

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Filipe de Bastos Belém**

**Desenvolvimento de dispositivo para  
ensaios mecânicos em tecidos de alta  
resistência.**

**Projeto de Graduação**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia  
Mecânica da PUC-Rio

Orientador: José Roberto Moraes D'Almeida

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer algumas pessoas, que sem elas seria impossível chegar até aqui.

Primeiramente agradecer aos meus pais, Ana Cristina Bastos e Átila Belém que estiveram presentes, dispostos a ajudar e me apoiar em minhas decisões e carreira.

Agradecer à minha noiva Pâmella Oliveira, que se fez presente em todos os momentos desse meu caminho, e que eu pude sempre contar para o que fosse necessário.

Ao meu orientador José Roberto Moraes D'Almeida, que foi sempre solícito, participativo e ajudou no desenvolvimento do projeto.

## **RESUMO**

### **Desenvolvimento de um dispositivo para realização de ensaios mecânicos em tecidos de alta resistência.**

Este projeto consiste no desenvolvimento de um dispositivo que torne capaz a realização de ensaios mecânicos em máquinas de ensaio de tração para tecidos de alta resistência.

Para o desenvolvimento desse projeto, foi projetado o dispositivo por completo (todos os componentes do dispositivo e sua montagem), bem como foi feita a especificação dos materiais para fabricar os diversos componentes do dispositivo, escolhendo-se o material adequado para ser utilizado na fabricação do dispositivo em questão.

**Palavras chaves:** Fibras de aramida. Tecidos. Ensaios mecânicos. Dimensionamento. Dispositivo para ensaios em fios. Tração.

## **ABSTRACT**

### **Development of a device for performing mechanical tests on high strength fabrics.**

This project consists of the development of a device that makes it possible to perform mechanical tests on tensile testing machines for high strength fabrics. For the development of this project, the device was designed completely (all components of the device and its assembly), as well as the specification of the materials to manufacture the various components of the device, choosing the appropriate material to be used in manufacturing device concerned.

**Key-words:** Aramid fibers. Fabrics. Mechanical tests. Sizing. Yarn pull-out. Traction.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Tecidos	2
2.2. Kevlar	3
2.3. Ensaio de tração	5
3. DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITVO	7
3.1. Dispositivo	7
3.2. Parafuso de potência	8
3.3. Bucha	11
3.4. Base	12
3.5. Fixador da garra inferior	12
3.6. Garra interna móvel	14
3.7. Garra interna fixa	15
3.8. Garras externas	16
3.9. Colunas	17
4. ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL	18
5. CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	22

## LISTA DE FIGURAS

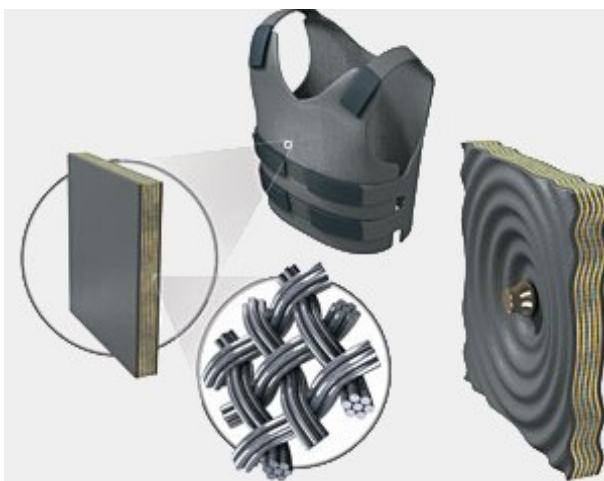
Figura 1 - Colete balístico. Retirado de [2].....	1
Figura 2 - Sistema simplificado de um tear de laçadeira. Retirado de [3].....	2
Figura 3 - Sentido dos fios. Retirado de [4] .....	3
Figura 4 - Tecido Kevlar. Retirado de [5].....	4
Figura 5 - Colete de segurança. Retirado de [6] .....	4
Figura 6 - Máquina universal de ensaio. Retirado de [8].....	6
Figura 7 - Corpo de prova de tecido. Retirado de [1] .....	7
Figura 8 - Dispositivo projetado e seus diversos componentes.....	8
Figura 9 - Dispositivo projetado em visualização 3D.....	8
Figura 10 - Parafuso de potência do dispositivo.....	10
Figura 11 - Bucha do dispositivo .....	11
Figura 12 - Base do dispositivo. ....	12
Figura 13 - Fixador da garra inferior.....	13
Figura 14 - Garra móvel interna .....	14
Figura 15 - Garra fixa interna.....	15
Figura 16 - Garras externas .....	16
Figura 17 – Coluna. ....	17

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Propriedades mecânicas do kevlar . Retirado de [7].</b>	<b>5</b>
<b>Tabela 2 - Passos recomendados por diâmetro do parafusos. Retirado de [10].</b>	<b>9</b>
<b>Tabela 3 - Propriedades dos aços. Retirado de [12]</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 4 - Resistência a corrosão. Retirado de [12].</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 5 - Propriedades do aço inox. Retirado de [13]</b>	<b>20</b>

# 1.INTRODUÇÃO

Ao longo da história humana, sempre foi utilizado algum tipo de mecanismo de escudo como forma de proteção, algo que pudesse proteger de possíveis ferimentos causados no campo de batalha, por acidente ou até por ataques de animais, entre outras causas. Por exemplo, escudos feitos de partes de animais e metais foram utilizados por ancestrais antes da chegada das fibras de alta resistência. O Nylon foi escolhido como elemento de proteção em coletes na Segunda Guerra Mundial, que logo depois substituído por fibras de alta performance como Nomex e Kevlar. Diversas camadas desses materiais, são usados atualmente para fazer um colete flexível e que protege o usuário contra impactos balísticos e facadas. A figura 1 mostra uma representação de um colete de proteção individual, destacando que ele é formado por diversas camadas de fibras e que cada é formada por um tecido de fibras entrelaçadas [1].



**Figura 1 - Colete balístico. Retirado de [2]**

## 1.1. Motivação

Como tecidos de alta resistência são utilizados para proteção balística e/ou facadas, tem como motivação o projeto de um dispositivo para realizar ensaios mecânicos em tecidos para que se possa caracterizar os tecidos atualmente usados e também se possa avaliar os efeitos de possíveis alterações na configuração/estrutura os tecidos sobre o desempenho mecânico.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Tecidos

Os tecidos são estruturas, normalmente, bidimensionais formadas por entrelaçamento organizado de fios de fibras naturais ou sintéticas, fabricados em máquinas denominadas tear. São formados na maioria dos casos por fibras ortogonais entre si. Pode-se observar na figura 2 um esquema da fabricação de um tecido em um tear [3].

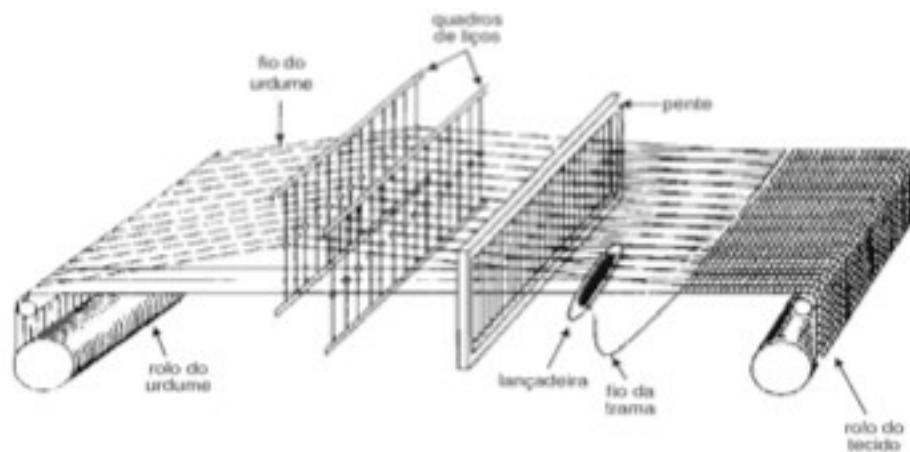
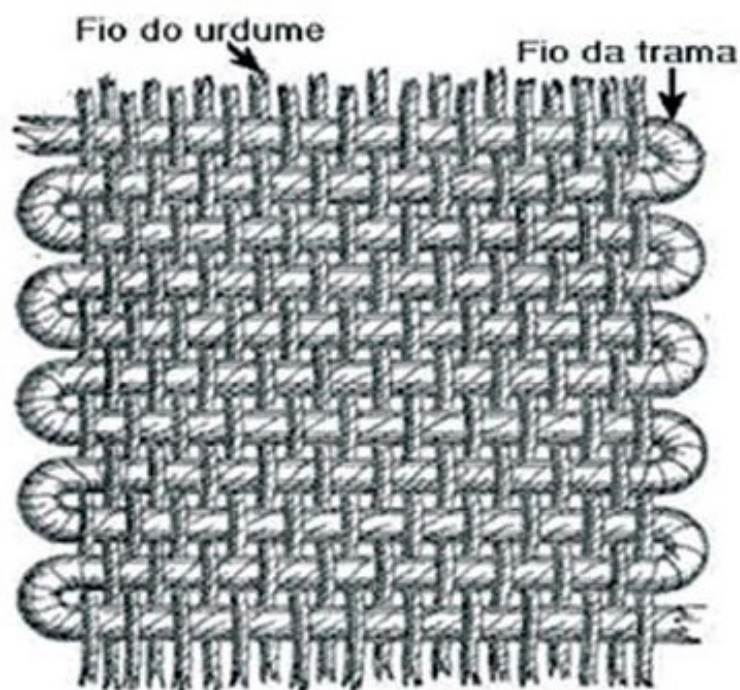


Figura 2 - Sistema simplificado de um tear de lançadeira. Retirado de [3]

Na figura 2, da esquerda para a direita, pode-se observar o rolo de urdume, do qual saem os fios urdume, que são levantados ou abaixados pelos quadros de liços, de modo a facilitar a passagem, transversalmente, dos fios da trama, que são guiados em seu movimento pela lançadeira. Após atravessarem os fios do urdume, os fios da trama são empurrados e apertados em seu lugar exato, pelo movimentos horizontal de uma armação conhecida como pente. Todo o conjunto de fios e tecidos é tracionado pelo rolo de tecido [3]. Os fios que são colocados no sentido transversal ao longo do comprimento do tecido, são chamados de fio de "trama", já os fios no sentido longitudinal são chamados de "urdume".

É possível observar na figura 3 o posicionamento dos fios do urdume e os fios da trama. [3]



**Figura 3 - Sentido dos fios. Retirado de [4]**

Os tecidos são utilizados na fabricação de roupas, cobertura de mesa, panos de limpeza, uso medicinal como faixas e curativos e também servem para a produção dos coletes à prova de bala.

## **2.2. Kevlar**

Os tecidos de alta resistência fabricados com fibras de Kevlar são usados em roupas de proteção pessoal, figura 4. Entre os muitos mecanismos de dissipação de energia, o atrito entre os fios desempenha um papel importante na resposta ao impacto balístico de tecidos planos de Kevlar. O efeito direto da fricção entre fios é um aumento na dissipação de energia do tecido quando esses fios começam a se deslocar uns em relação aos outros. O efeito indireto do atrito entre os fios é afetar a maneira pela qual as cargas são transferidas e redistribuídas entre os fios vizinhos.



**Figura 4 - Tecido Kevlar. Retirado de [5]**

O kevlar é uma fibra sintética de aramida muito resistente e de baixa densidade. O kevlar é empregado na fabricação de cintos de segurança, cordas, compósitos aeronáuticos, velas e linhas de pesca e em roupas de segurança como visto na figura 5.



**Figura 5 - Colete de segurança. Retirado de [6]**

Na tabela 1 estão listadas as propriedades dos principais tipos de kevlar [7].

Property	Unit	Kevlar® 29	Kevlar® 49
<b>Yarn</b>			
Type	denier (dtex) # of filaments*	1,500 (1,670) 1,000	1,140 (1,270) 768
Density	lb/in. <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	0.052 (1.44)	0.052 (1.44)
<b>Moisture Levels</b>			
As Shipped**	%	7.0	3.5
Equilibrium from Bone-Dry Yarn***	%	4.5	3.5
<b>Tensile Properties</b>			
<b>Straight Test on Conditioned Yarns†</b>			
Breaking Strength	lb (N)	76.0 (338)	59.3 (264)
Breaking Tenacity	g/d (cN/tex)	23.0 (203)	23.6 (208)
	psi (MPa)	424,000 (2,920)	435,000 (3,000)
Tensile Modulus	g/d (cN/tex)	555 (4,900)	885 (7,810)
	psi (MPa)	10.2 x 10 <sup>6</sup> (70,500)	6.3 x 10 <sup>6</sup> (112,400)
Elongation at Break	%	3.6	2.4
<b>Resin Impregnated Strands††</b>			
Tensile Strength	psi (MPa)	525,000 (3,600)	525,000 (3,600)
Tensile Modulus	psi (MPa)	12.0 x 10 <sup>6</sup> (83,000)	18.0 x 10 <sup>6</sup> (124,000)

**Tabela 1 - Propriedades mecânicas do kevlar . Retirado de [7].**

### 2.3. Ensaio de tração

Para realização do ensaio de tração, um determinado corpo de prova é submetido a um esforço que alonga ou estica o corpo de prova até a sua ruptura. É mais usual utilizar um corpo de prova que possua dimensões e forma padronizadas. A partir disso, a própria máquina faz as medições dos esforços e cargas realizadas que normalmente ocorre um alongando o corpo de prova em questão até a ruptura do material.

A partir desse ensaio, podemos perceber que as deformações impostas ao material são uniformemente distribuídas em toda a sua extensão até chegar próximo a carga máxima, ou seja, próximo ao final do ensaio e, tendo em vista que é possível obter um aumento lento durante o ensaio, conseguimos medir de maneira correta a

resistência do material. Devida a deformação uniforme, consegue-se medições para a variação da deformação em função da tensão aplicada no corpo de prova. Essa variação, que auxilia muito a vida do engenheiro, é definida pela curva tensão-deformação que é adquirida exatamente da máquina. Quando o fenômeno da estricção começa a aparecer ou a redução da área de seção transversal do corpo de prova (somente quando o material apresentar ductilidade), ou seja, quando a carga máxima do qual o material consegue aguentar é atingida, encerra-se a uniformidade da deformação. O material sempre vai fraturar na região mais estreita, não apresentando nenhum tipo de defeito interno.



**Figura 6 - Máquina universal de ensaio. Retirado de [8]**

Com esse ensaio, podemos obter valores de tensão real e de engenharia e deformação real e de engenharia, as cargas de escoamento e máxima que são obtidas através de um programa atrelado à máquina, sendo assim possível traçar o gráfico de tensão-deformação [9].

### 3.DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

O dispositivo desenvolvido visa prender um corpo de prova de tecido de dimensões pré-determinadas, figura 7. Esse dispositivo será fixado na máquina de tração e permitirá ajustar a tensão aplicada no próprio tecido, transversalmente ao esforço de tração aplicado pelo equipamento, para "esticá-lo" de acordo com o teste que será realizado.

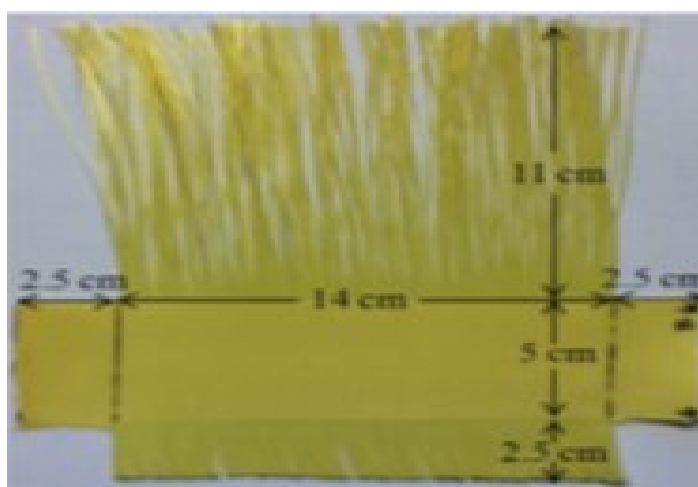
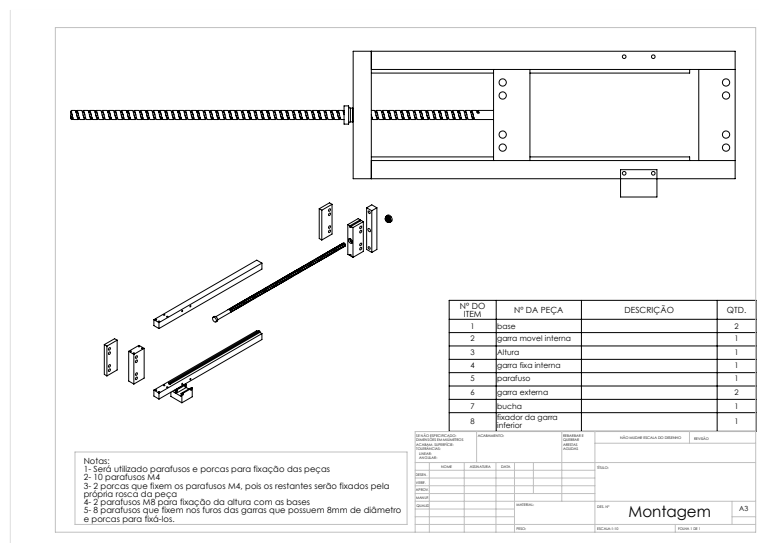


Figura 7 - Corpo de prova de tecido. Retirado de [1]

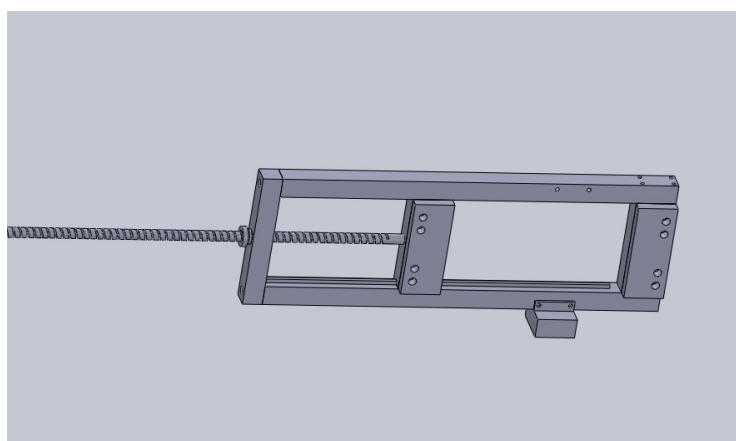
#### 3.1. Dispositivo

A partir das dimensões estabelecidas para o corpo de prova, foi possível desenvolver um dispositivo com as características desejadas, ou seja, que possa ser fixado na máquina de ensaio mecânico e que possa fixar o corpo de prova e tensionar o mesmo.

Para isso foram, inicialmente, projetadas uma base para ser fixada de maneira apropriada na base da máquina de tração, uma base na qual pudesse correr uma das garras alterando assim a tensão realizada no tecido, garras fixas como base, as colunas do dispositivo para as bases ficarem fixas, um parafuso para o ajuste adequado do tensionamento no corpo de prova, o qual é fixado na garra móvel e uma bucha para fixar o parafuso e ajustá-lo, figuras 8 e 9.



**Figura 8 - Dispositivo projetado e seus diversos componentes.**



**Figura 9 - Dispositivo projetado em visualização 3D.**

### 3.2. Parafuso de potência

O parafuso de potência utilizado no dispositivo terá que fazer um esforço de 500N, já que os testes feitos nos tecidos de alta resistência transversalmente são de 50N, 250N e 500N. O parafuso possui um comprimento de 505 mm, pois assim permite que sejam utilizados diversos tamanhos de corpos de prova diferentes caso necessário.

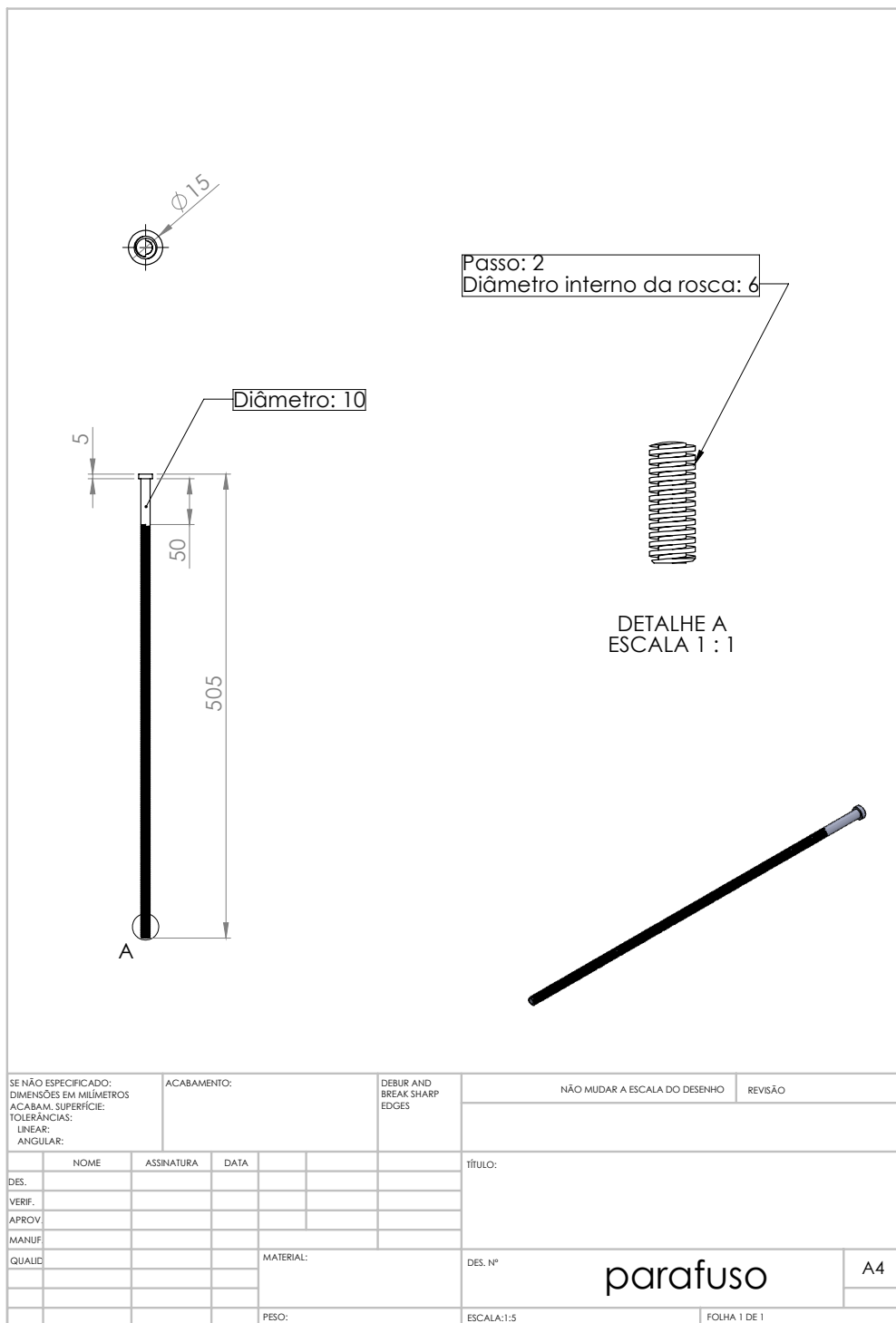
Pode-se observar (figura 10) que ele possui um diâmetro de 10 mm e um passo de 2 mm com ângulo reto dos filetes (filetes quadrados). Esse diâmetro foi

escolhido devido ao tamanho da garra e, como o mesmo deveria ser fixado nela, ficou limitado ao tamanho desta. O passo foi obtido através da tabela 2, onde é possível utilizar o passo recomendado de acordo com o diâmetro.

filetes quadrados						filetes ACME ou trapezoidais	
série fina		série normal		série grossa			
diâmetro	passo	diâmetro	passo	diâmetro	passo	diâmetro	passo
10-20	2	22-28	5	22-28	8	10-12	3
22-62	3	30-36	6	30-38	10	14-20	4
65-110	4	38-44	7	40-52	12	22-28	5
115-175	6	46-52	8	55-62	14	30-36	6
		55-62	9	65-82	16	38-44	7
		65-82	10	85-96	18	46-52	8
		85-110	12	100-110	20	55-62	9
		115-145	14	115-130	22	65-82	10
		150-175	16	135-155	24	85-115	12

Tabela 2 - Passos recomendados por diâmetro do parafusos. Retirado de [10]





**Figura 10 - Parafuso de potência do dispositivo.**

3.3.Bucha

A bucha foi projetada baseada nas dimensões do parafuso citado no tópico anterior, pois a mesma tem como objetivo fixar o parafuso e permitir que o parafuso seja ajustado de acordo com o teste que será realizado. Com isso ela tem um passo de 2mm, ângulo reto dos filetes (filetes quadrados) e diâmetro externo de 10mm. Assim como está visto na figura 11

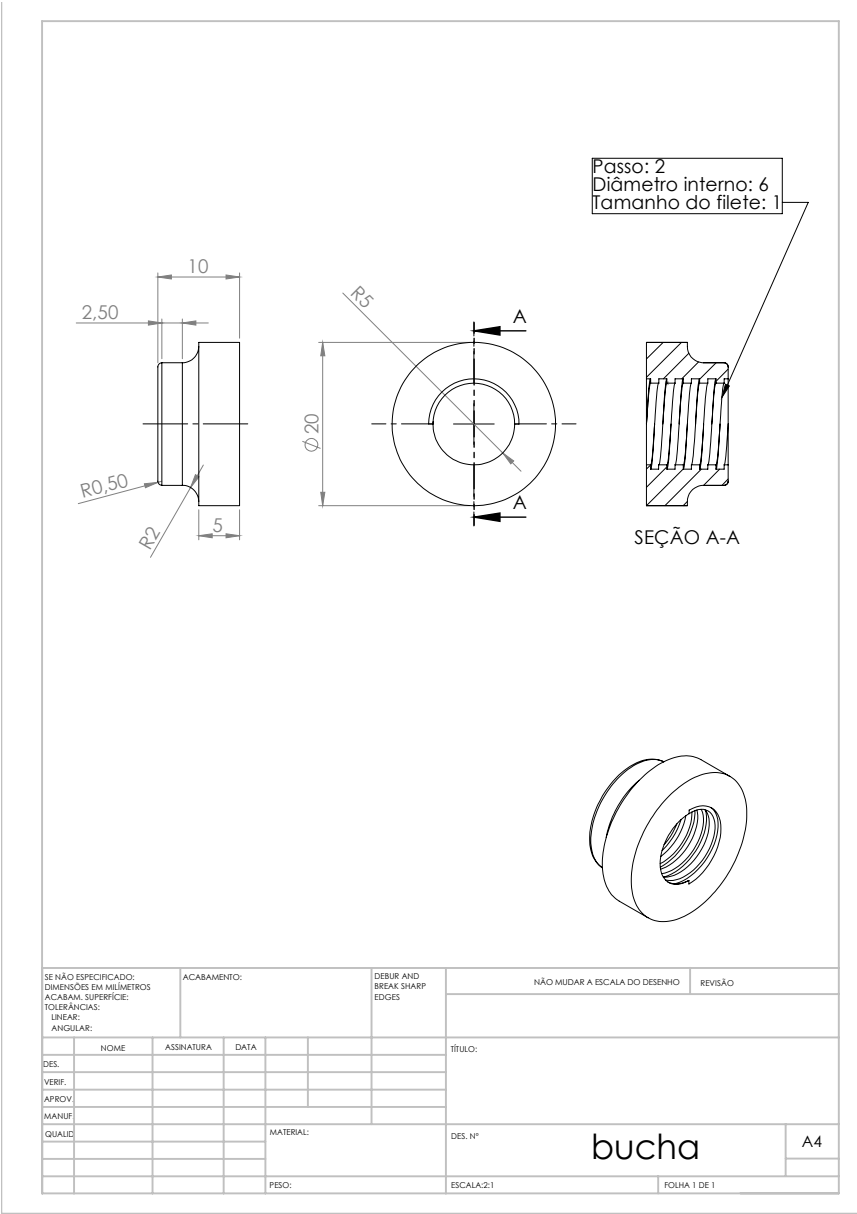


Figura 11 - Bucha do dispositivo

### 3.4.Base

A base foi projetada levando-se em consideração os tamanhos do corpo de prova e do parafuso de potência. Esse componente será a base onde a garra móvel irá correr por meio de uma guia que manterá a mesma centralizada e possui um tamanho que permite os diferentes tensionamentos aplicados no corpo de prova.

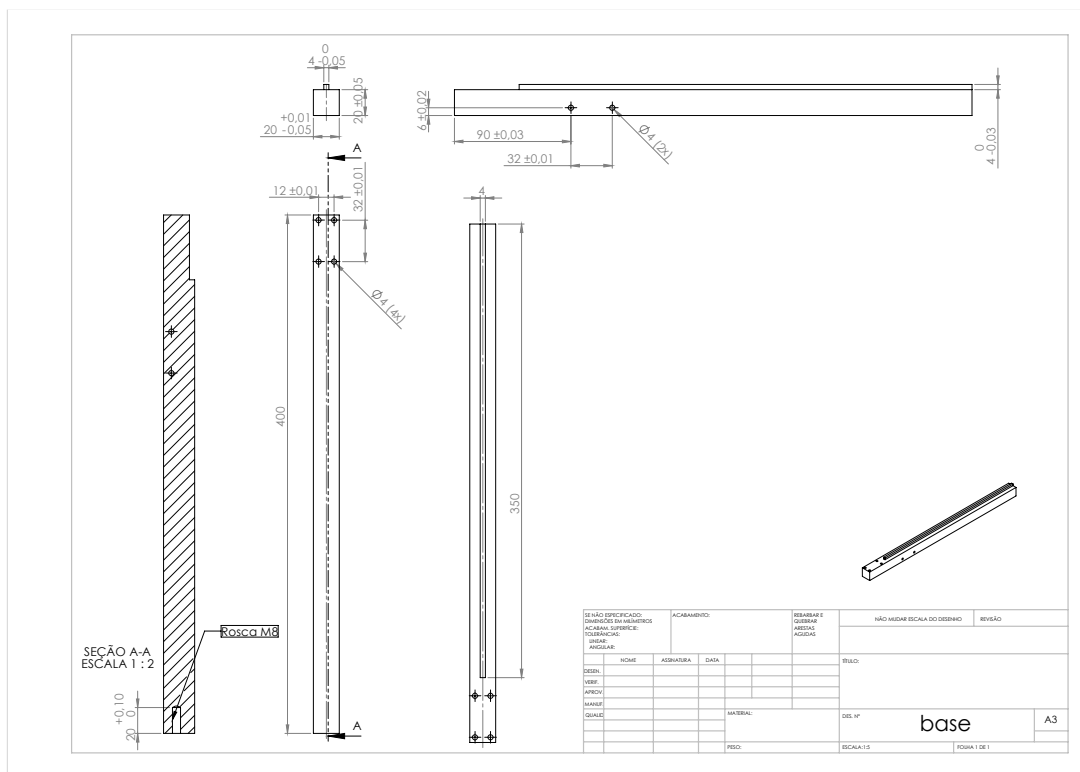


Figura 12 - Base do dispositivo.

### 3.5.Fixador da garra inferior

O fixador serve para que o dispositivo possa ser fixado na garra inferior da máquina de ensaio. Além disso, serve como uma espécie de gabarito que posiciona o corpo de prova exatamente no centro da garra superior, para que o fio seja testado verticalmente, reduzindo assim esforços indesejados que surgiriam se não estivesse posicionado corretamente.

Esta peça é fixada na base inferior do dispositivo apenas, já que todo o seu funcionamento serve para a garra inferior, figura 13.

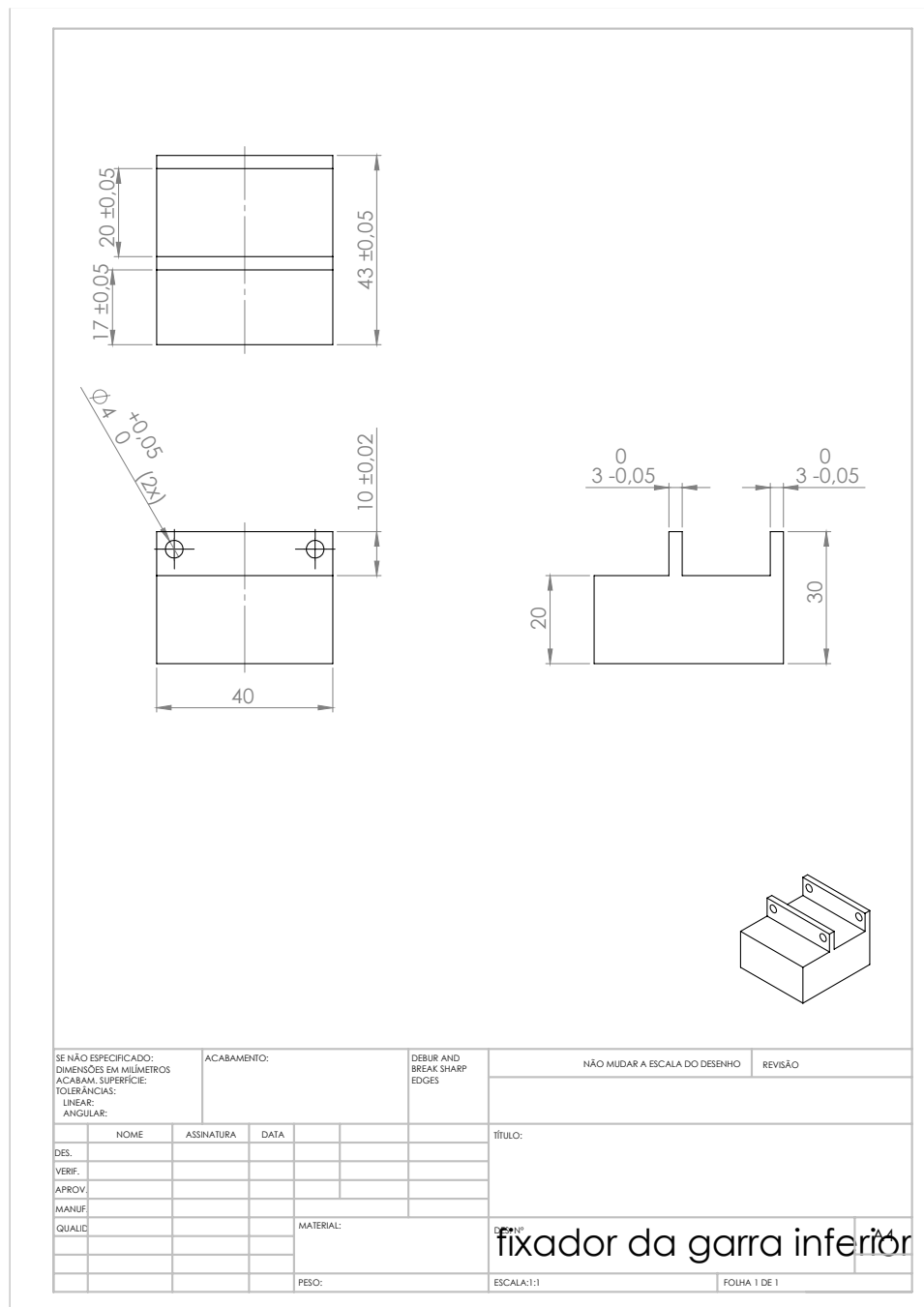
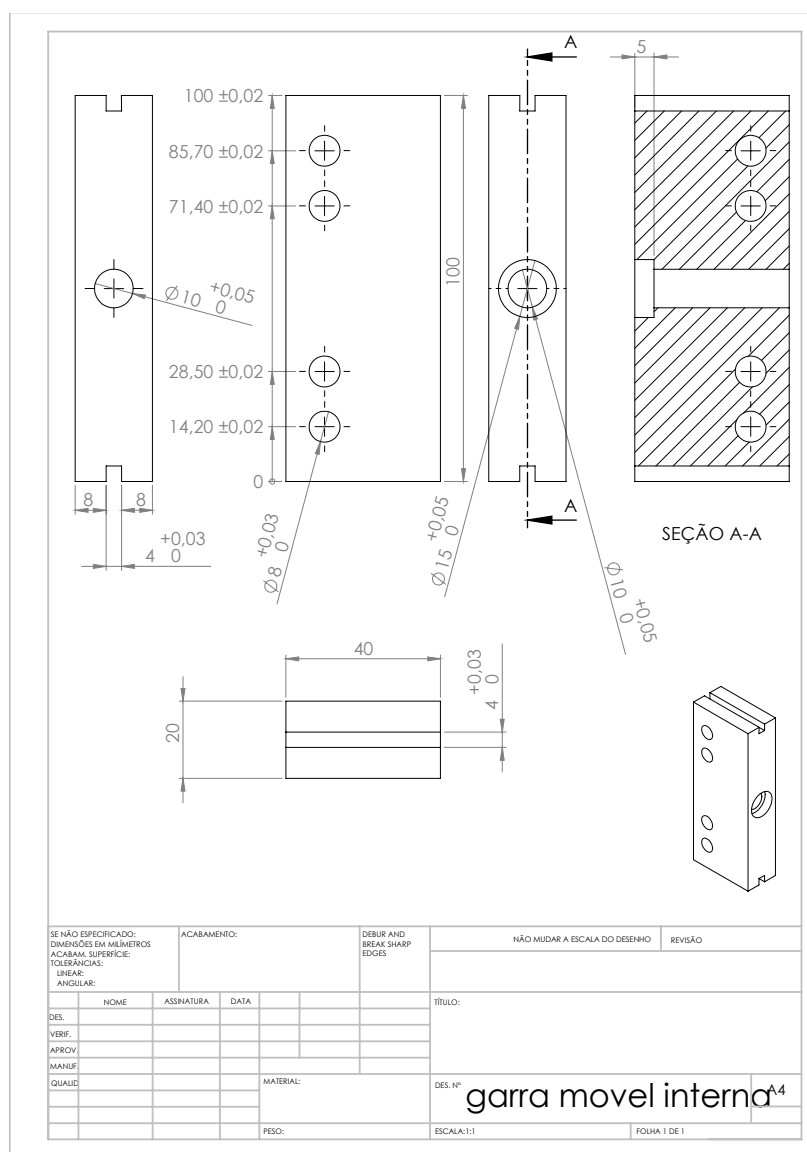


Figura 13 - Fixador da garra inferior

### 3.6. Garra interna móvel

Essa garra é fixada nas bases com seus guias posicionados nos guias das bases, ela é uma das partes mais importantes do projeto, pois é ela que vai receber uma força vindo do parafuso, que faz com que seja transmitido para o tecido o esforço transversal ao ensaio de tração. O tecido é fixado nas garras através de parafusos que passem entre os furos delas e porcas, fixando assim a garra interna, o tecido e a garra externa no mesmo furo. Cada garra possui 4 furos de 8mm, ou seja, são necessários 4 parafusos com 8mm de diâmetro externo e 4 porcas, figura 14.



**Figura 14 - Garra móvel interna**

3.7.Garra interna fixa

Essa garra serve tanto para fixar a outra extremidade do tecido, tanto como coluna, pois ela será fixada na extremidade oposta à do parafuso entre as bases, formando assim o esqueleto do dispositivo. A fixação do tecido nela, é igual à da garra móvel, necessitando também de 4 parafusos de 8mm e 4 porcas referentes a esses parafusos, figura 15.

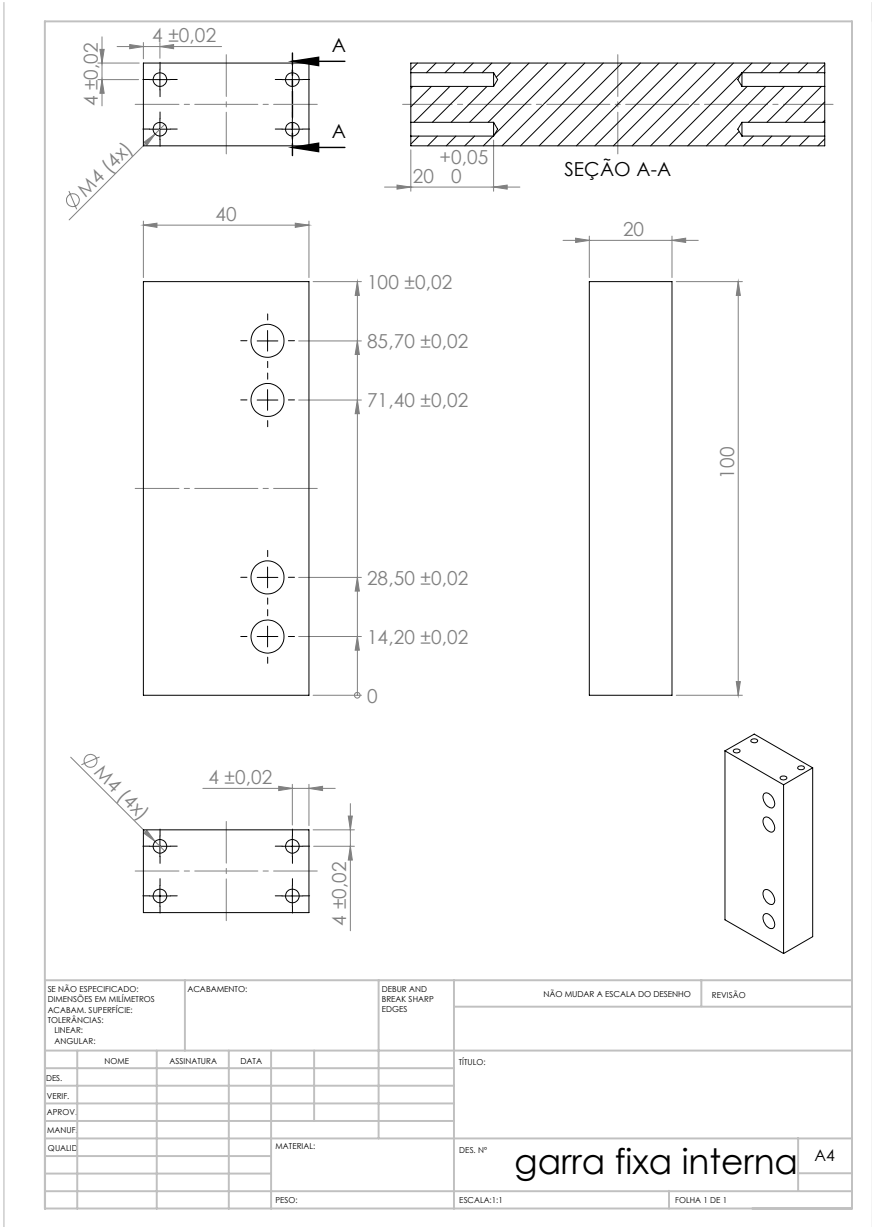


Figura 15 - Garra fixa interna

3.8.Garras externas

Esse componente vai fixar os tecidos em ambas as garras citadas nos tópicos anteriores. Ele possui apenas 4 furos para fixar nas garras interiores como já foi citado, e fazer força no tecido para que ele fique fixo no dispositivo, figura 16.

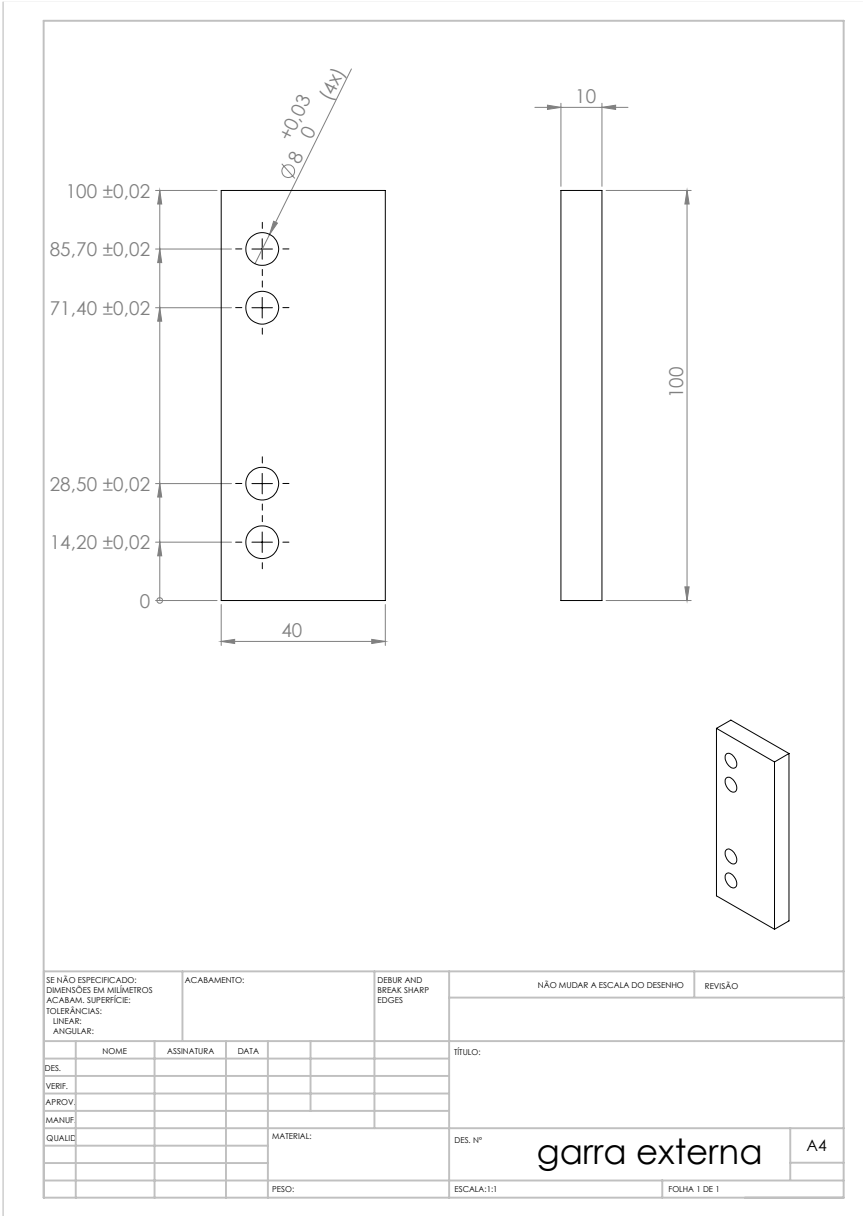


Figura 16 - Garras externas

3.9. Colunas

A coluna do projeto serve para fixar a extremidade onde se encontra o parafuso. Além disso, ela possui um furo por onde passa o parafuso para que o mesmo possa estar totalmente concêntrico com o furo da garra móvel, para que o esforço que o parafuso exercer sobre a garra seja totalmente na horizontal. A coluna possui o tamanho equivalente ao da garra interna fixa para que não ocorra nenhum problema com alturas diferentes e para que o dispositivo fique totalmente uniforme, ou seja, evitando assim riscos dele não ficar bem fixo, o que prejudicaria o teste.

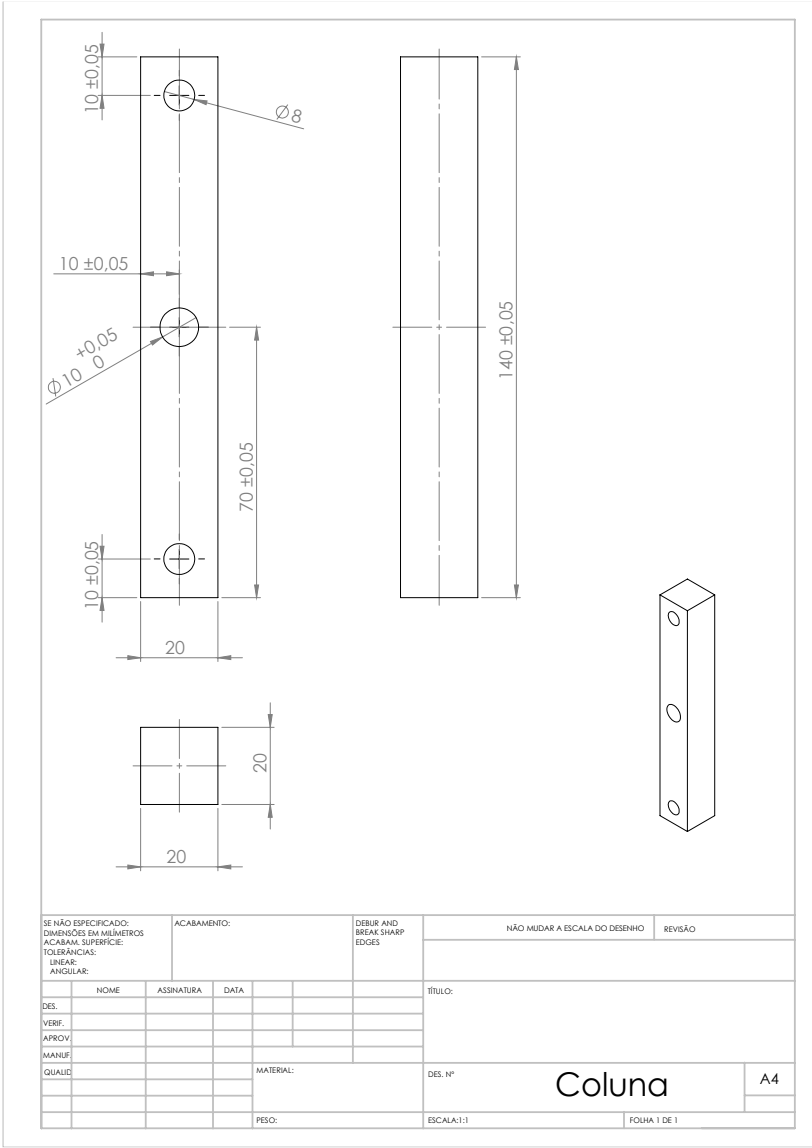


Figura 17 – Coluna.



## 4. ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL

A especificação do material nada mais é do que um documento que define qual material mais adequado será utilizado no projeto. Este material será escolhido levando-se em consideração as cargas exercidas. Com a escolha correta do material, o dispositivo poderá suportar os ensaios nos quais ele será exigido, ou seja, suportando o tensionamento transversal ao ensaio que será permitido pelo dispositivo para que se consiga realizar diferentes ensaios, sem sofrer uma deformação que faça com que o dispositivo perca a sua funcionalidade.

Com isso, são propostos dois tipos de materiais. O primeiro foi usado somente para a base do dispositivo, pois como ela serve apenas como um guia, o melhor seria um material mais fácil de usinar. Com isso foi escolhido o latão, que é um material de baixa dureza e que não recebe as tensões do ensaio diretamente. [11]

No parafuso será usado um aço 4340 que possui alta resistência para poder suportar os testes realizados. A sua resistência à tração e algumas de suas propriedades podem ser vistas na tabela 3, onde pode-se observar que o aço 4340 suporta perfeitamente cargas bem superiores a 500N, tendo em consideração a área do parafuso.

GERDAU	AISI (1)	Temperatura de revenimento (°C)	Resistência à tração (MPa)	Escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Redução de área (%)	Dureza (HB)
1137	1137	205	1082	938	5	22	352
		315	986	841	10	33	285
		425	876	731	15	48	262
		540	758	607	24	62	229
		650	655	483	28	69	197
1141	1141	205	1634	1213	6	17	461
		315	1462	1282	9	32	415
		425	1165	1034	12	47	331
		540	896	765	18	57	262
		650	710	593	23	62	217
4140	4140	205	1772	1641	8	38	510
		315	1551	1434	9	43	445
		425	1248	1138	13	49	370
		540	951	834	18	58	285
		650	758	655	22	63	230
4150	4150	205	1921	1724	10	39	530
		315	1765	1593	10	40	495
		425	1517	1379	12	45	440
		540	1207	1103	15	52	370
		650	958	841	19	60	290
4340	4340	205	1875	1675	10	38	520
		315	1724	1586	10	40	486
		425	1469	1365	10	44	430
		540	1172	1076	13	51	360
		650	965	855	19	60	280

Tabela 3 - Propriedades dos aços. Retirado de [12]

Para os demais componentes, foi escolhido um aço inox 304 que por sua vez não oxida com o tempo, e como é um dispositivo de testes, é preciso que sua vida útil não seja afetada por conta da oxidação como visto na tabela 4.

RESISTÊNCIA À CORROSÃO RELATIVA. (CONFORME NBR 6847/81)								
QUALIDADE		ATMOSFERA BRANDA E ÁGUA	ATMOSFERA		ÁGUA SALGADA	QUÍMICA		
GERDAU	AISI		INDÚST.	MARINHA		BRANDA	OXIDANTE	REDUT.
416	416	X						
410	410	X				X		
420	420	X						
420C	420	X						
430	430	X	X			X	X	
302	302	X	X			X	X	
303	303	X	X	X		X		
304	304	X	X	X		X	X	
304L	304L	X	X	X		X	X	
316	316	X	X	X	X	X	X	X
316L	316L	X	X	X	X	X	X	X
310	310	X	X	X		X	X	

**Tabela 4 - Resistência a corrosão. Retirado de [12]**

Além disso é capaz de suportar o esforço realizado pelos diferentes ensaios previstos, cujo o esforço transversal ao ensaio de tração se altera até 500N, tabela 5.

<b>AISI/UNS</b>	<b>Resistência ao escoamento MPa</b>	<b>Resistência à tração MPa</b>	<b>Alongamento Mínimo,%</b>	<b>Dureza Vickers</b>	<b>Microestrutura</b>
304L	210	515-680	45	155	Austenita
316L	220	515-690	40	160	Austenita
S 32304	400	600-820	25	230	Dúplex
S 31803	450	680-880	25	260	Dúplex
S 32750	550	800-1000	25	290	Dúplex

**Tabela 5 - Propriedades do aço inox. Retirado de [13]**

Conforme visto na tabela 5, o aço 304 consegue resistir totalmente à força de tração de 500N que é aplicada sobre o dispositivo. Então, ele não só tem resistência a corrosão que era procurada, como também garante resistência à oxidação.

## **5.CONCLUSÃO**

Após todo o desenvolvimento do projeto, podemos ressaltar que para a realização do ensaio mecânico em um corpo de prova de tecido, precisa-se de um dispositivo adequado para que torne isso possível. Esse dispositivo foi projetado de forma satisfatória em cima de corpo de prova específico para caracterizar tecidos e alterações estruturais nos tecidos.

Todos os componentes do dispositivos foram projetados e também foram feitas as especificações dos materiais a serem utilizados, que sejam capazes de resistir ao esforço durante os ensaios. O dispositivo ainda permite que seja alterado o tensionamento transversalmente ao esforço de tração para avaliar o efeito de esforço transversais sobre o tecido.

Com isso esse dispositivo permite que sejam realizados ensaios para melhorar o entendimento sobre a resposta mecânica dos tecidos de alta resistência, usados em coletes balísticos. Permitindo que sejam propostas e analisadas melhorias para a segurança do usuário do colete.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Gaurav Nilakantan a, John W. Gillespie Jr. a,b,c . **Yarn pull-out behavior of plain woven Kevlar fabrics: Effect of yarn sizing, pullout rate, and fabric pre-tension.**
- [2] <http://industria.grupodimensao.com.br/pt-br/de-que-sao-feitos-os-coletes-prova-de-balas/>. Acesso 20 de Agosto de 2018
- [3] Pinheiro, 2000 - **Tecidos na fabricação de compósitos**
- [4] **Sindicato da industria - características dos tecidos** - Acesso 20 de Agosto de 2018  
<http://www.sindicatodaindustria.com.br/noticias/2015/05/72,60828/caracteristica-e-construcao-dos-tecidos.html>.
- [5] <http://www.easycomposites.asia/products/kevlar-aramid-other/aramid-satin-175g-1m.aspx> - Acesso em 28 de Agosto de 2018
- [6] <https://alunosonline.uol.com.br/quimica/polimero-prova-bala-kevlar.html>. Acesso 15 de Outubro de 2018
- [7] **DATASHEET - DUPOINT - Kevlar** - acesso 27 de Novembro de 2018 - [http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/fabrics-fibers-and-nonwovens/fibers/documents/Kevlar\\_Technical\\_Guide.pdf](http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/fabrics-fibers-and-nonwovens/fibers/documents/Kevlar_Technical_Guide.pdf)
- [8] **EMIC - equipamento para ensaios mecânicos destrutivos - Série 23 EMIC** - <http://www.emic.com.br/Produtos+Mais/4/77> - Acesso 25 de Novembro de 2018
- [9] JTP Castro. MA Meggiolaro.- **Fadiga Técnicas e práticas de dimensionamento estrutural sob cargas reais de serviço - Volume 1 - Iniciação de trincas.**

- [10] JTP Castro. - **Slides de aula de elementos de máquina - parafusos** - Departamento de engenharia mecânica PUC-Rio.
- [11] **Termomecânica São Paulo S.A.** - Acesso 20 de Novembro 2018 - [https://www.termomecanica.com.br/download/conteudo\\_tecnico/Latão%20Corte%20Livre%20Americano.pdf](https://www.termomecanica.com.br/download/conteudo_tecnico/Latão%20Corte%20Livre%20Americano.pdf)
- [12] **Catálogo aços Gerdau** - Acesso 20 de Novembro 2018 - [http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo\\_acos\\_gerdau.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf)
- [13] NILSSON, J.-O. ***Physical metallurgy of duplex stainless steels***. In: Proceedings Duplex Stainless Steel 97, 5<sup>th</sup> World Conference, Maastricht, Holanda, p. 73-82. Outubro 1997. Acesso Novembro 2018
- [14] K. Talreja, I. Chauhan, A. Ghosh, A. Majumdar and B.S Butola - **Functionalization of silica particles to tune the impact resistance of shear thickening fluid treated aramid fabrics.**