730E-01	0.94507	0.410002	0.893149	1.00000	0.488386E-01
sum					9.57097		0.523354

*** NOTE *** CP = 14.734 TIME= 20:01:42
 The modes requested are mass normalized (Nrmkey on MODOPT). However, the modal masses and kinetic energies below are calculated with unit normalized modes.

***** MODAL MASSES, KINETIC ENERGIES, AND TRANSLATIONAL EFFECTIVE MASSES SUMMARY *****

MODE	FREQUENCY	MODAL MASS	KENE	EFFECTIVE MASS						
				X-DIR	RATIO%	Y-DIR	RATIO%	Z-DIR	RATIO%	
1	8.103	0.1536E-02	1.991		0.1505E-04	0.26	0.1036E-05	0.02	0.5229E-05	0.09
2	9.015	0.1752E-02	2.810		0.3955E-04	0.68	0.2536E-05	0.04	0.7382E-04	1.28
3	10.31	0.1220E-02	2.560		0.4075E-02	70.50	0.1801E-04	0.31	0.6117E-06	0.01
4	14.78	0.1159E-02	5.003		0.2245E-04	0.39	0.3637E-02	62.91	0.4391E-07	0.00
5	36.85	0.5001E-03	13.41		0.2106E-04	0.36	0.1911E-05	0.03	0.4953E-04	0.86
6	40.44	0.4242E-03	13.69		0.8479E-03	14.67	0.2667E-04	0.46	0.7572E-05	0.13
sum					0.5021E-02	86.87	0.3687E-02	63.78	0.1368E-03	2.37

*** ANSYS BINARY FILE STATISTICS
 BUFFER SIZE USED= 16384
 29.688 MB WRITTEN ON ELEMENT SAVED DATA FILE: file0.esav
 70.250 MB WRITTEN ON ASSEMBLED MATRIX FILE: file0.full
 7.312 MB WRITTEN ON MODAL MATRIX FILE: file0.mode
 11.938 MB WRITTEN ON RESULTS FILE: file0.rst

RESULTADOS SIMULAÇÃO DE VIBRAÇÃO POR OSCILAÇÃO DE BASE
POSIÇÃO 200 MM

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	11.0201	0.90743E-01	0.43856E-02	0.080205	0.192334E-04	0.551887E-02	0.332749E-02
2	11.5158	0.86837E-01	0.53062E-03	0.009704	0.281558E-06	0.559966E-02	0.487111E-04
3	15.3317	0.65224E-01	0.20561E-01	0.376029	0.422759E-03	0.126907	0.731398E-01
4	15.8723	0.63003E-01	0.54680E-01	1.000000	0.298986E-02	0.984823	0.517263
5	44.2687	0.22589E-01	-0.56122E-02	0.102638	0.314967E-04	0.993860	0.544912E-02
6	46.1685	0.21660E-01	-0.46256E-02	0.084595	0.213966E-04	1.00000	0.370173E-02
sum					0.348502E-02		0.602930

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	11.0201	0.90743E-01	-0.61386E-03	0.256212	0.376821E-06	0.264543E-01	0.651923E-04
2	11.5158	0.86837E-01	0.16063E-02	0.670419	0.258005E-05	0.207584	0.446364E-03
3	15.3317	0.65224E-01	0.15227E-02	0.635533	0.231853E-05	0.370354	0.401119E-03
4	15.8723	0.63003E-01	-0.52278E-03	0.218199	0.273302E-06	0.389540	0.472828E-04
5	44.2687	0.22589E-01	0.17191E-02	0.717507	0.295521E-05	0.597007	0.511269E-03
6	46.1685	0.21660E-01	-0.23959E-02	1.000000	0.574032E-05	1.00000	0.993109E-03
sum					0.142442E-04		0.246434E-02

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTX DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	11.0201	0.90743E-01	-4.0930	0.077182	16.7524	0.545763E-02	0.435419E-02
2	11.5158	0.86837E-01	1.2358	0.023303	1.52713	0.595514E-02	0.396921E-03
3	15.3317	0.65224E-01	-53.030	1.000000	2812.23	0.922127	0.730937
4	15.8723	0.63003E-01	-14.781	0.278726	218.477	0.993303	0.567852E-01
5	44.2687	0.22589E-01	4.4613	0.084127	19.9029	0.999787	0.517304E-02
6	46.1685	0.21660E-01	0.80802	0.015237	0.652902	1.00000	0.169698E-03
sum					3069.54		0.797816

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTY DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	11.0201	0.90743E-01	48.330	1.000000	2335.84	0.684692	0.607668
2	11.5158	0.86837E-01	-29.396	0.608227	864.121	0.937988	0.224801
3	15.3317	0.65224E-01	-3.8027	0.078681	14.4604	0.942227	0.376187E-02
4	15.8723	0.63003E-01	-2.0768	0.042970	4.31292	0.943491	0.112201E-02
5	44.2687	0.22589E-01	-12.971	0.268380	168.245	0.992808	0.437689E-01
6	46.1685	0.21660E-01	-4.9534	0.102490	24.5362	1.00000	0.638308E-02
sum					3411.51		0.887504

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTZ DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	11.0201	0.90743E-01	-2.0340	1.000000	4.13732	0.495232	0.226249
2	11.5158	0.86837E-01	-0.85851	0.422072	0.737044	0.583455	0.403051E-01
3	15.3317	0.65224E-01	0.66951	0.329153	0.448245	0.637110	0.245122E-01
4	15.8723	0.63003E-01	1.5989	0.786077	2.55652	0.943122	0.139803
5	44.2687	0.22589E-01	0.56484	0.277693	0.319043	0.981311	0.174468E-01
6	46.1685	0.21660E-01	0.39514	0.194261	0.156132	1.00000	0.853805E-02
sum					8.35431		0.456854

*** NOTE *** CP = 14.250 TIME= 20:11:30
 The modes requested are mass normalized (Nrmkey on MODOPT). However, the modal masses and kinetic energies below are calculated with unit normalized modes.

***** MODAL MASSES, KINETIC ENERGIES, AND TRANSLATIONAL EFFECTIVE MASSES SUMMARY *****

MODE	FREQUENCY	MODAL MASS	KENE	EFFECTIVE MASS					
				X-DIR	RATIO%	Y-DIR	RATIO%	Z-DIR	RATIO%
1	11.02	0.7724E-03	1.852	0.3278E-02	56.71	0.1923E-04	0.33	0.3768E-06	0.01
2	11.52	0.7108E-03	1.861	0.5024E-03	8.69	0.2816E-06	0.00	0.2580E-05	0.04
3	15.33	0.6988E-03	3.242	0.7881E-05	0.14	0.4228E-03	7.31	0.2319E-05	0.04
4	15.87	0.6660E-03	3.312	0.1334E-04	0.23	0.2990E-02	51.73	0.2733E-06	0.00
5	44.27	0.2488E-03	9.626	0.3529E-03	6.11	0.3150E-04	0.54	0.2955E-05	0.05
6	46.17	0.2196E-03	9.239	0.2389E-03	4.13	0.2140E-04	0.37	0.5740E-05	0.10
sum				0.4394E-02	76.01	0.3485E-02	60.29	0.1424E-04	0.25

*** ANSYS BINARY FILE STATISTICS
 BUFFER SIZE USED= 16384
 29.500 MB WRITTEN ON ELEMENT SAVED DATA FILE: file0.esav
 69.312 MB WRITTEN ON ASSEMBLED MATRIX FILE: file0.full
 7.000 MB WRITTEN ON MODAL MATRIX FILE: file0.mode
 11.938 MB WRITTEN ON RESULTS FILE: file0.rst
 ***** Write FE CONNECTORS *****

WRITE OUT CONSTRAINT EQUATIONS TO FILE= file.ce

*GET _NMODALSOLPROC FROM ACTI ITEM=NUMC VALUE= 2.00000000

FINISH SOLUTION PROCESSING

***** ROUTINE COMPLETED ***** CP = 14.859

RESULTADOS SIMULAÇÃO DE VIBRAÇÃO POR OSCILAÇÃO DE BASE
POSIÇÃO 400 MM

MINIMUM EIGENVALUE = 0.0000E+00
 MAXIMUM EIGENVALUE = 0.1000E+31

*** NOTE *** CP = 7.969 TIME= 20:14:57
 The initial memory allocation (-m) has been exceeded.
 Supplemental memory allocations are being used.

Local memory allocated for solver = 558.363 MB
 Local memory required for in-core solution = 532.179 MB
 Local memory required for out-of-core solution = 144.685 MB

Total memory allocated for solver = 1054.666 MB
 Total memory required for in-core solution = 1005.227 MB
 Total memory required for out-of-core solution = 271.361 MB

*** NOTE *** CP = 7.969 TIME= 20:14:57
 The Distributed Sparse Matrix Solver used by the Block Lanczos eigensolver is currently running in the in-core memory mode. This memory mode uses the most amount of memory in order to avoid using the hard drive as much as possible, which most often results in the fastest solution time. This mode is recommended if enough physical memory is present to accommodate all of the solver data.

*** ANSYS - ENGINEERING ANALYSIS SYSTEM RELEASE 2019 R3 19.5 ***
 DISTRIBUTED ANSYS Mechanical Enterprise

99000002 VERSION=WINDOWS x64 20:15:03 SEP 27, 2021 CP= 13.359

unsaved_project--Modal (C5)

*** FREQUENCIES FROM BLOCK LANCZOS ITERATION ***

MODE FREQUENCY (HERTZ)

1 12.70092906974
 2 14.64121132406
 3 17.74539797088
 4 18.09344110501
 5 48.87550870430
 6 51.21756166385

*** ANSYS - ENGINEERING ANALYSIS SYSTEM RELEASE 2019 R3 19.5 ***
 DISTRIBUTED ANSYS Mechanical Enterprise

99000002 VERSION=WINDOWS x64 20:15:03 SEP 27, 2021 CP= 13.625

unsaved_project--Modal (C5)

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	12.7009	0.78734E-01	0.55926E-01	1.000000	0.312775E-02	0.864016	0.541147
2	14.6412	0.68300E-01	0.42792E-02	0.076515	0.183116E-04	0.869074	0.316818E-02
3	17.7454	0.56353E-01	-0.37904E-02	0.067776	0.143675E-04	0.873043	0.248579E-02
4	18.0934	0.55269E-01	-0.18724E-02	0.033480	0.350600E-05	0.874011	0.606590E-03
5	48.8755	0.20460E-01	-0.18757E-01	0.335396	0.351841E-03	0.971205	0.608738E-01
6	51.2176	0.19525E-01	-0.10210E-01	0.182558	0.104240E-03	1.00000	0.180350E-01
sum					0.362002E-02		0.626317

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	12.7009	0.78734E-01	0.40718E-02	0.088600	0.165797E-04	0.554232E-02	0.286854E-02
2	14.6412	0.68300E-01	-0.52539E-03	0.011432	0.276038E-06	0.563459E-02	0.477586E-04
3	17.7454	0.56353E-01	0.45958E-01	1.000000	0.211210E-02	0.711672	0.365425
4	18.0934	0.55269E-01	0.28764E-01	0.625878	0.827358E-03	0.988243	0.143145
5	48.8755	0.20460E-01	-0.52045E-02	0.113247	0.270872E-04	0.997298	0.468649E-02
6	51.2176	0.19525E-01	-0.28431E-02	0.061863	0.808309E-05	1.00000	0.139849E-02
sum					0.299148E-02		0.517571

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	12.7009	0.78734E-01	-0.10231E-03	0.045109	0.104665E-07	0.804242E-03	0.181087E-05
2	14.6412	0.68300E-01	0.12933E-02	0.570252	0.167266E-05	0.129331	0.289396E-03
3	17.7454	0.56353E-01	0.12448E-02	0.548870	0.154958E-05	0.248399	0.268100E-03
4	18.0934	0.55269E-01	-0.18983E-02	0.837005	0.360355E-05	0.525294	0.623468E-03
5	48.8755	0.20460E-01	0.10170E-02	0.448402	0.103421E-05	0.604762	0.178934E-03
6	51.2176	0.19525E-01	-0.22680E-02	1.000000	0.514369E-05	1.00000	0.889934E-03
sum					0.130142E-04		0.225164E-02

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTX DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	12.7009	0.78734E-01	-3.0222	0.062372	9.13372	0.323769E-02	0.237396E-02
2	14.6412	0.68300E-01	5.4789	0.113072	30.0181	0.138784E-01	0.780205E-02
3	17.7454	0.56353E-01	-48.455	1.000000	2347.87	0.846142	0.610239
4	18.0934	0.55269E-01	20.434	0.421709	417.541	0.994150	0.108524
5	48.8755	0.20460E-01	4.0075	0.082705	16.0597	0.999843	0.417410E-02
6	51.2176	0.19525E-01	-0.66598	0.013744	0.443531	1.00000	0.115279E-03
sum					2821.06		0.733228

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** ROTY DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
------	-----------	--------	---------------	-------	----------------	--------------------------	------------------------------

ANEXO A – PROPRIEDADE POLIAMIDA

Description

Image



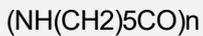
Caption

1. Knot tied in a polyamide rope. © Brighterorange at en.wikipedia - (CC BY-SA 3.0) 2. Locking nut with polyamide insert to lock its screw in place. © Cav at en.wikipedia - Public domain 3. Students creating Nylon-6,6 in the laboratory at the University

The material

Back in 1945, the war in Europe just ended, the two most prized luxuries were cigarettes and nylons. Nylon (PA) can be drawn to fibers as fine as silk, and was widely used as a substitute for it. Today, newer fibers have eroded its dominance in garment design, but nylon-fiber ropes, and nylon as reinforcement for rubber (in car tires) and other polymers (PTFE, for roofs) remains important. It is used in product design for tough casings, frames and handles, and - reinforced with glass - as bearings gears and other load-bearing parts. There are many grades (Nylon 6, Nylon 66, Nylon 11....) each with slightly different properties.

Composition (summary)



General properties

Density	1,12e3	-	1,15e3	kg/m ³
Price	* 25,1	-	37,1	BRL/kg

Mechanical properties

Young's modulus	0,94	-	2,04	GPa
Yield strength (elastic limit)	39	-	64	MPa
Tensile strength	42	-	72	MPa
Elongation	40	-	60	% strain
Hardness - Vickers	12	-	18	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 15	-	27	MPa
Fracture toughness	* 3	-	4	MPa.m ^{0.5}

Thermal properties

Melting point	220	-	260	°C
Maximum service temperature	90	-	130	°C
Thermal conductor or insulator?	Good insulator			
Thermal conductivity	0,21	-	0,28	W/m.°C
Specific heat capacity	* 1,46e3	-	1,6e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	110	-	150	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical conductor or insulator?	Good insulator
------------------------------------	----------------

Optical properties

Transparency	Translucent
--------------	-------------

Eco properties

Embodied energy, primary production	129	-	158	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	6,09	-	8	kg/kg
Recycle	✓			

Recycle mark



Supporting information

Typical uses

Light duty gears, bushings, sprockets and bearings, electrical equipment housings, lenses, containers, tanks, tubing, furniture casters, plumbing connections, bicycle wheel covers, ketchup bottles, chairs, toothbrush bristles, handles, food packaging. Nylons are used as hot-melt adhesives for book bindings, as fibers - ropes, fishing line, carpeting, car upholstery and stockings, as aramid fibers - cables, ropes, protective clothing, air filtration bags and electrical insulation.

Links

ProcessUniverse