



PROJETO DE UM TRIBÓMETRO PINO DISCO

ANA MARGARIDA MORAIS DA SILVA

outubro de 2018

PROJETO DE UM TRIBÓMETRO PINO DISCO

Ana Margarida Morais da Silva
1130475

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

PROJETO DE UM TRIBÓMETRO PINO DISCO

Ana Margarida Morais da Silva
1130475

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Luís Magalhães.

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica
Mestrado em Tecnologias e Processos de Fabrico

JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Co-orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

“Quem caminha sozinho pode chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza chega mais longe.” Clarice Lispector

Deixo o meu profundo agradecimento:

Ao Professor Doutor Luís Magalhães por todo o apoio, interesse, carinho e tempo disponibilizado para a realização da presente tese. Todos os prontos conhecimentos técnicos transmitidos providenciaram-me segurança pessoal e também fiabilidade ao equipamento.

Ao ISEP, instituição que tão bem me acolheu, possibilitando-me o contacto com os melhores e mais profissionais docentes e permitindo-me a aquisição dos conhecimentos necessários para enfrentar o mundo do trabalho.

À Wrk, Lda., empresa onde desempenhei funções em simultâneo com a realização do mestrado, que sempre me disponibilizou o tempo e apoio necessários para conjugar o trabalho com o estudo.

À minha mãe. Mesmo não possuindo conhecimentos da área, tornou possível, com todos os seus conhecimentos da vida, a realização calma e tranquila “desta coisa que eu percebo muito”.

Ao meu pai que, mesmo ausente, conseguiu estar sempre presente. Contrariando-o, afirmo que os filhos não servem só para gastar dinheiro, mas também para orgulhar os pais. E eu conheço o tamanho do seu orgulho em mim.

À professora Susana, pela revisão da literatura e pelos incentivos diários para fazer sempre mais e melhor. Com todo o amor que duas irmãs que se adoram sentem mas inevitavelmente desenvolvem elevados atritos nos seus contactos diários.

Ao Rui e à Elisa que, entre pausas de estudo, me divertiram, descansaram a mente, revelando-se os melhores amigos que poderia ter ao meu lado.

Ao Biltos, pelas longas sessões de estudo e por ser um tão prestável amigo.

Ao João e à Marta.

PALAVRAS CHAVE

Tribologia, Atrito, Tribómetro, Projeto mecânico, dimensionamento componentes.

RESUMO

A tribologia está presente em todo o nosso quotidiano, uma vez que analisa as forças desenvolvidas por dois ou mais corpos em contacto. No contexto da indústria mecânica, afigura-se cada vez mais importante conhecer o comportamento dos diferentes materiais em contacto e dos lubrificantes presentes nesses contactos, na medida em que este conhecimento permite prever e antecipar complicações em equipamentos industriais. Neste sentido, foi desenvolvido um projeto que consiste num tribómetro pino-disco para aplicação num laboratório de ensaios didáticos que providenciará aos estudantes de engenharia uma primeira abordagem prática ao assunto, através de um periférico simplificado que mede e quantifica a força oposta ao movimento, ou seja, o atrito.

Este equipamento permitirá, mediante as variáveis (carga, material do pino e do disco, velocidade de rotação e lubrificante) simular diversas situações numa escala laboratorial, munindo o utilizador de conhecimentos prévios sobre o comportamento dos contactos.

KEYWORDS

Tribology, wear, pin-disk tribometer, mechanical design, component sizing.

ABSTRACT

Tribology is present in our daily lives, as it analyzes the forces developed by two or more bodies in contact. In the context of the mechanical industry, it is increasingly important to know the behavior of the different materials in contact and the lubricants present in these contacts, since this knowledge allows predicting and anticipating problems that may arise in industrial equipment. With this in mind, a project was developed that consists of a pin-disk tribometer for application in a didactic test laboratory which will provide engineering students with a first practical approach to the subject, through a simplified peripheral that measures and quantifies the force opposite to the movement, or friction. Given the variables (load, pin and disk material, speed of rotation and lubricant), this equipment will be able to simulate various situations on a laboratory scale, thus providing the user with prior knowledge on the behavior of the contacts.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

N	Número de rotações
c.s	Coeficiente de segurança
IEC/CEI	Comissão Eletrónica Internacional
$V_{máx}$	Velocidade máxima
T	Temperatura
Máx.	Máxima

Lista de Unidades

Rpm	Rotações por minuto
Mm	Milímetros
°C	Graus celsius
$m.s^{-1}$	Milímetros percorridos num segundo
€	Euro

Lista de Símbolos

\varnothing	Diâmetro
σ_f	Resistência à fadiga
σ_y	Resistência à cedência
E	Modulo de Elasticidade
K_{IC}	Tenacidade à fratura
ρ	Densidade

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – TIPOS DE CONTACTOS	24
FIGURA 2 – ESQUEMATIZAÇÃO DO MÉTODO LINEAR.	27
FIGURA 3 – ENSAIO DO MÉTODO LINEAR- POSIÇÃO INICIAL DO PINO RELATIVAMENTE À PLACA.	28
FIGURA 4 – ENSAIO DO MÉTODO LINEAR - PENETRAÇÃO DO PINO NA PLACA.	28
FIGURA 5 – ENSAIO MÉTODO LINEAR RECÍPROCO COM FILME LUBRIFICANTE.	28
FIGURA 6 – ESQUEMATIZAÇÃO DO ENSAIO DO MÉTODO DAS 4 ESFERAS.	29
FIGURA 9 – NINHO DO TRIBÓMETRO 4 ESFERAS.	30
FIGURA 9 – ESFERAS SOLDADAS.	30
FIGURA 9 – EXEMPLO DE RECIPIENTE QUE CONTÉM AS ESFERAS E O LUBRIFICANTE.	30
FIGURA 10 – ESQUEMATIZAÇÃO DO ENSAIO DO MÉTODO PINO DISCO.	31
FIGURA 12 – TRIBÓMETRO PINO DISCO COMERCIALIZADO PELA ANTOON PAAR 2	31
FIGURA 12 – TRIBÓMETRO PINO DISCO COMERCIALIZADO PELA ANTON PAAR.	31
FIGURA 13 – SEQUÊNCIA PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE SEGURANÇA. (AUTOR)	35
FIGURA 14 – DIAGRAMA DE ASHBY.	41
FIGURA 15 – FAMÍLIAS DE MATERIAIS EXISTENTES	42
FIGURA 18 - POLICARBONATO	45
FIGURA 18 – AÇO EM BRUTO	45
FIGURA 18 – CHAPA DE AÇO.	45
FIGURA 19 - PARAFUSO DE INOX, CABEÇA CILÍNDRICA COM SEXTAVADO INTERNO – DIN912/ANSI	47
FIGURA 20 - CONJUNTO ASTM0000	49
FIGURA 21 – CONJUNTO TM-AS0100	51
FIGURA 22 – DISCO ENTALHADO (ANTON PAAR)	54
FIGURA 23 - ENTALHES NA BUCHA (PHOENIX TRB.)	54
FIGURA 24 - APERTO POR BUCHA (ANTOON PAAR)	54
FIGURA 25 – REPRESENTAÇÃO DOS VETORES DA VELOCIDADE E ACELERAÇÃO NO MOVIMENTO CIRCULAR.	55
FIGURA 26 – TIPO DE DISCO APTO PARA UTILIZAR NO TRIBÓMETRO.	55
FIGURA 27 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0103	57
FIGURA 28 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0103	59
FIGURA 29 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0104	61
FIGURA 30 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0105	63
FIGURA 31 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0106	64
FIGURA 32 - REPRESENTAÇÃO EM SOLIDWROKS TM-AS0107	65
FIGURA 33 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0108	66
FIGURA 34 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0109	67
FIGURA 35 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0110	68
FIGURA 36 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MOTOR SELECIONADO, EM 3D	69
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO EM SOLIDWROKS TM-AS0107	70
FIGURA 38 - REPRESENTAÇÃO RETENTOR SW.	72

FIGURA 39 - FUNÇÕES DE UM REDENTOR.	72
FIGURA 41 - SISTEMA DE VEDAÇÃO POR CONTACTO – TIPO A	73
FIGURA 41 - RTENTOR RADIAL, POR CONTACTO - TIPO AS	73
FIGURA 42 - – CONJUNTO TM-AS0200	74
FIGURA 43 – REPRESENTAÇÃO DE PINOS DE DIFERENTES DIÂMETROS.	75
FIGURA 44 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0109	76
FIGURA 45 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0203	77
FIGURA 46 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0204	78
FIGURA 47 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0205	79
FIGURA 48 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0206	80
FIGURA 49 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0206	81
FIGURA 50 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0208	82
FIGURA 51 - – CONJUNTO TM-AS0300	83
FIGURA 52 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0301	84
FIGURA 53 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0302	85
FIGURA 54 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0303	86
FIGURA 55 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0303	87
FIGURA 56 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0305	88
FIGURA 57 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0305	89
FIGURA 58 - SIMULAÇÃO DA TENSÃO DE VON MISES TM-AS0305	92
FIGURA 59 - – CONJUNTO TM-AS0900	94
FIGURA 60 -	108

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TRIBÓMETRO LINEAR.	28
TABELA 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TRIBÓMETRO DE 4 ESFERAS	30
TABELA 3 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TRIBÓMETRO PINO SOBRE DISCO - MODELO <i>TBR3</i> E ISC-200 PC	32
TABELA 4 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO DIFERENTES MÉTODOS DE ATUAÇÃO DOS TRIBÓMETROS.	33
TABELA 5 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PRETENDIDAS DO TRIBÓMETRO PINO SOBRE DISCO	34
TABELA 6 – JUSTIFICAÇÃO DA SELEÇÃO DE CADA REQUISITO	40
TABELA 7 - PROPRIEDADES CORRESPONDENTES A CADA REQUISITO	40
TABELA 8 – QUADRO RESUMO DA IMPORTÂNCIA ATRIBUÍDA A CADA PROPRIEDADE	42
TABELA 9 – FAMÍLIAS DE MATERIAIS	43
TABELA 10 – PROPRIEDADES TÍPICAS DE ALGUNS MATERIAIS À TEMPERATURA AMBIENTE	43
TABELA 11 – PONDERAÇÃO PERCENTUAL DE CADA PROPRIEDADE	44
TABELA 12 – QUADRO RESUMO DA TABELA YY ANEXOS	44
TABELA 13 – QUADRO RESUMO DO CÁLCULO DO ESFORÇO DOS PARAFUSOS.	47
TABELA 14 – DESIGNAÇÃO DE CADA COMPONENTE E RESPECTIVA FUNÇÃO.	48
TABELA 15 – SUBCONJUNTOS DO CONJUNTO ASTM0000	49
TABELA 16 – PEÇAS DO CONJUNTO ASTM0000	51
TABELA 17 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO RETENTOR.	72
TABELA 18 - PEÇAS DO CONJUNTO TM-AS0200	74
TABELA 19 - PEÇAS DO CONJUNTO TM-AS0300	83
TABELA 20 - PEÇAS DO CONJUNTO TM-AS0300	94
TABELA 21 - PROPRIEDADES TÍPICAS DE ALGUNS MATERIAIS À TEMPERATURA AMBIENTE	110
TABELA 22 - PONDERAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DOS ATRIBUTOS	110

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

(1)	27
(2)	34
(3)	34
(4)	41
(5)	46
(6)	46
(7)	46
(8)	46
(9)	47
(10)	47
(11)	55
(12)	55
(13)	61
(15)	61

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	23
1.1.1	Lubrificação	24
1.1.2	Contacto mecânico	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1.1	MÉTODO LINEAR	27
2.1.2	MÉTODO DAS 4 ESFERAS	29
2.1.3	MÉTODO PINO DISCO	31
2.1.4	COMPARAÇÃO DE MÉTODOS	33
2.2.1	Cálculos auxiliares para a determinação das características pretendidas do equipamento	34
3	DESENVOLVIMENTO	38
3.2.1	Requisitos principais dos materiais	40
3.2.2	Importância de cada propriedade	42
3.2.3	Famílias de materiais	42
3.2.4	Materiais eleitos para seleção final	43
3.2.5	Matrizes de seleção	44
3.2.6	Materiais utilizados	45
	AISI 4140 tratado – material principal para a constituição das várias peças do equipamento.	45
3.5.1	TM-AS0000	49
3.5.2	TM-AS0100 – SISTEMA DE SUPORTE DO DISCO	51
3.5.3	TM-AS0200	74
3.5.4	TM-AS0300	83

3.5.5	TM-AS0900	94
3.5.7	TM – AS0901	95
3.5.8	Casquilhos / Anel elástico	96
3.5.9	Célula de carga	97
3.5.10	Estrutura (Tipo de Perfil)	98
3.5.11	DESENVOLVI2	Erro! Marcador não definido.
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	101
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	105
5.1.1	BIB2	105
6	ANEXOS	108

INTRODUÇÃO

- 1.1 Tribologia
 - 1.1.1 Lubrificação
 - 1.1.2 Contacto mecânico

1 INTRODUÇÃO

“O tribómetro é um equipamento que tem a finalidade de medir quantidades tribológicas, tais como a força de atrito, o coeficiente de atrito e o volume de desgaste entre duas superfícies em contacto”

[1]

Os documentos do primeiro Tribómetro conhecido remontam ao século XVII, sendo atribuída a sua descoberta a Leonardo DaVinci e valendo-lhe o título de Pai da Tribologia moderna. Através de medições das forças de atrito em planos horizontais e inclinados, este físico comprovou que as forças de atrito são diretamente afetadas pela força normal e pelo deslizamento dos corpos sendo independente da área de contacto aparente.

Quando dois corpos se encontram em contacto são transmitidas forças de um corpo para o outro, originando uma zona dinâmica de forças. No nosso quotidiano sempre que dois corpos se encontram em contacto direto ou indireto (lubrificantes) há lugar a forças de atrito, inerentes aos tipos de materiais, à geometria das peças, às cargas solicitadas, à temperatura, à pressão, entre outros fatores. Estas forças condicionam os contactos relativamente à qualidade e durabilidade dos mesmos, uma vez que afetam diretamente as restantes forças transmitidas nos mesmos. O conhecimento prévio do comportamento dos contactos é crucial no desenvolvimento de projetos de equipamentos onde milhares de contactos funcionam sincronamente a velocidades muito elevadas sobre pressões de grandes magnitudes. Não sendo possível monitorizar todos os contactos em tempo real e à escala real, devido aos custos exorbitantes inerentes a esse tipo de estudo, foram desenvolvidos tribómetros que permitem simular em laboratório a uma escala reduzida, o comportamento de diferentes contactos dinâmicos. Como muitos contactos são auxiliados por lubrificantes na transmissão das suas forças, os tribómetros atuais permitem a inclusão de diferentes tipos de lubrificantes, em diferentes estados, para medição de propriedades de atrito e desgaste de combinações de materiais e lubrificantes sob condições específicas de carga, velocidade, temperatura e atmosfera . [2]

1.1 Tribologia

“Ciência e Tecnologia das superfícies interagentes em movimento relativo e matérias e métodos com elas relacionadas.”[3]

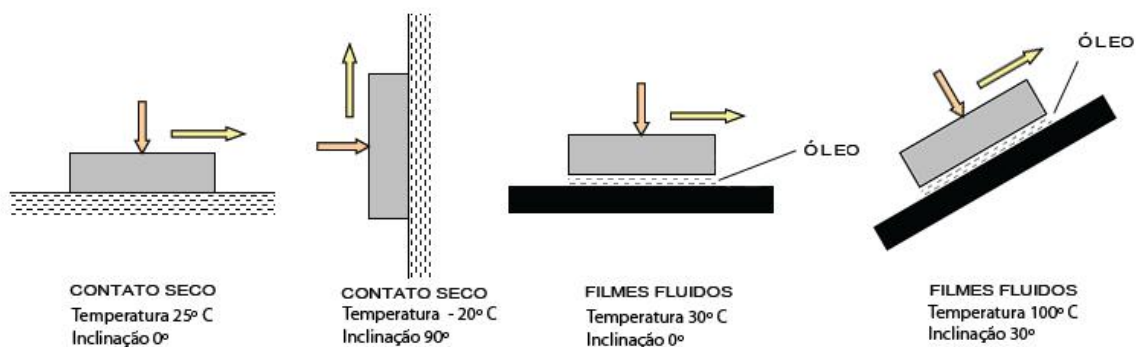
A tribologia baseia-se no estudo do atrito e do desgaste existente em todos os tipos de contactos. Ao estabelecer uma relação entre tribologia e elementos mecânicos e contactos presentes nas máquinas, conclui-se que a tribologia está presente em todas as atividades do quotidiano, uma vez que, sempre que duas superfícies se encontram em contacto, são desenvolvidas zonas dinâmicas tribológicas. Desde as ações mais básicas da rotina diária, como escovar de dentes, às atividades que exigem uma maior complexidade, como sistemas de engrenagem síncronos, a presença da tribologia não pode ser ignorada.

1.1.1 Lubrificação

A lubrificação surge associada aos estudos tribológicos e representa-se pela existência de um fluido ou qualquer matéria com propriedades untosas presente no contacto. A lubrificação tanto pode apresentar-se como uma mais valia para o contacto mecânico, como é o exemplo da lubrificação das engrenagens, como pode também ser prejudicial para o contacto pretendido, como é o caso da adesão do pneu ao solo onde a água funciona como um lubrificante indesejável. [3]

1.1.2 Contacto mecânico

Dois corpos encontram-se em contacto quando se aplica uma força num dos corpos e esta é transmitida ao outro, sendo considerado um contacto mecânico quando os corpos são pressionados, não tendo de existir necessariamente movimento entre eles.



Diferentes Sistemas Tribológicos. Adaptado (Leal, 1981)

Figura 1 – Tipos de contactos

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Métodos de Atuação

2.1.1 Método linear

2.1.2 Método das 4 esferas

2.1.3 Método Pino Disco

2.1.4 Comparação de métodos

2.2 Resumo das características do equipamento

2.3 Coeficiente de segurança

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“Um povo que não conhece a sua história está condenado a repeti-la-”

-Edmund Burke

O projeto de um equipamento carece de investigação dos equipamentos idênticos existentes a fim de se ultrapassarem as barreiras com que os demais se deparam. Desta forma, a projeção do tribómetro iniciou-se pelo estudo da oferta do mercado, sendo possível concluir que estes se encontram subdivididos por métodos de atuação e que os mais comercializados são o método Linear, o método das 4 esferas e o método Pino-Disco. Nos pontos que se seguem será realizada uma apresentação de cada um dos métodos.

2.1 Métodos de Atuação

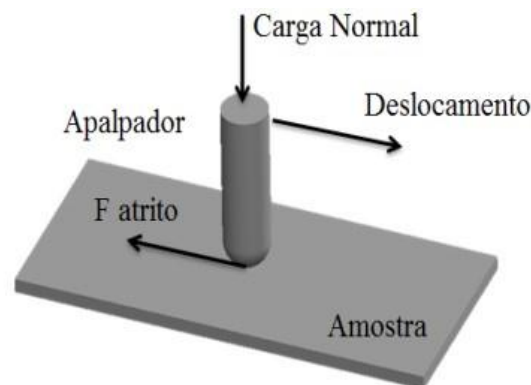


Figura 2 – Esquematização do método linear.

2.1.1 MÉTODO LINEAR

O método linear é o método mais utilizado para análise de superfícies com áreas de contacto muito reduzidas e consiste no deslizamento retilíneo de um apalpador numa amostra ou vice-versa. É aplicada uma determinada carga na direção do eixo do apalpador que, combinada com o movimento de deslocamento de um corpo relativamente ao outro, desenvolve uma Força de atrito contrária ao movimento do pino.

A força de atrito desenvolvida pode ser obtida diretamente pela colocação de uma célula de carga ligada ao pino obtendo-se o coeficiente de atrito através da equação:

$$\mu = \frac{F_{atrito}}{F_{normal}} \quad (1)$$

2.1.1.1 Tribómetro linear recíproco

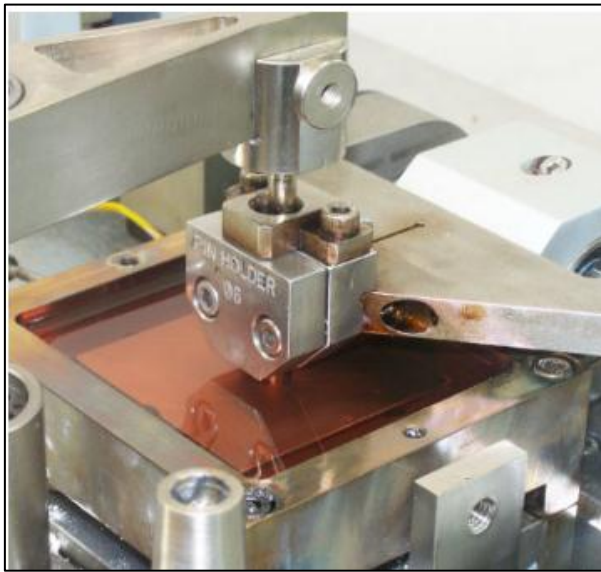


Figura 5 – Ensaio método linear recíproco com filme lubrificante.



Figura 3 – Ensaio do método linear- posição inicial do pino relativamente à placa.

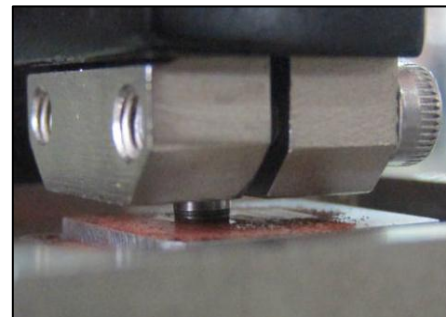


Figura 4 – Ensaio do método linear - Penetração do pino na placa.

O tribómetro linear de movimento recíproco apresentado permite realizar testes de grande amplitude e baixa frequência, bem como testes de baixa amplitude e alta frequência. Este equipamento apresenta-se apto para analisar lubrificantes, camadas superficiais e zonas *bulk* dos materiais.

Na Figura 5 é possível observar o núcleo do equipamento na realização de teste a um contacto lubrificado, enquanto que nas figuras do lado direito se encontram dois testes ao contacto entre materiais, com apalpadores diferentes, o que permite simular diferentes contactos entre materiais.

Características principais:

Tabela 1 – Especificações técnicas do tribómetro linear.

Marca / Modelo	Ducom / LRT
Força máxima	200 N
Frequência	4 a 40 Hz
Curso máximo	1 a 30 mm

2.1.2 MÉTODO DAS 4 ESFERAS

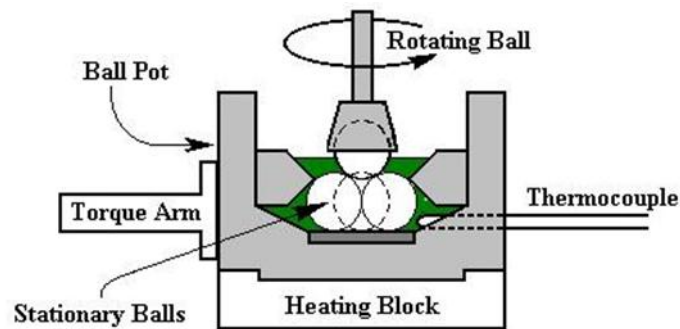


Figura 6 – Esquemática do ensaio do método das 4 esferas.

O teste das 4 esferas tem como principal objetivo a análise de lubrificantes. Para o efeito dispõem-se 3 esferas em triângulo num recipiente adequado, com o óleo que se pretende analisar. O tribómetro aproxima uma 4ª esfera (de igual diâmetro das anteriores) a este conjunto, sendo que a esfera acoplada ao tribómetro se encontra em rotação. Regista-se o tempo que a bola superior necessita para se unir às outras através de soldadura. Este processo dá-se devido ao calor gerado durante a fricção entre as esferas.

A qualidade do óleo está diretamente relacionada com o tempo necessário para soldar as esferas imersas no lubrificante, sendo que a qualidade do óleo será superior se o tempo de ensaio for mais extenso. Há casos em que as esferas não são soldadas durante o tempo de teste, considerando-se o lubrificante muito bom.

Este método é útil na caracterização e avaliação do lubrificante de teste, uma vez que, ao não ser variável o material das esferas nos testes, não se obtém informação sobre o comportamento dos contactos entre os sólidos.

O ensaio é controlado pela norma ASTM D4172.

Nota: este método não será o selecionado uma vez que, ao encontrar-se normalizado, não permite alterações à sua estrutura base.

2.1.2.1 Tribómetro 4 esferas



Figura 9 – Ninho do tribómetro 4 esferas.



Figura 9 – Exemplo de recipiente que contém as esferas e o lubrificante.



Figura 9 – Esferas soldadas.

O tribómetro de 4 esferas comercializado pela marca **Ducom** permite ensaiar óleos lubrificantes e aditivos. O teste é pouco moroso, apresenta boa repetibilidade (sistema mecanicamente simples), baixa margem para falha e utiliza amostras esféricas de preço reduzido, tornando-se uma mais valia para testes rápidos e eficientes.

Na Figura 9 e na Figura 9 é possível observar o núcleo do equipamento preparado para a realização do ensaio. Na primeira imagem encontra-se a esfera presa ao braço do equipamento que será aproximada às restantes três esferas, já colocadas no prato de ensaio (figura 11).

Características principais:

Tabela 2 – Especificações técnicas do tribómetro de 4 esferas

Marca / Modelo	Ducom / Four Ball Tester
Velocidade Angular	3000 rpm ou 10000 rpm (opcional)
Test Load	Até 10 000 N
Temperatura	T_{amb} até 100 °C

2.1.3 MÉTODO PINO DISCO

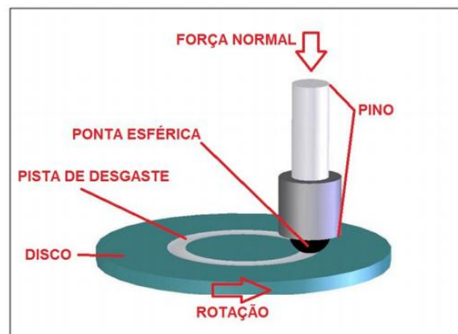


Figura 10 – Esquematização do ensaio do método pino disco.

O método do pino disco consiste na aproximação de um pino a um disco em rotação, de onde resultará uma pista de desgaste no disco.

O ensaio pretende analisar as forças de atrito desenvolvidas com diferentes materiais em contacto e, para esse efeito, varia-se o diâmetro do pino, a carga aplicada ao mesmo e a posição relativa do pino ao centro do disco. No disco é possível alterar a velocidade de rotação do mesmo, através de um variador de tensão incluso ao motor.

2.1.3.1 Tribómetro Pino-Disco

Os equipamentos Pino-Disco são muitas vezes comercializados a par com os tribómetros universais pois são as máquinas que permitem maior versatilidade na realização dos testes. Uma vez que são aptos para contactos secos e contactos lubrificados, permitem a variação da temperatura do óleo (dependendo do tipo de contacto que se pretende estudar, há tribómetros que utilizam óleos a temperaturas negativas e a altas temperaturas), variação dos materiais do pino e do disco e das velocidades de ensaio. Existem várias empresas que comercializam este tipo de equipamentos, salientando-se, pela variedade de máquinas que disponibiliza, as *NANOVEA*, *ANTON PAAR*, *CSM instruments*, *RTEC*, *PLINT*, entre outras.

Exemplos de equipamentos comercializados:



Figura 12 – Tribómetro pino disco comercializado pela Anton Paar.

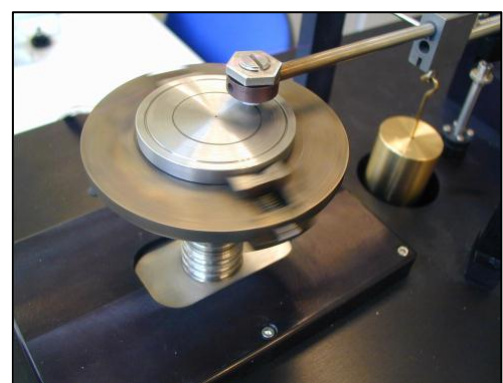


Figura 12 – Tribómetro Pino disco comercializado pela Anton Paar 2

Os dois equipamentos anteriormente apresentados são aptos para a medição do atrito e do desgaste podendo funcionar com cerâmicos, metais, plásticos e filmes lubrificantes. A aquisição dos dados é feita por um software e é transmitida por um computador auxiliar.

O *TBR*³ possui um sensor que mede a força de atrito e também monitoriza a humidade e a temperatura ao longo do teste. O ISC-200 PC é um equipamento mais simples, mas igualmente robusto, que utiliza um profilómetro (para medir a rugosidade da pista) e quantifica o material removido do pino para calcular o atrito desenvolvido no contacto. Ambas são máquinas de bancada compatíveis com a norma ASTM e podem ser utilizadas em laboratórios escolares, visto que são de simplificada utilização.

Características dos equipamentos:

Tabela 3 – Especificações técnicas do tribómetro pino sobre disco - modelo *TBR*³ e ISC-200 PC

Marca / Modelo	Anton Paar / <i>TBR</i> ³	Falex / ISC-200 PC
Velocidade de rotação	1 a 500 rpm (1500 rpm opcional)	Up to 180 rpm (400,800,1500 opcional)
Máximo Torque	450 N.mm	-
Força de atrito (sensor LVDT)	Até 10 N (20 N opcional)	-
Dimensões máximas do disco	∅ máximo 60 mm	∅ máximo 70 mm
Espessura máxima do disco	Até 15 mm	-
Carga normal máxima	10 N (60 N opcional)	10 N

2.1.4 COMPARAÇÃO DE MÉTODOS

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do diferentes métodos de atuação dos tribómetros.

	Vantagens	Desvantagens
Linear	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenção de pistas de desgaste maiores com a variação do diâmetro do apalpador; - Método muito utilizado, o que leva a equipamentos otimizados; - Permite a análise de lubrificantes, se o equipamento estiver equipado para o efeito; 	<ul style="list-style-type: none"> - A velocidade do ensaio não é constante pois existem períodos de aceleração e desaceleração;
4 esferas	<ul style="list-style-type: none"> - Método simples e de fácil análise dos resultados, uma vez que o tempo de solda serve como método comparativo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não permite avaliar o comportamento do contacto de diferentes materiais, pois só avalia a lubricidade dos fluidos; - A norma regulariza todo o equipamento, não sendo possível fazer alterações a estes.
Pino-disco	<ul style="list-style-type: none"> - Eficaz na nos testes de desgaste e atrito simples para matérias com revestimento de baixo atrito; - Realização de testes a diferentes velocidades; 	<ul style="list-style-type: none"> - Muito moroso na avaliação de materiais de alta dureza; - Escorregamento, no caso de má fixação do disco ou má configuração dos parâmetros o pino pode ficar encravado nas pistas de desgaste e comprometer os resultados.

Concluída a comparação entre os principais métodos de atuação dos tribómetros, selecionou-se o tribómetro do tipo pino-disco, por se considerar que este apresenta maior versatilidade de condições de ensaio e se encontra apto para contactos sólidos e lubrificantes.

2.2 Resumo das características do equipamento

Em todos os equipamentos que se projetam, existe um caderno de encargos associado onde se encontram esclarecidos os pontos principais que o cliente pretende que estejam inclusos à máquina. Seria um erro não iniciar um projeto pela leitura cuidada e pela revisão de todos os dados já fornecidos, pois um equipamento só será bem conseguido se satisfizer os requisitos pelos quais foi encomendado. Neste sentido, seguem-se as especificações fornecidas:

O equipamento deve ser capaz de:

- ✓ Analisar o atrito desenvolvido entre um pino e um disco;
- ✓ Recolher o óleo que permita a análise de partículas metálicas;
- ✓ Desenvolver uma pista de desgaste no prato.

Para facilitar a leitura das características quantitativas do equipamento desenvolveu-se a tabela que se encontra em baixo.

Tabela 5 – Especificações técnicas pretendidas do tribómetro pino sobre disco

Características	Dimensões	
$V_{\text{máx}}$	$v = 3 \text{ m.s}^{-1}$	Requisito projeto
\emptyset máx. do disco	$d_{\text{disco}} = 0,120 \text{ m}$	Requisito projeto
\emptyset máx. pino	$d_{\text{pino}} = 0,005 \text{ m}$	Requisito projeto
Carga normal máxima	Até 5 kg	Requisito projeto
$T_{\text{máx}}$	100 °C	Requisito projeto
Pressão máxima	$P_{\text{max}} = 3 \times 10^6 \text{ Pa}$	Requisito projeto
Rotações	$n \approx 500 \text{ rpm}$	Calculado – Equação X
Força máxima	$F_{\text{max}} \approx 60 \text{ N}$	Calculado – Equação X

2.2.1 Cálculos auxiliares para a determinação das características pretendidas do equipamento

Rotações:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{\text{disco}} \cdot n}{60} \Leftrightarrow 3 = \frac{\pi \cdot 0,120 \cdot n}{60} \Leftrightarrow n = 477,46 \text{ rpm} \quad (2)$$

Força máxima:

$$P_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_{\text{secção pino}}} \Leftrightarrow 3 \times 10^6 = \frac{F_{\text{max}}}{\pi \times 0,0025^2} \Leftrightarrow F_{\text{max}} = 58,90 \text{ N} \quad (3)$$

2.3 Coeficiente de Segurança

A utilização de coeficientes de segurança (cs) ou fatores de segurança é da extrema importância, na medida em que os equipamentos operam frequentemente em condições ambientais diferentes daquelas para as quais se projetou a máquina. Também os materiais, passando por vários processos, como tratamentos, maquinação (...) até à obtenção da peça final, podem variar ligeiramente as suas propriedades relativamente às que estão tabeladas.

Devido a estas incertezas utilizam-se diferentes valores de coeficientes de segurança para providenciar fiabilidade à máquina. A imagem que se segue é um quadro resumo proposto por Robert L. Norton que auxilia a seleção do fator de segurança de acordo com as informações disponíveis.

Fatores utilizados para determinar um coeficiente de segurança para materiais dúcteis		
Informações	Qualidade as informações	Fator
Dados disponíveis a partir de testes	Material utilizado foi testado	1,3
	Dados representativos de testes do material estão disponíveis	2,0
	Dados razoavelmente representativos de testes disponíveis	3,0
	Dados insuficientes representativos de testes estão disponíveis	5,0 +
Condições Ambientais Conhecidas	São idênticas as condições dos testes realizados	1,3
	Igual a de ambiente de laboratório	2,0
	Ambiente moderadamente desafiador	3,0
	Ambiente extremamente desafiador	5,0 +
Modelos Analíticos para forças e tensões	Modelos foram testados em experimentos	1,3
	Modelos testados apresentam precisamente o Sistema	2,0
	Modelos aproximados	3,0
	Modelos são aproximações grosseiras	5,0+

Fonte Projeto de Máquinas – Robert L. Norton

Figura 13 – Fatores utilizados para determinar coeficiente de segurança. (Robert L Norton)

Em seguida encontra-se a interpretação do quadro para o equipamento pino-disco a projetar. O coeficiente de segurança obtido será utilizado nas equações dos capítulos seguintes.

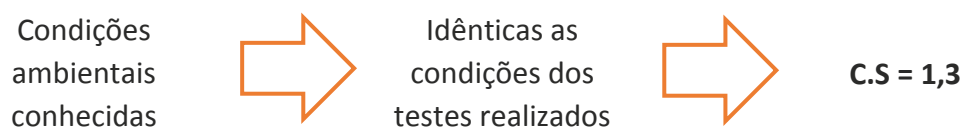


Figura 13 – Sequência para obtenção do coeficiente de segurança. (Autor)

DESENVOLVIMENTO

3.1 DESENVOLVIMENTO

3 DESENVOLVIMENTO

"The best design is the simplest one that works."

-Albert Einstein

Este capítulo engloba todos os componentes finais do equipamento, bem como todas as ideias que suportaram as diferentes etapas do projeto.

3.1 REGRAS FUNDAMENTAIS PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO

As diretrizes que a seguir se apresentam têm como objetivo auxiliar os projetistas a reduzir custos e a facilitar a maquinação/produção das peças que constituem os equipamentos. Estas regras estarão presentes na elaboração de cada componente a fim de obter um equipamento **otimizado**.

- i. **Reduzir o número total de peças** – onde se deduz que o equipamento deve ser simplificado, de modo a facilitar e aumentar a rapidez do processamento das peças. O mesmo se aplica para o material, que se deve generalizar o mais possível.
- ii. **Utilização de “conjuntos tipo”** – o uso de “peças tipo” simplifica o projeto e fornece informação antecipada sobre o comportamento de certo componente.
- iii. **Utilização de itens normalizados** – a regra traduz que não se constroem peças de mercado. A alta disponibilidade destes componentes reduz os prazos de entrega, tendo ainda a vantagem de se encontrarem de acordo com a normalização em vigor.
- iv. **Peças com design multifuncional** – se possível fazer componentes iguais. No caso de duas peças idênticas adaptar uma à outra, de modo a obter apenas uma peça que pode ser utilizada com funções diferentes, sendo objetivo poupar tempo de CAD e CAM.
- v. **Desenvolver peças com várias funções** – desenvolver famílias de componentes de modo a agilizar o processo de adaptação destas peças.
- vi. **Projetar com vista a facilitar a maquinação** – ter em atenção o material a utilizar, as limitações da maquinação e as tolerâncias desnecessárias.

- vii. **Usar elementos de fixação semelhantes** – as fixações devem ser não permanentes, para facilitar a substituição de peças de desgaste. A medida dos parafusos também deve ser generalizada.
- viii. **Minimizar as direções de montagem** – todas as peças devem ser montadas na mesma direção. A direção predileta deve ser de cima para baixo, paralela à direção gravitacional.
- ix. **Maximizar a conformidade** – recorrer a sensores para garantir a correta posição dos elementos. Nas peças, utilizar cavilhas, fazer os devidos chanfros de entrada e raios para facilitar a correta e intuitiva montagem dos componentes. Criar sempre zonas de saídas para os componentes adicionados na montagem como porcas, cavilhas, pinos e anilhas.
- x. **Montagem intuitiva** – a montagem intuitiva consiste no posicionamento orientado. Para facilitar a montagem deve evitar-se componentes simétricos. Se tal não for possível, devem fazer-se o mais assimétricos possível. Utilizar orientadores como cavilhas e/ou rasgos para minimizar erros na montagem.

3.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS

Na seleção dos materiais a utilizar decidiu-se fazer um estudo mais abrangente, a fim de obter um material principal. Por questões de facilidade de aquisição das matérias primas e para agilizar a maquinação das peças, haverá um material que constituirá a maior parte das peças, optando-se por outras soluções sempre que o material preponderante não cumprir os requisitos necessários.

3.2.1 Requisitos principais dos materiais

Na Tabela 6 encontra-se a justificação que levou à seleção de cada requisito.

Tabela 6 – Justificação da seleção de cada requisito

Nº	REQUISITO	JUSTIFICAÇÃO
R1	Resistente à fadiga	Peças sujeitas a movimentos cíclicos.
R2	Elevada rigidez	Peças não podem sofrer deformação em excesso e/ou fratura e assim assegurar resultados com rigor.
R3	Resistente ao impacto	As peças móveis do equipamento (calibração dos pesos) podem embater noutros componentes.
R4	Resistente à corrosão	Não libertar partículas que possam contaminar o óleo em análise.
R5	Durabilidade	Peças com propriedades que suportem as tensões a que são solicitadas de forma resistentes e duradoura.
R6	Ser leve	Para facilitar o manuseamento do equipamento.
R7	Fácil de fabricar	Reduzir erros e despesas a elaboração das peças.
R8	Preço	Serão estruturadas várias peças do mesmo material.

Decididos os requisitos mais relevantes, foram realizadas correspondências com as propriedades dos materiais e as suas unidades, ilustradas na **Erro! Autorreferência de marcador inválida.**

Tabela 7 - Propriedades correspondentes a cada requisito

Nº	REQUISITO	PROPRIEDADE REQUERIDA	UNIDADES
R1	Resistente à fadiga	σ_f – Tensão limite de fadiga	MPa
R2	Elevada rigidez	E - Módulo de Elasticidade	MPa
R3	Resistente ao impacto	K_{IC} – Tenacidade à fratura	MPa \sqrt{m}
R4	Resistente à corrosão	Resistente corrosão	-
R5	Durabilidade	σ_y – Tensão de cedência	MPa
R6	Ser leve	ρ – Densidade	Kg/m ³
R7	Fácil de fabricar	Maquinabilidade	-
R8	Preço	Custo/kg	€/kg

Para simplificar os cálculos que se seguem recorreu-se a um índice de material. Os índices de material permitem, com o auxílio de diagramas (exemplo diagrama de Ashby), relativizar dois (ou mais) requisitos num só e estabelecer que famílias de matérias ou material oferece o melhor compromisso.

Deste modo, tem-se que:

$$M = \frac{E}{\rho} \quad (4)$$

Exemplo de um diagrama de Ashby:

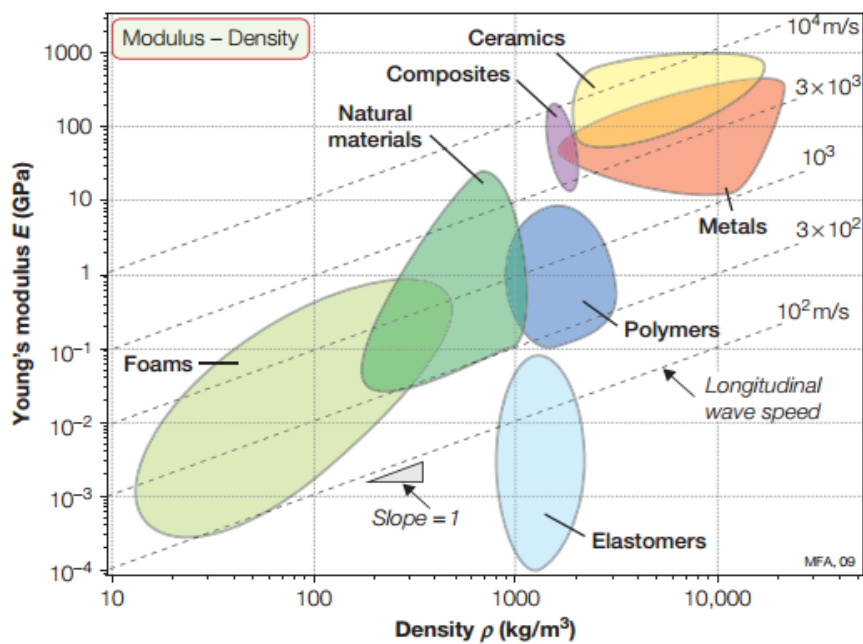


Figura 14 – Diagrama de Ashby.

Para utilizar o diagrama devem traçar-se linhas horizontais e verticais com os valores correspondentes das propriedades de cada material, analisar o ponto obtido e assim estabelecer um ranking entre materiais.

3.2.2 Importância de cada propriedade

Na tabela que se segue é possível visualizar o peso atribuído a cada propriedade, bem como a sua justificação. Para o efeito, utilizou-se uma escala de 1 a 5, sendo que 5 caracteriza propriedades muito importantes e 1 propriedades pouco importantes.

Relativamente à importância de cada propriedade atribui-se:

Tabela 8 – Quadro resumo da Importância atribuída a cada propriedade

Nº	PESO (1-5)	PROPRIEDADES
P1	5	Tensão limite de fadiga
P2	4	Tenacidade à fratura
P3	3	Resistente corrosão
P4	4	Tensão de cedência
P5	3	Maquinabilidade
P6	2	Custo
P7	5	Índice de material

3.2.3 Famílias de materiais

Na imagem que se segue encontra-se um esquema das famílias de materiais existentes. A partir deste esquema serão analisadas as famílias de materiais que se adequam aos requisitos mencionados no ponto anterior.

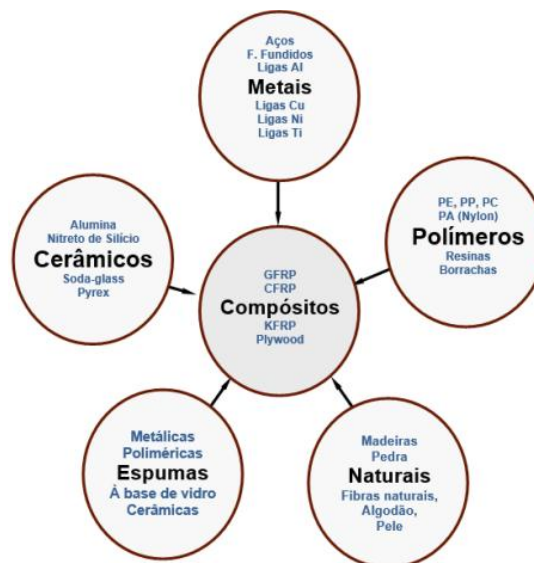


Figura 15 – Famílias de materiais existentes

Na tabela que se segue encontra-se um resumo dos motivos que levaram à exclusão de algumas famílias de materiais.

Tabela 9 – Famílias de materiais

Família	Motivos da exclusão da família
Compósitos	Junção de dois ou mais materiais. Geralmente são materiais dispendiosos e utilizam-se quando não existe um material de outra família que preencha os requisitos.
Polímeros	Na generalidade, sofrem grandes deformações elásticas a baixas temperaturas pois que possuem baixos pontos de fusão. Existem polímeros com pontos de fusão mais elevados, mas são muito dispendiosos.
Naturais	Caracterizam-se por possuírem módulos de elasticidade muito baixos e sofrerem extensões elásticas muito elevadas.
Espumas	Não possuem propriedades mecânicas adequadas.
Cerâmicos	Muito frágeis, possuem baixa tolerância à concentração de tensões.

Excluídas as famílias cujas características não satisfazem os requisitos estipulados, resta a **família dos metais** para selecionar os materiais. A grande divisão desta família consiste em metais ferrosos e não ferrosos, sendo que no primeiro grupo o encontram-se os aços e os ferros fundidos cujo principal elemento de liga é o ferro. Os metais não ferrosos incluem as Ligas de Alumino, de Cobre, de Titânio, entre outras.

3.2.4 Materiais eleitos para seleção final

Para a seleção dos materiais teve-se o cuidado de selecionar diferentes ligas de metais no sentido de abranger da melhor forma a família dos materiais metálicos.

Tabela 10 – Propriedades típicas de alguns materiais à temperatura ambiente

Nº	Material	Propriedades
MT1	AISI 1045 tratado	Ver anexo X
MT2	AISI 4140 tratado	
MT3	AISI 316	
MT4	Al 5083 – H12	
MT5	CuZn10	

3.2.5 Matrizes de seleção

As matrizes de seleção servem como ferramentas de auxílio à seleção de materiais e podem ser utilizadas como métodos quantitativos ou qualitativos.

A análise quantitativa permite atribuir um fator de valência a cada propriedade, comparando-se todos os atributos com todos os outros numa base de 100. Posto isso normalizam-se os resultados a 100%, caracterizando-se este passo como “ponderação”.

O quadro que se segue é um resumo da tabela XXX, que se encontra em anexo.

Tabela 11 – Ponderação percentual de cada propriedade

Propriedade	Ponderação (%)
P1	18,6
P2	15,2
P3	11,9
P4	15,2
P5	11,9
P6	6,7
P7	20,5

Após a ponderação das propriedades, preencheu-se uma matriz de seleção tipo (disponibilizadas nas aulas de Seleção de Materiais e Processos de Fabrico lecionada no 1º ano do corrente mestrado). Posteriormente, foi apurado o índice de desempenho de cada material, que se apresenta na tabela seguinte.

Tabela 12 – Quadro resumo da tabel YY anexos

Propriedade	Ponderação (%)
AISI 1045 (tratado)	57,06
AISI 4140 (tratado)	69,12
AISI 316	66,24
Al 5083 – H12	52,92
CuZn10	45,05

Da Tabela 12 conclui-se que o material que constitui um melhor compromisso com as propriedades estabelecidas é o **AISI 4140 tratado**.

3.2.6 Materiais utilizados

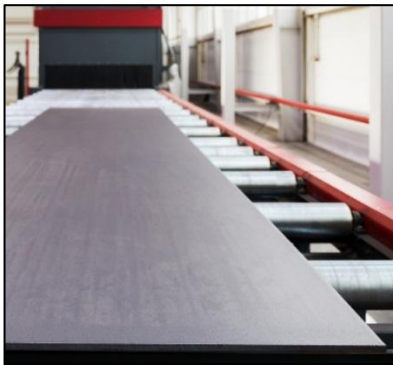


Figura 18 – chapa de aço.



Figura 18 – aço em bruto



Figura 18 - Policarbonato

AISI 4140 tratado – material principal para a constituição das várias peças do equipamento.

AISI316 – este material, à semelhança do anterior, pertence à família dos aços, com a vantagem de ser inoxidável. Uma das principais vantagens deste material é a sua comercialização em chapas de diferentes espessuras, o que agiliza o processo de obtenção das peças e possui um baixo custo. As peças são obtidas de forma rápida e simples através de processos de corte de laser ou com recurso a prensas. Após o corte das peças, estas podem ser quinadas (dependendo da função da peça) e/ou esmeriladas para conferir melhor acabamento visual às mesmas.

Também é comum encontrar-se este material em blocos para estruturação por maquinação convencional/CNC, sendo que o tempo de obtenção das peças é moroso devido à sua elevada dureza. As suas propriedades tornam este material muito utilizado em veios, onde é necessário possuir grandes acabamentos e finas tolerâncias.

Al 5083 – H12 – para a estruturação da base do equipamento, designada daqui para a frente como “tampo”, selecionou-se a liga de alumínio do estudo elaborado no ponto anterior para a sua estruturação, uma vez que se trata de uma peça de grandes dimensões. O AISI 4140 tratado não constitui a melhor solução porque tem um acréscimo de massa e de dificuldade de maquinação muito elevado quando comparado com alumínio, para a mesma peça final.

Policarbonato compacto – ou poliestireno pertence à família dos polímeros termoplásticos, é transparente, comercializa-se em placas e permite gravações. É a solução ideal para fechar acessos que se demonstrem perigosos nas máquinas (arestas vivas, cilindros em movimento, projeção de limalhas, óleos, etc.), permitindo a monitorização visual dos mesmos. O seu ponto de fusão acontece aos 145°C, o que permite a sua integração no equipamento, sendo a temperatura do óleo 100º.

3.3 Forças envolvidas no sistema

Para o correto dimensionamento dos componentes que constituem o equipamento, foi necessário fazer um estudo dos valores das forças envolvidas no sistema. Neste sentido, começou-se por se analisar as forças no local onde estas possuem mais relevo, entre o pino e o disco.

Força máxima:

A força máxima está diretamente relacionada com o carregamento aplicado ao equipamento. Sendo um dos pré-requisitos a carga máxima de 5 kg, tem-se que:

$$F_{\text{carregamento}} = m_{\text{máx}} \cdot g = 5 \cdot 10 = 50\text{N} \quad (5)$$

Aplicando o coeficiente de atrito,

$$F_{\text{máx}} = F_{\text{carregamento}} + c.s = 65\text{N} \quad (6)$$

Força de arrasto:

Esta força desenvolve-se no contacto lubrificado entre o pino e do disco. Estando o pino fixo, a força de arrasto é provocada pelo movimento circular do disco no sentido contrário ao do movimento do motor.

A distância máxima ($b_{\text{máx}}$) entre o centro do disco e o pino é igual ao raio do disco (60 mm), pois é o curso máximo útil onde as duas superfícies se encontram em contacto.

O coeficiente de atrito (μ) é uma relação entre a força normal e o atrito num contacto¹, sendo que está diretamente relacionado com o tipo de contacto (lubrificado ou não) e com os materiais intervenientes neste jogo. Sendo $0 < \mu < 2$, utilizou-se o maior valor admissível e que apresenta a pior situação relativamente a dois corpos em contacto.

$$M_{\text{motor}} = \mu \cdot F_{\text{motor}} \cdot b_{\text{máx}} \Leftrightarrow F_{\text{motor}} = \frac{M_{\text{motor}} \cdot \mu}{b_{\text{máx}}} = \frac{0,98 \cdot 2}{0,06} = 32,7\text{N} \quad (7)$$

Aplicando o coeficiente de atrito,

$$F_{\text{arrasto}} = F_{\text{motor}} + c.s = 32,7 \cdot 1,3 = 42,51\text{N} \quad (8)$$

¹ Informação disponível em "Tribologia", Luís Magalhães

3.4 FIXAÇÕES

As fixações utilizadas no equipamento serão do tipo ligações não definitivas, de modo a facilitar a montagem e desmontagem do equipamento, no caso de ser necessário substituir alguma peça e/ou componente de mercado. Estas ligações são feitas através de parafusos e/ou cavilhas para garantir o posicionamento das peças.

Para auxiliar a seleção do tamanho de parafuso a utilizar calculou-se a resistência ao corte dos tamanhos mais utilizados.

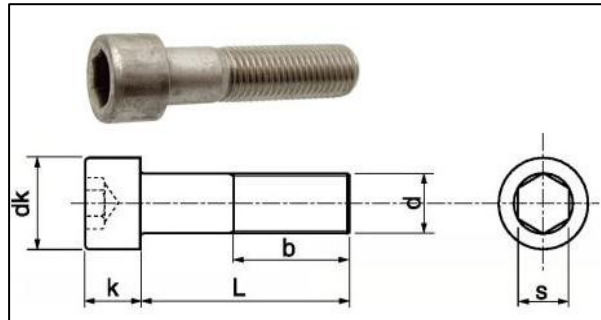


Figura 19 - Parafuso de Inox, cabeça cilíndrica com sextavado

Segundo a norma DIN912, os parafusos são elaborados em aço, sendo a tensão de cedência para este material 205 MPa.

Cálculo do esforço de corte de um parafuso:

$$V \leq \frac{\frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \cdot A \cdot 3}{c \cdot s \cdot 4} \quad (9)$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (10)$$

Partindo das fórmulas (9) e (10) e das especificações técnicas dos parafusos discriminadas em “Desenho Técnico Básico”, Simões Morais construiu a tabela que se segue.²

Tabela 13 – Quadro resumo do cálculo do esforço dos parafusos.

Parafuso	Passo [mm]	r [mm]	A [mm ²]	σ_y [MPa]	c.s	V [MPa]
M4	0,7	1,62	8,25			563
M5	0,8	2,07	13,41			916
M6	1	2,46	18,97			1296
M8	1,25	3,32	34,67			2367
M10	1,5	4,19	55,06			3759
M12	1,75	5,05	80,14			5472

² O parâmetro “r” foi determinado segundo a fórmula $d_1 = d - 1,085P$, P=passo.

3.5 COMPONENTES

Na tabela que se segue é possível visualizar o a referência atribuída a cada componente bem como a sua função no equipamento.

Tabela 14 – Designação de cada componente e respetiva função.

Designação	
TM - AS001	Pino
TM - AS002	Peça que suporta o Pino
TM - AS003	Peça que suporta o pino (dif \emptyset)
TM - AS004	Disco
TM - AS005	Peça que suporta o ds
TM - AS006	Vasilha do óleo
TM - AS007	Tampa de rolamentos

3.5.1 TM-AS0000

No conjunto TM-AS0000 estão contidos todos os subconjuntos que facilitam a montagem intuitiva e faseada do equipamento.

Na imagem que segue encontra-se uma representação 3D, elaborada em *Solidworks*, do aspeto final do equipamento.

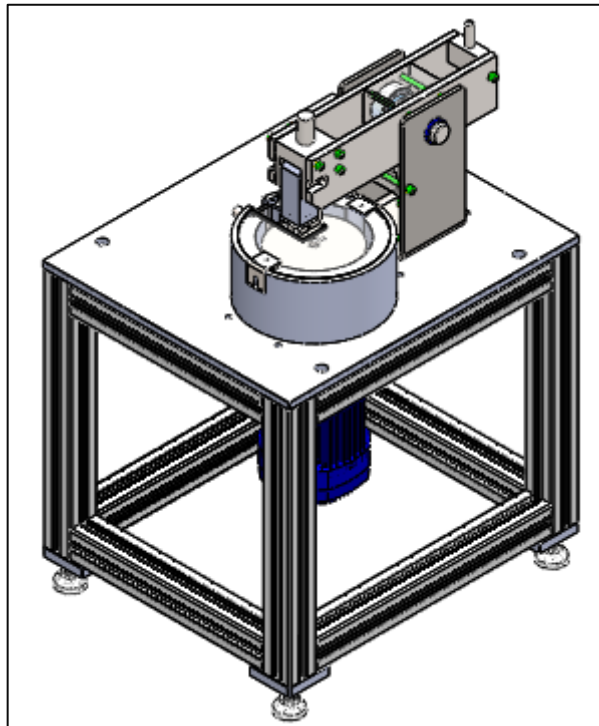
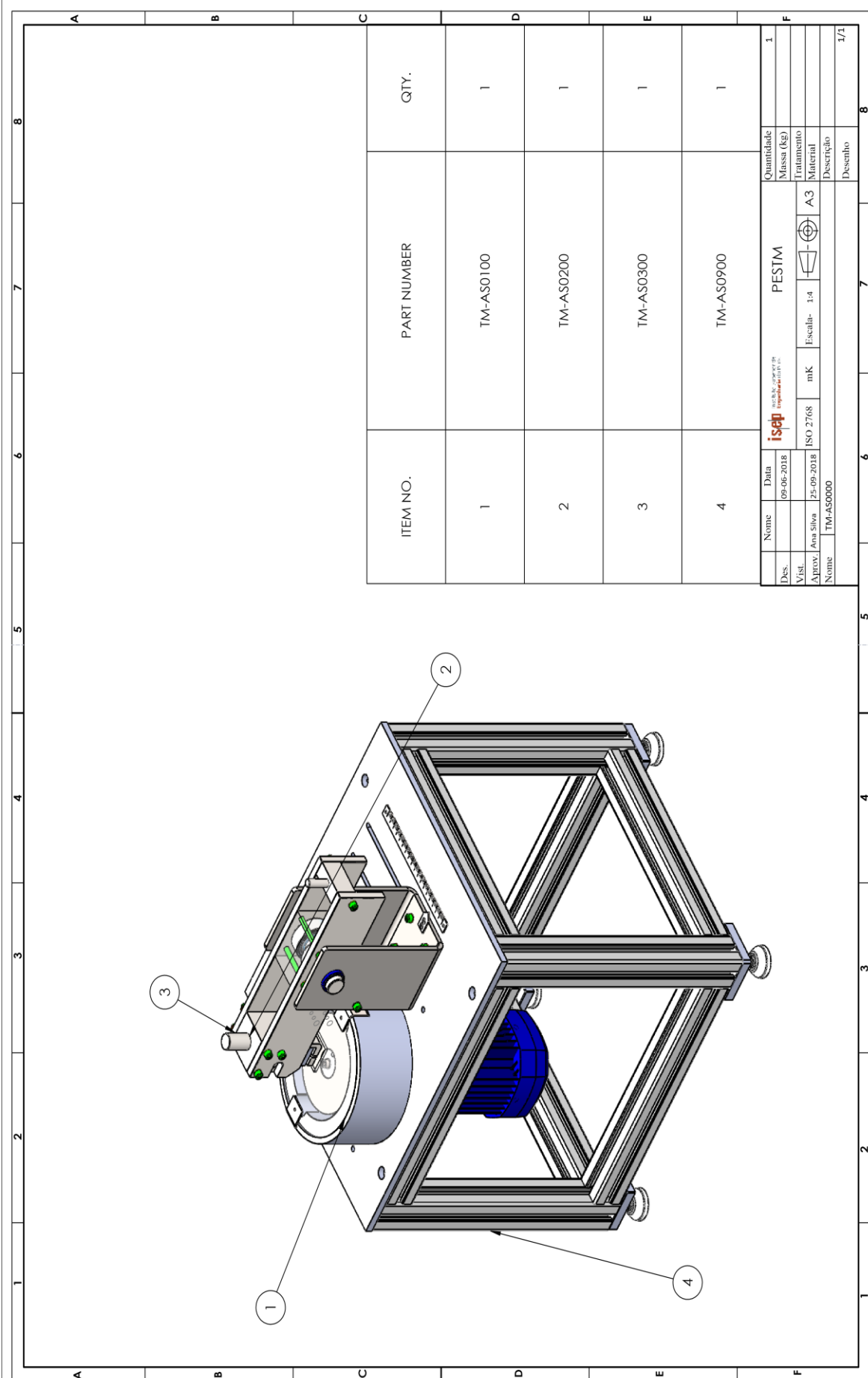


Figura 20 - Conjunto ASTM0000

Na tabela que se segue encontram-se os subconjuntos que constituem o ASTM0000.

Tabela 15 – Subconjuntos do conjunto ASTM0000

Referência do conjunto	Descrição do conjunto
TM - AS0100	Sistema de suporte do disco
TM - AS0200	Sistema fixação pino
TM - AS0300	Sistema de posicionamento do pino
TM – AS0900	Estrutura



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	TM-AS0100	1
2	TM-AS0200	1
3	TM-AS0300	1
4	TM-AS0900	1

Nome	Data	isq	PESTM	Quantidade	1
Des.	09-06-2018	ISO 2768	ESCALA 1:4	Massa (kg)	
Vis.		mK		Tratamento	
Aprov.	25-09-2018	ISO 2768		Material	
Nome	TM-AS0000			Descrição	
				Desenho	1/1

3.5.2 TM-AS0100 – SISTEMA DE SUPORTE DO DISCO

Este conjunto tem como principal função assegurar a posição e a rotação uniforme do disco, conter, reter e aquecer o óleo até uma temperatura pré-determinada, durante todo o ensaio. Para o efeito foram projetadas algumas peças que, em conjunto com componentes normalizados disponíveis no mercado, permitem que o equipamento cumpra os seus objetivos.

Na imagem que segue encontra-se uma representação 3D, elaborada em *Solidworks*, do conjunto supracitado.

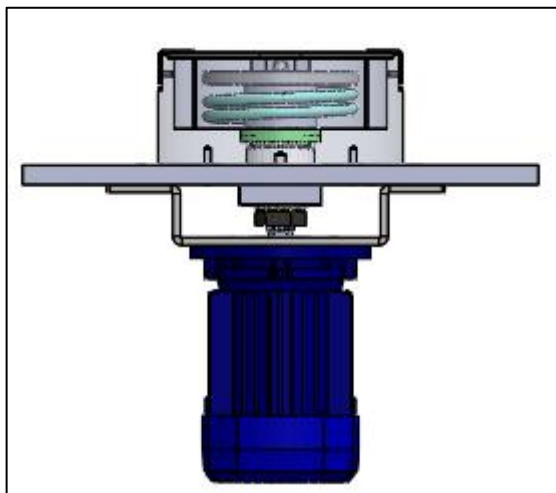


Figura 21 – Conjunto TM-AS0100

Na tabela que se segue encontram-se todos os componentes que constituem o conjunto ASTM-0100.

Tabela 16 – Peças do conjunto ASTM0000

Referência da peça		Descrição da peça
TM - AS0101		Disco
TM - AS0102		Base de apoio
TM - AS0103		Recipiente para óleo
TM - AS0104		Fixação do motor
TM - AS0105	Maquinação	Suporte rolamento
TM - AS0106		Veio transmissor rotação
TM - AS0107		Proteção contra salpicos óleo
TM - AS0108		Fixação da TM-AS0107
TM -AS0109		Fixação da resistência
TM -AS0110		Espaçador
Vedante labirinto		Vedante sem contacto 45x62x10 e 25x37x10
Resistência	Componentes de mercado	Aquece e mantém a Temperatura do óleo
Motor elétrico		Confere movimento ao disco
Rolamento 32205		Garante o correto posicionamento TM-AS0106

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	TM-AS0101	1
2	TM-AS0102	1
3	TM-AS0103	1
4	TM-AS0104	1
5	TM-AS0105	1
6	TM-AS0106	1
7	TM-AS0107	1
8	TM-AS0108	2
9	TM-AS0110	1
10	Régua	1
11	Labyrinth seal 45x62x10 GMN	1
12	Labyrinth seal 25x37x10 GMN	1
13	RESEL Ø8 SS316 L	1
14	BN 63A 230.400-50 IP55 CLF B5 - BONFIGLIOLI	1
15	Porca Hexagonal M22x1,5 ISO8675 passo fino	1
16	Cavilha Ø5x20	1
17	ISO 4762 M6 x 16 - 16N	1
18	ISO7089 M6 Anilha Plana média	1
19	Anilha de Pressão M22- DE NFE 27-624	1
20	32205	2

Nome	Data	isq	PESTM	Quantidade
Des.	25-09-2018	isq	PESTM	1
Visl.	25-09-2018	ISO 2768	mK	Massa (kg)
Aprov. Ana Silva	25-09-2018	ISO 2768	mK	Tratamento
Nome	TM-AS0100	ISO 2768	Escala: 1:3	Material
				Descrição
				Desenho

3.5.2.1 TM-AS0101

Designação	Disco
Referência interna	TM-AS001
Fabricante	Peça maquinada
Material	A definir
Quantidade	1

O diâmetro do disco foi pré-determinado aquando da definição das características da máquina, sendo que um dos requisitos será que o equipamento permita o teste de diferentes diâmetros.

Pré-requisitos TM-AS0101:

- ✓ \varnothing máx. disco = 120 mm;
- ✓ Espessura= 10 mm;
- ✓ N=500 rpm;
- ✓ Removível;
- ✓ Fácil de maquinar (amostra provém do cliente);
- ✓ Fácil/rápida fixação;
- ✓ Para imersão em óleo.

Após definir as dimensões máximas do disco foi necessário selecionar o modo como este seria acoplado ao sistema. Para o efeito foram analisadas as vantagens e desvantagens dos sistemas já existentes:

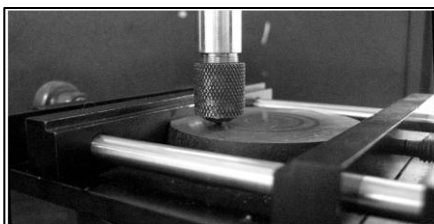
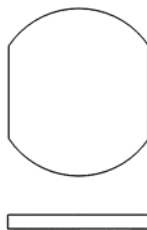
Tipo de fixação**Disco****Disco entalhado**

Figura 22 – Disco entalhado (ANTON PAAR)

**Vantagens**

- ✓ Realiza testes a baixa velocidade, centro do disco;
- ✓ Evita escorregamento;
- ✓ Substituição do disco rápida e prática;
- ✓ Apto para discos de diferente diâmetro.

Desvantagens

- X Maquinação complexa do disco;
- X Não é possível realizar testes nas pistas de maior diâmetro;
- X Sistema de aperto não estático, o que leva a difícil implementação do mesmo num sistema lubrificado.

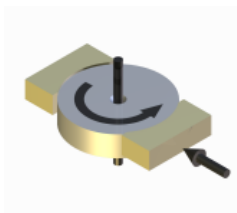
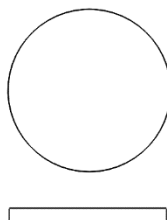
Entalhes na Bucha

Figura 23 - Entalhes na bucha (Phoenix Trb.)

**Vantagens**

- ✓ Realiza testes em toda a superfície do disco;
- ✓ Substituição do disco rápida e prática;
- ✓ Apto para discos de diferente diâmetro;
- ✓ Fácil maquinação do disco.

Desvantagens

- X Escorregamento do disco.

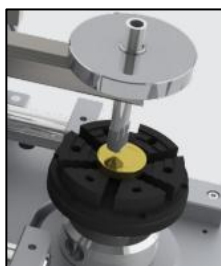
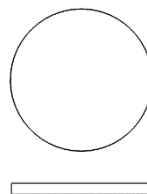
Bucha

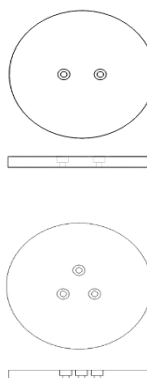
Figura 24 - Aperto por bucha (Antoon Paar)

**Vantagens**

- ✓ Permite realizar testes em toda a superfície do disco;
- ✓ Substituição do disco rápida e prática;
- ✓ Permite a aplicação de discos de diferente diâmetro;
- ✓ Fácil maquinação do disco.

Desvantagens

- X Escorregamento do disco.

Simples Aperto**Vantagens**

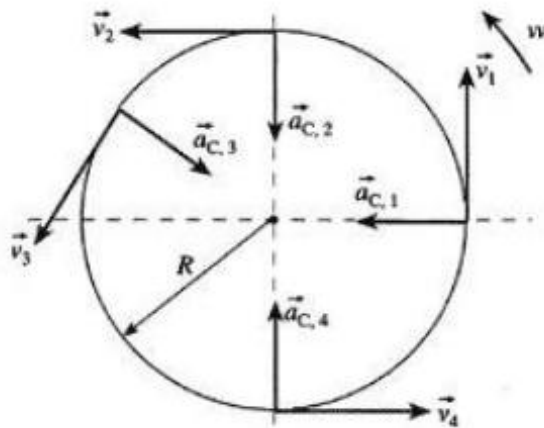
- ✓ Substituição do disco rápida e prática;
- ✓ Permite a aplicação de discos de diferente diâmetro;
- ✓ Fácil maquinação do disco;
- ✓ Colocação dos elementos de fixação à mesma distância do centro só implica o desaproveitamento de uma pista.

X – Desvantagens

- X Não permite realizar testes em toda a superfície do disco.

Após análise dos tipos de fixação mais comuns do disco conclui-se que, por se tratar de um equipamento de ensaios destinado a um laboratório escolar, a solução estaria no conjunto de maquinaria mais simplificada, tanto para os discos como para o sistema que o suporta. Posto isto, a escolha recai sobre os discos de simples aperto.

Existem inúmeras formas de fixar através de elementos de fixação não definitiva duas peças de superfícies lisas paralelas. Por este motivo, fez-se uma análise do vetor velocidade para perceber quais as zonas de maior e menor interesse da superfície do disco.



$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad (11)$$

$$a_c = w^2 \cdot r \quad (12)$$

Figura 25 – Representação dos vetores da velocidade e aceleração no movimento circular.

Da equação anterior conclui-se que a aceleração do disco está diretamente relacionada com o seu raio. A velocidade nas extremidades do disco será muito maior do que a velocidade no centro deste, razão pela qual o aperto do disco será realizado no centro deste mais uma cavilha a curta distância para evitar escorregamento. Uma das vantagens de usar uma cavilha em vez de um parafuso é o facto de o diâmetro necessário para aplicação da cavilha ser menor do que o do parafuso.

Exemplo do disco:

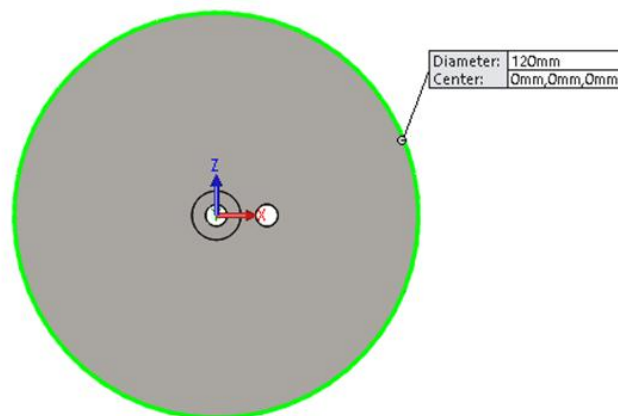
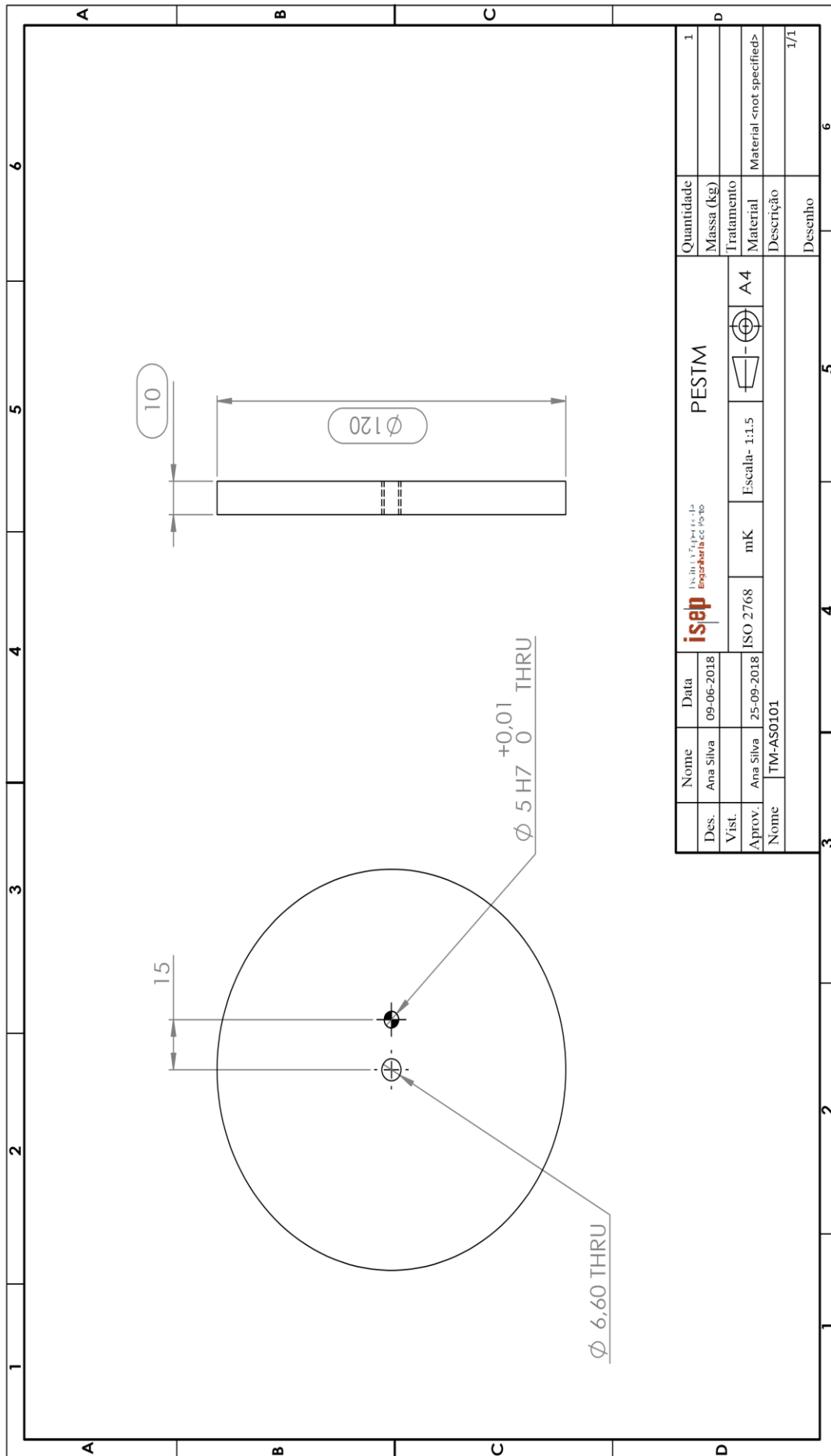


Figura 26 – Tipo de disco apto para utilizar no tribómetro.



Nome	Ana Silva	Data	09-06-2018	isep		PESTM		Quantidade	1
Des.	Ana Silva			Instituto de Engenharia de Portugal				Massa (kg)	
Visl.								Tratamento	
Aprov.	Ana Silva	25-09-2018	ISO 2768	mK	Escala- 1:1.5		A4	Material	Material <not specified>
Nome	TM-AS0101						1/1	Descrição	
								Desenho	6

3.5.2.2 TM-AS0102

Designação	Base de apoio
Referência interna	TM-AS002
Fabricante	Peça maquinada
Material	Al 5083
Quantidade	1

Solicitações:

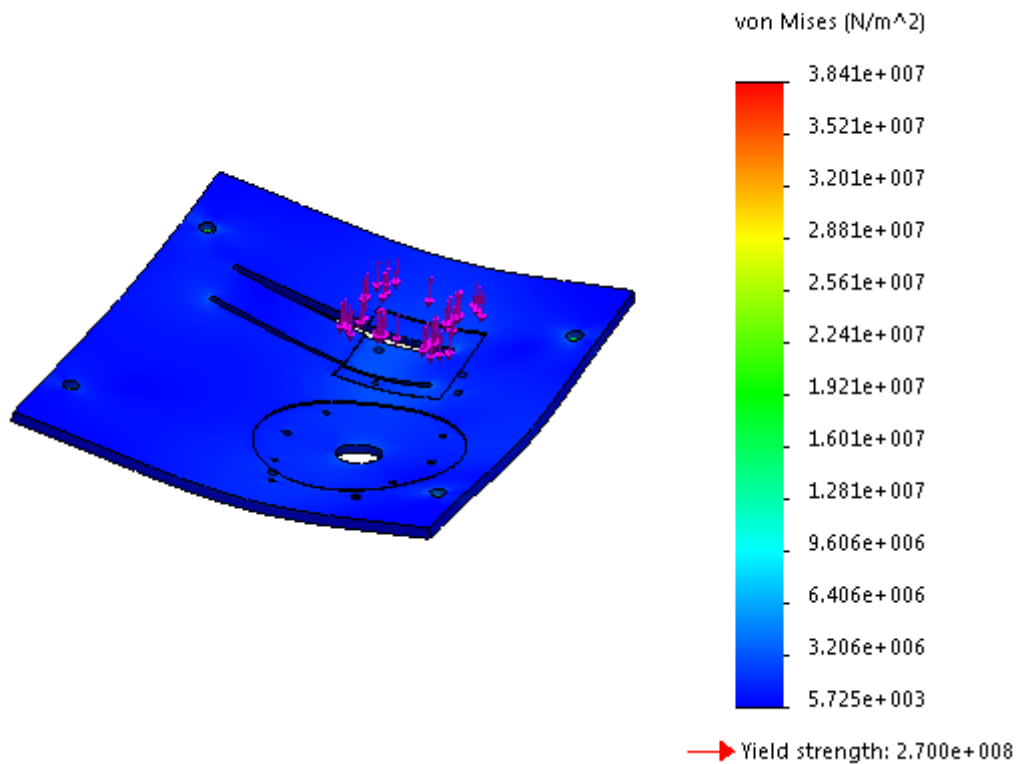
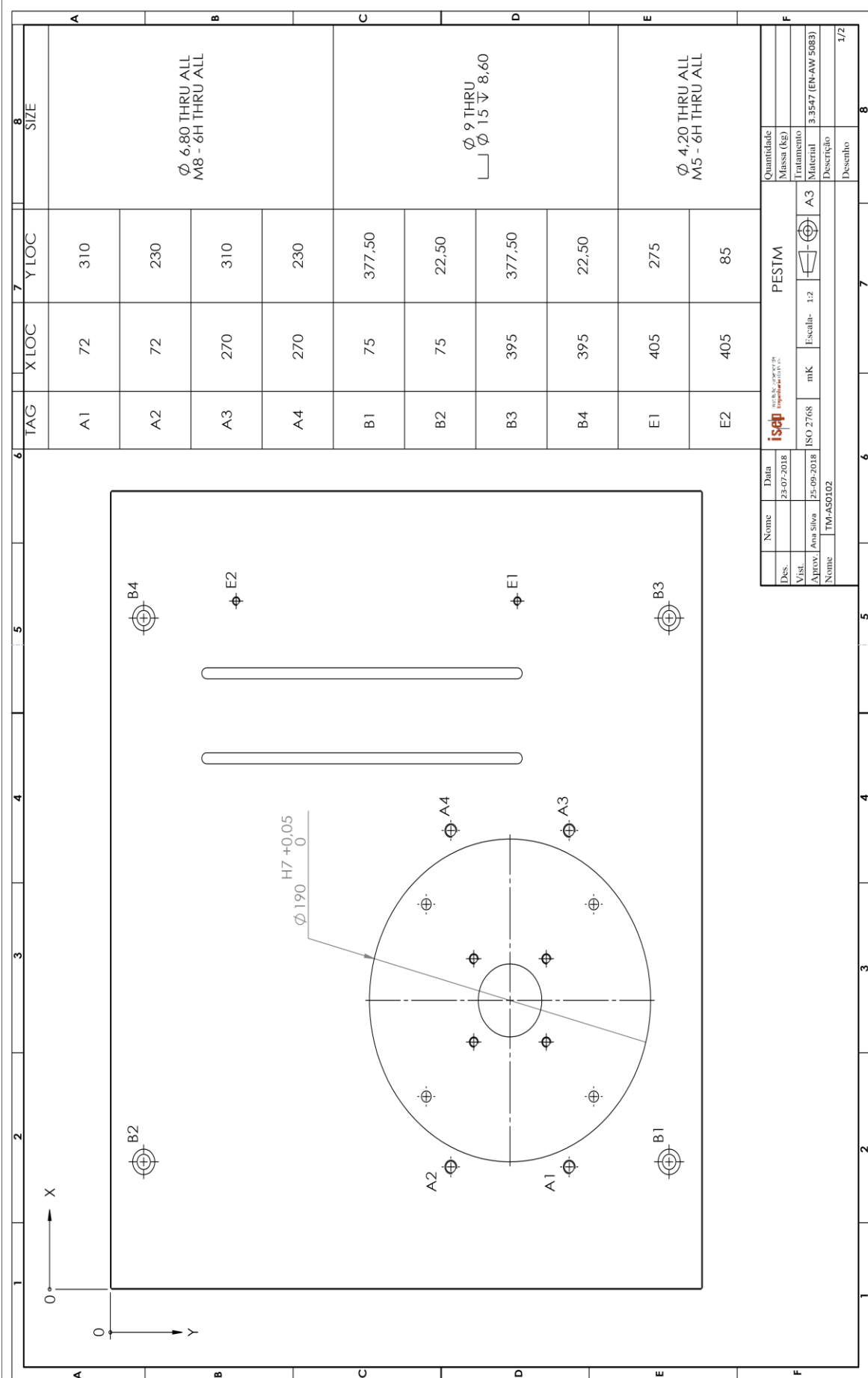


Figura 27 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0103

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima



3.5.2.3 TM-AS0103

Designação	Recipiente para óleo
Referência interna	TM-AS003
Fabricante	Peça maquinada
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações: Peso do disco + Peso TM-AS0106 + Peso 2 rolamentos + Peso vedantes =
 $(1,0 + 0,870 + 0,400 + 0,1) \cdot 10 + c.s = 54,5 \text{ N}$

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo Simulation xpress do Solidworks.

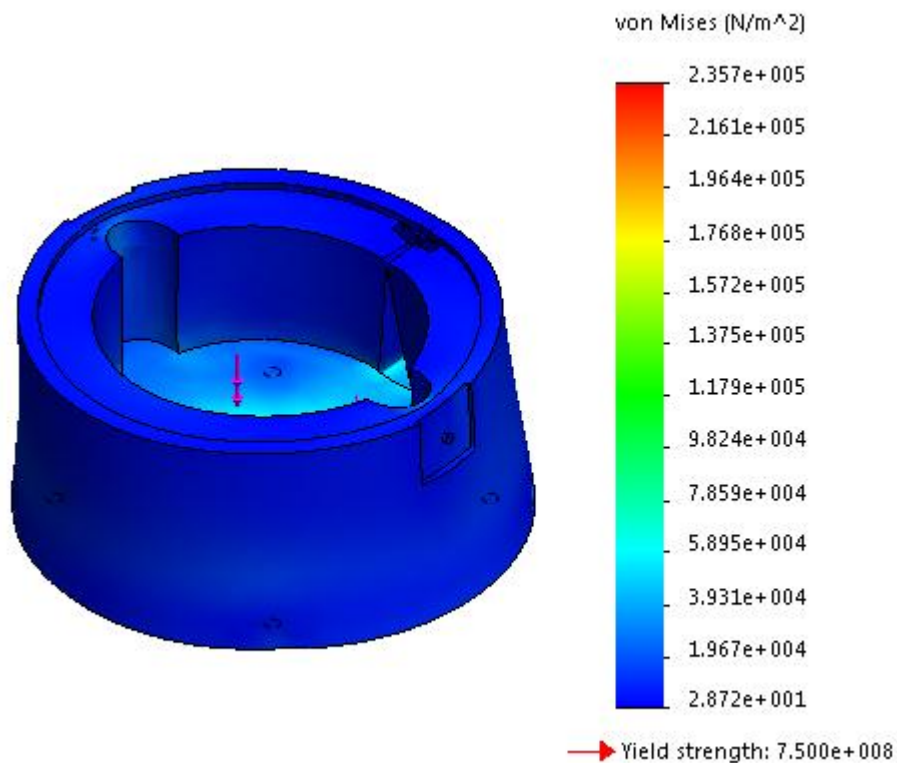


Figura 28 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0103

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão

mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.2.4 TM-AS0104

Designação	Fixação do motor
Referência interna	TM-AS004
Fabricante	Lacovale
Material	AISI 316
Quantidade	1

Solicitações:

Peso do motor:

$$F_{pm} = F_{pm} \cdot g = 4,6 \cdot 10 = 46 \text{ N} \quad (13)$$

Binário do motor:

$$M_w = F_b \cdot b \Leftrightarrow 0,98 = F_b \cdot 0,0575 \Leftrightarrow F_b = 17,04 \text{ N} \quad (14)$$

Como o motor é suportado por 4 parafusos, tem-se:

- ✓ $F_m = 11,5 \text{ N}$
- ✓ $F_b = 4,26 \text{ N}$

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

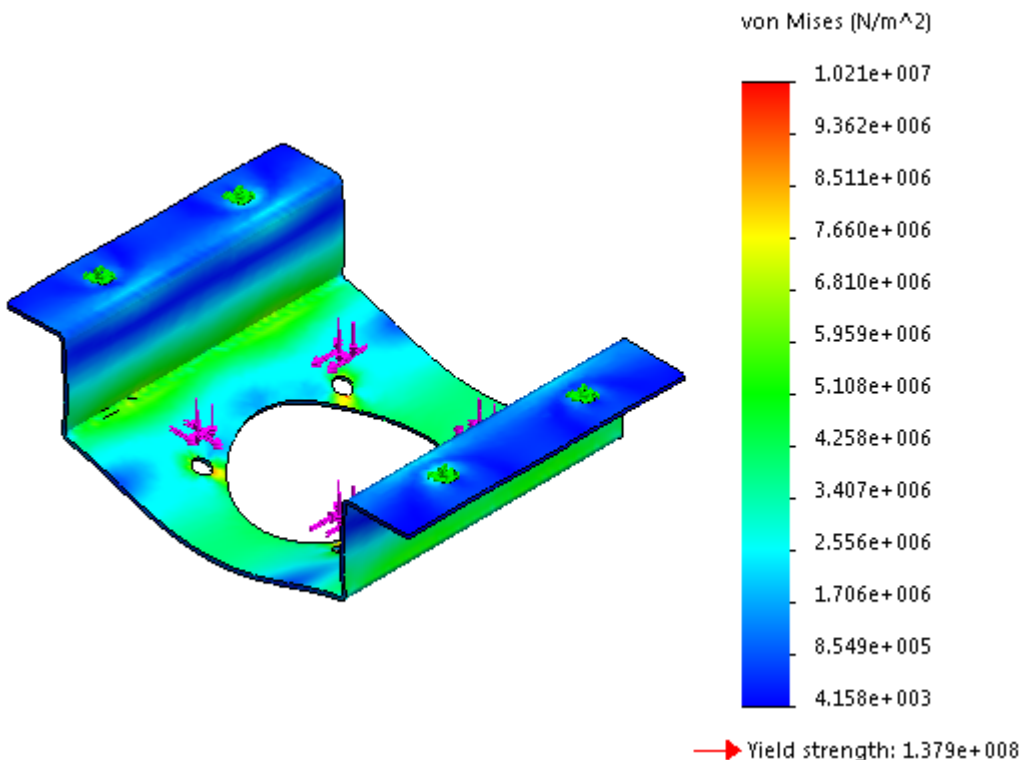
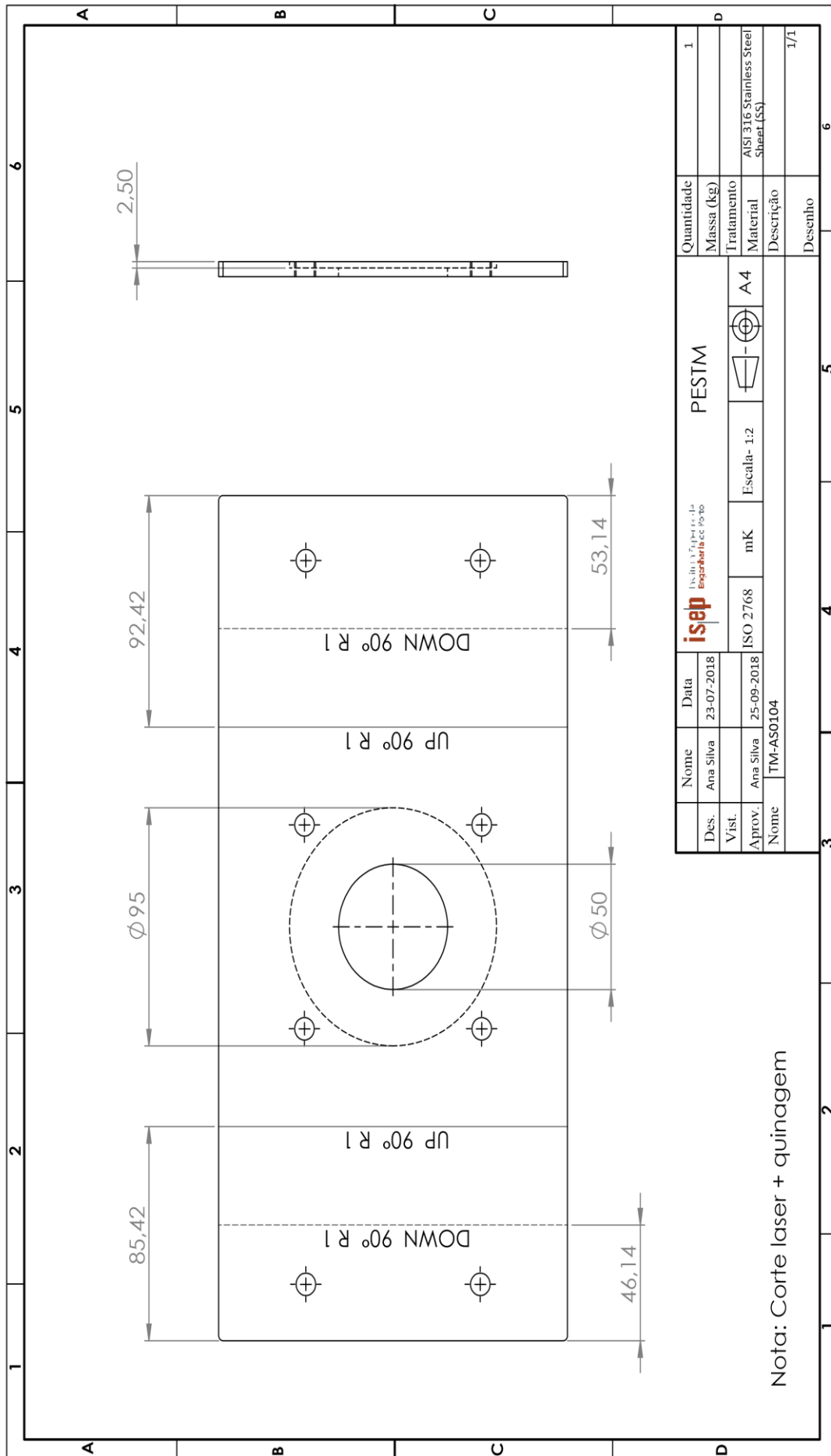


Figura 29 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0104

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima



3.5.2.5 TM-AS0105

Designação	Suporte rolamento
Referência interna	TM-AS105
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações: Peso do rolamento + Peso vedante = $(0,200 + 0,05) \cdot 10 \cdot c.s = 3,25N$

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

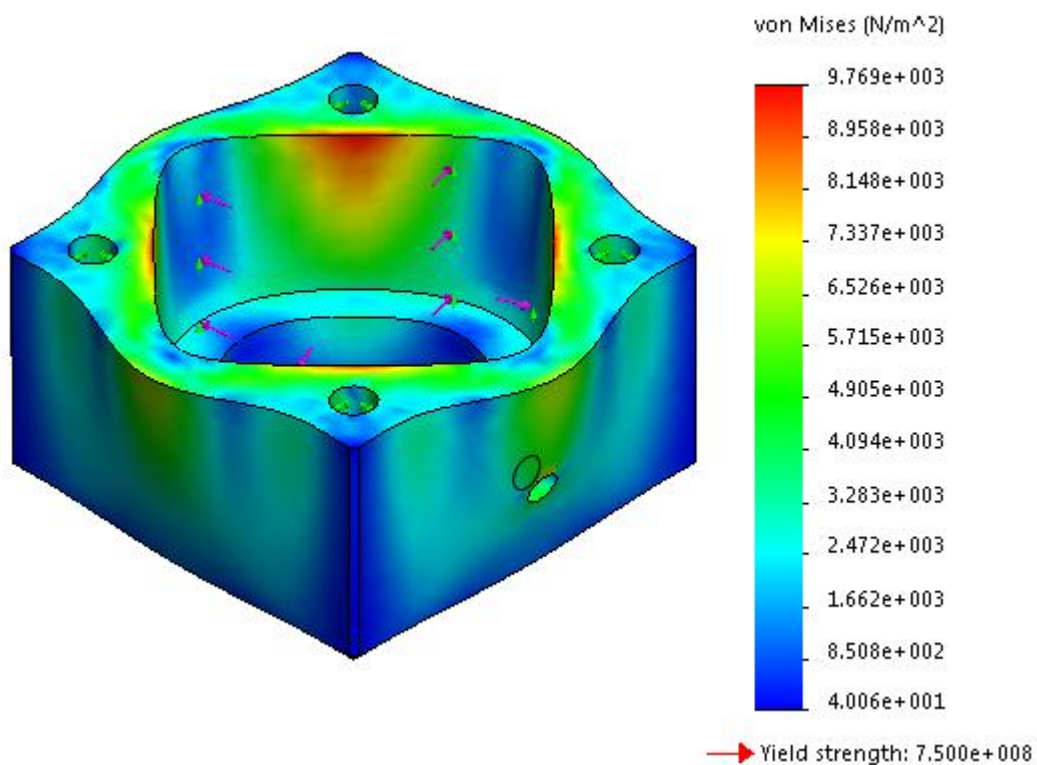


Figura 30 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0105

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.2.6 TM-AS0106

Designação	Veio transmissor de rotação
Referência interna	TM-AS106
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

(Força do motor (entalhe da chaveta) + Peso do disco) • c.s = 37,2 + (1,0 • 10) + c.s = 61,3N

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

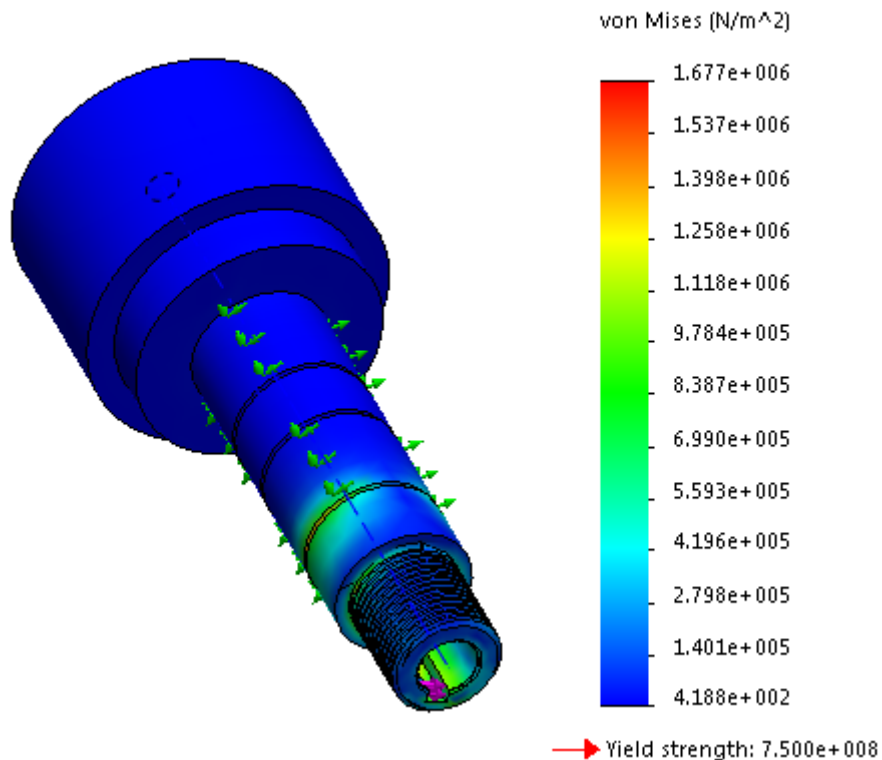


Figura 31 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0106

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência >> Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

Nota: Criou-se uma peça tipo com entalhes para facilitar a aplicação das fixações.

3.5.2.7 TM-AS0107

Designação	Proteção contra salpicos
Referência interna	TM-AS107
Fabricante	DAGOL
Material	Viton
Quantidade	1

Solicitações: Não existentes.

Na figura que se segue é possível visualizar o componente, representado no *Solidworks*.

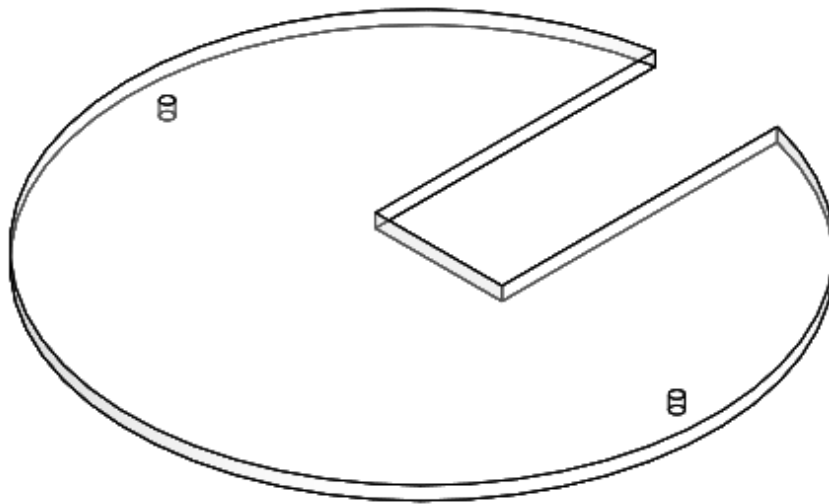


Figura 32 - Representação em Solidwroks TM-AS0107

3.5.2.8 TM-AS0108

Designação	Fixação TM-AS0108
Referência interna	TM-AS108
Fabricante	LACOVALE
Material	AISI316
Quantidade	2

Solicitações: Peso TM-AS0107 + $cs = 0,09 \cdot 10 \cdot cs = 1,2 \text{ N}$

Como existem dois apoios, tem-se: Peso num apoio = $1,2/2 = 0,6\text{N}$

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

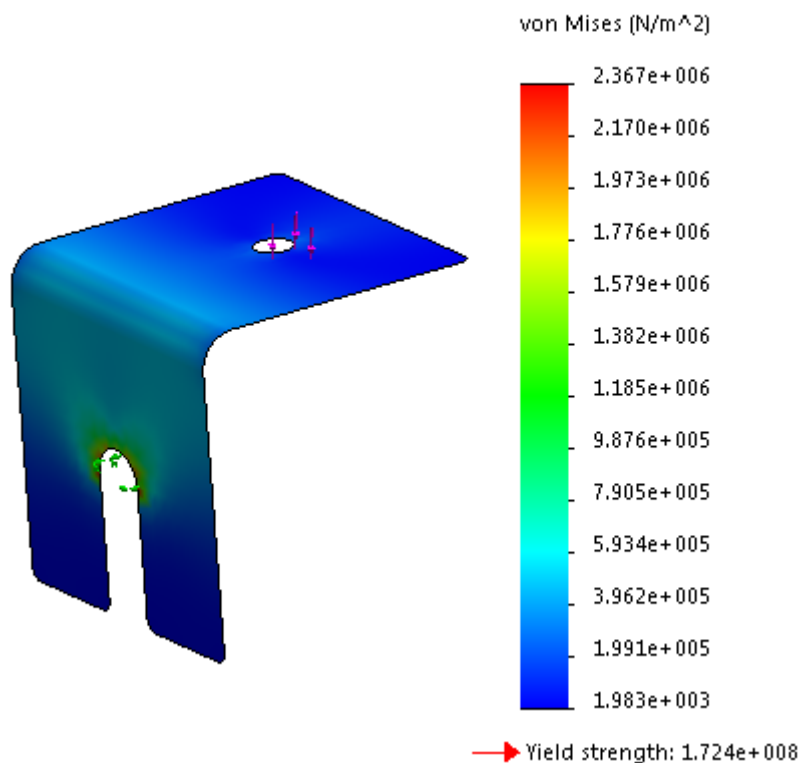


Figura 33 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0108

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.2.9 TM-AS0109

Designação	Suporte da resistência
Referência interna	TM-AS109
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140
Quantidade	1

Solicitações: Peso da resistência +c.s = $(0,240 \cdot 10) \cdot cs = 3,12N$

Como existem dois apoios, tem-se: Peso num apoio = $3,12/2 = 1,56N$

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

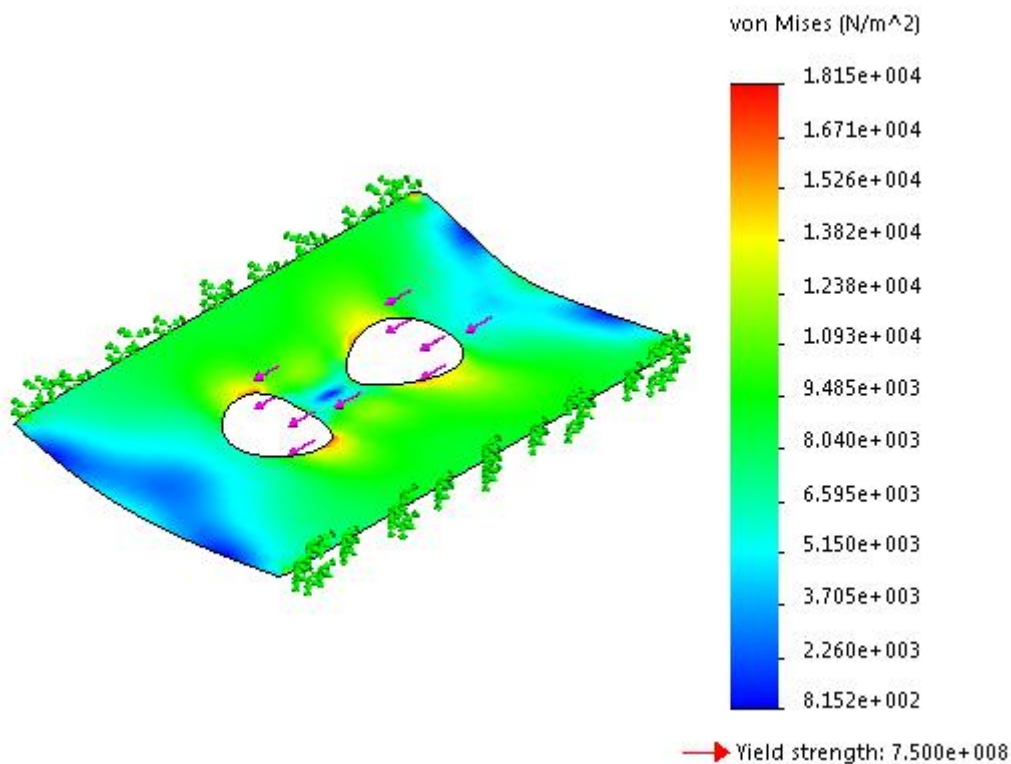


Figura 34 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0109

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.2.10 TM-AS0110

Designação	Espaçador
Referência interna	TM-AS110
Fabricante	Maquinação
Material	AISI4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Lado 1 = Peso disco+ Peso 1 rolamento + Peso 1 vedantes = $(1,0 + 0,2 + 0,05) \cdot 10 \cdot c.s$
 $= 16,25N$

Lado 2 = Peso 1 rolameto + Peso de 1 vedante = $(0,2 + 0,05) \cdot 10 \cdot 1,3 = 3,25N$

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

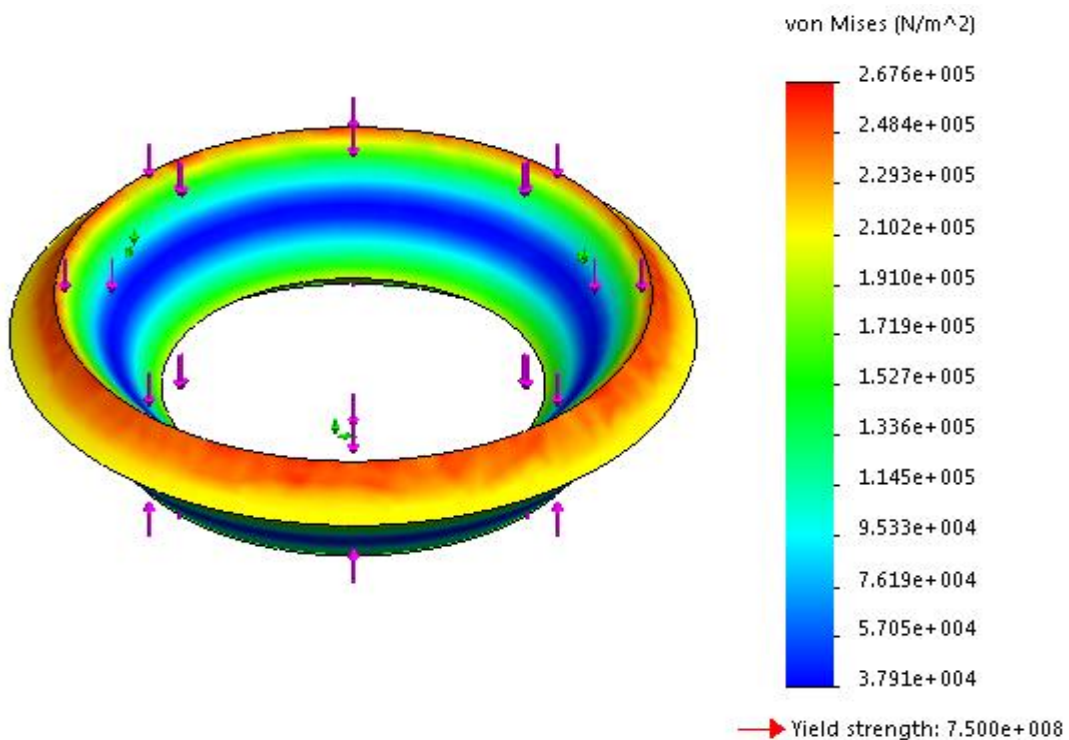


Figura 35 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0110

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.2.11 MOTOR

Designação	Motor
Referência interna	BN 63A6 230/400-50 IP55 CLF B5
Fabricante	Bonfiglioli
Quantidade	1

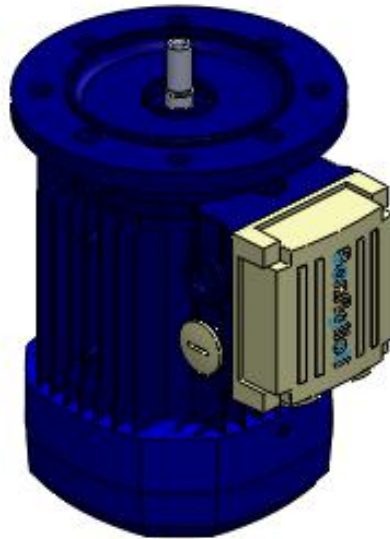


Figura 36 - representação esquemática do motor selecionado, em 3D

Comerciante: BONFIGLIOLI – rotação horário e anti-horário
 Referência do motor: **BN 63A 6 230/400-50 IP55 CLF B5**

Interpretação da referência:

- **BN** – Motor trifásico IEC de eficiência *standard*
- **63A** - $N_{motor} = 830$ rpm

$$N_{requerido} = 500 \text{ rpm}$$

$$N_{total} = N_{requerido} \times c.s. = 500 \times 1.5 = 750 \text{ rpm}$$

- **6** – número de polos
- **230/400-50** – Tensão e frequência
- **IP55** – Proteção contra pó e salpicos de água
- **CLF** – isolamento *standard*
- **B5** – Instalação na vertical com flange.

3.5.2.12 RESISTÊNCIA

Designação	Resistência
Referência interna	BN 63A6 230/400-50 IP55 CLF B5
Fabricante	RESEL
Quantidade	1

Cálculos inerentes ao processo de seleção da resistência:

Na figura que se segue é possível visualizar o componente, representado no *Solidworks*.

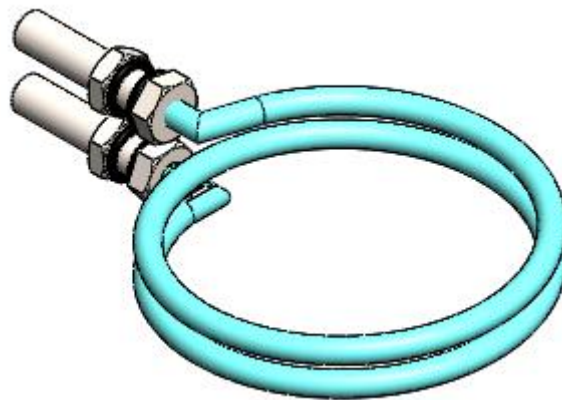


Figura 37 - Representação em Solidwroks TM-AS0107

3.5.2.13 ROLAMENTO

Designação	Resistência
Referência interna	BN 63A6 230/400-50 IP55 CLF B5
Fabricante	RESEL
Quantidade	1

Solicitações:

$$F_{\text{vertical}} = F_{\text{arrasto}} + \text{Peso disco} + F_{\text{carregamento}} + \text{Peso TM-AS106} + c.s = \\ = 42,51 + 10 + 63 + 10 + c.s = 163,16N$$

$$F_{\text{radial}} = F_{\text{motor}} = 32,07N$$

Uma vez que o rolamento está sujeito a carga combinada (radial + axial), selecionou-se segundo a tabela "Principais tipos e características dos rolamentos de rolos"³

Cálculos ⁴inerentes à seleção do rolamento[4]:

Capacidade de carga estática

$$C_0 = f_s \cdot P_0 \quad (15)$$

https://medias.schaeffler.com/medias/pt!hp.ec.br.pr/322*32205-

[Ahttps://medias.schaeffler.com/medias/pt!hp.ec.br.pr/322*32205-A](https://medias.schaeffler.com/medias/pt!hp.ec.br.pr/322*32205-A)

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \quad (16)$$

$$C = \frac{f_l}{f_n \cdot f_t} \cdot P$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

³ Esta tabela pode ser consultada em [4]

⁴ Os parâmetros do rolamento podem ser consultado em :

https://medias.schaeffler.com/medias/pt!hp.ec.br.pr/322*32205-A

3.5.2.14 VEDANTE LABIRINTO

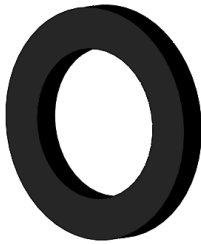


Figura 38 -
Representação retentor
Sw.

Designação	Vedante labirinto
Referência interna	L45X62X10
Fabricante	GMN
Quantidade	1

Tabela 17 - Características técnicas do retentor.

Propriedades	Características
Material	Viton; aço
Gama de Temperaturas [°C]	-30 até 180
Tipo de vedação	AS
d [mm]; d2; b [mm]	45 X 62 X 10
Tolerâncias alojamento)	(veio, h11, H8

Considerações teóricas para seleção do retentor:

“Quando um eixo gira, precisa de um arranjo de rolamentos para um funcionamento suave e efetivo. Onde houver um rolamento, sempre haverá necessidade de vedação eficiente para protegê-lo, de modo que alcance sua vida útil e confiabilidade máximas.”
(catálogo da SKF)



Figura 39 - Funções de um redentor.

As vedações subdividem-se em 4 grupos, dependendo do tipo de aplicação:

Grupo 1 - Dinâmica para componentes em rotação com folga (sem contacto);

Grupo 2 - Dinâmica para componente em rotação com contacto;

Grupo 3 - para componentes estáticos;

Grupo 4 - para componentes pseudo-estáticos.⁵

No caso do componente XXX que gira solidário com o motor, encontramos-nos perante uma rotação dinâmica, excluindo assim os grupos 3 e 4. Dos restantes grupos seria preferencial seleccionar o primeiro, uma vez que, não existindo contacto, o desgaste do vedante seria minimizado ao máximo, evitando-se sobreaquecimentos na peça e consequentes forças de atrito no mesmo. No entanto, este tipo de vedantes só se comercializa em chumaceiras pré-montadas de dimensões muito desproporcionais às restantes do equipamento. Deste modo, optou-se por um vedante com contacto.

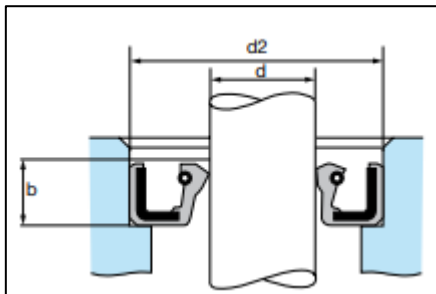


Figura 41 - Sistema de vedação por contacto
– Tipo A

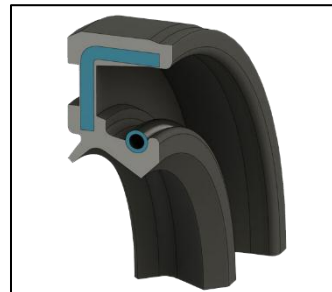


Figura 41 - Retentor radial, por
contacto - Tipo AS

Nas imagens anteriores é possível visualizar um sistema de vedação com um retentor do tipo A (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) – que assegura a estanquidade num só sentido, por contacto com o veio e um retentor do tipo AS (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) – que assegura a estanquidade num só sentido, mas oferece uma proteção anti-poeira no sentido oposto.

Para o equipamento seleccionou-se o retentor do tipo AS, por ser o vedante mais completo.

⁵ Informação disponível para consulta no livro “Introdução ao Projeto Mecânico”.

3.5.3 TM-AS0200

Este conjunto tem como principal função assegurar a posição e livre rotação do pino. Para o efeito foram projetadas algumas peças que, em conjunto com componentes normalizados disponíveis no mercado, permitem que o equipamento cumpra os seus objetivos.

Na imagem que segue encontra-se uma representação 3D, elaborada em *Solidworks*, do conjunto supracitado.

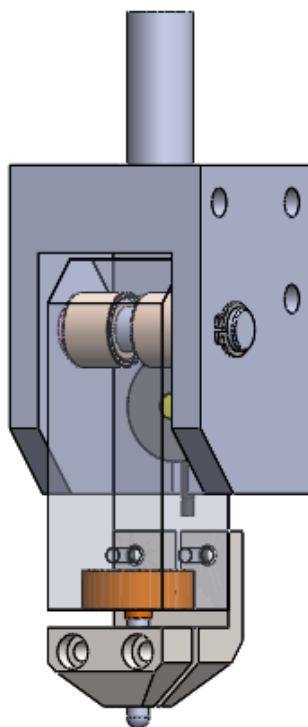


Figura 42 -- Conjunto TM-AS0200

Tabela 18 - Peças do conjunto TM-AS0200

Referência da peça		Descrição da peça
TM - AS0201		Pino
TM - AS0202		Suporte do pino
TM - AS0203		Fixação do pino
TM - AS0204	Maquinação	Suporte da célula de carga 1
TM - AS0205		Fixação do conjunto TM-AS0200
TM - AS0206		Sistema de rotação livre do pino
TM - AS0207		Espaçador 2
TM - AS0208		Suporte dos pesos
NK10.12-TV-XL	Componentes de mercado	Rolamento agulhas
KM26_0,5KN		Célula de carga
DIN 471 Ø10		Freio Ø10mm

3.5.3.1 TM-AS0201

Designação	Pino provete
Referência interna	TM-AS001
Fabricante	Cliente
Material	A definir
Quantidade	1 por ensaio

O pino e o disco constituem os elementos mais relevantes de todo o equipamento, visto que é sobre estes dois elementos que recai o teste.

O pino, através da sua perda de volume, é um fator indicativo do atrito.

Pré-requisitos do pino:

- ✓ Ponta esférica (ASTM G99);
- ✓ Diâmetros constante;
- ✓ Fácil fabrico;
- ✓ Afinação em altura;

O material do pino não foi especificado uma vez que este depende do material que se pretende testar. No entanto, a norma pelo qual o ensaio pino disco se rege faz referência a Alumínio e Aço Inox. Durante o desenvolvimento do equipamento será atribuído Aço por ser um material bastante duro e permitir assim o sobredimensionamento do equipamento.

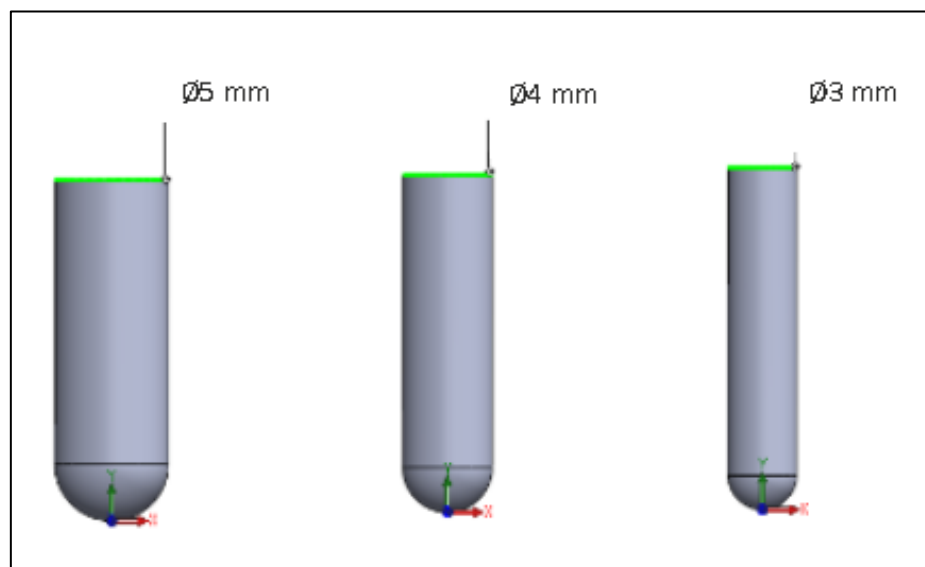


Figura 43 – Representação de pinos de diferentes diâmetros.

3.5.3.2 TM-AS0202

Designação	Suporte de fixação do pino
Referência interna	TM-AS002
Fabricante	Peça maquinada
Material	AISI 4140
Quantidade	1

Solicitações: Farrasto = 42,51N

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

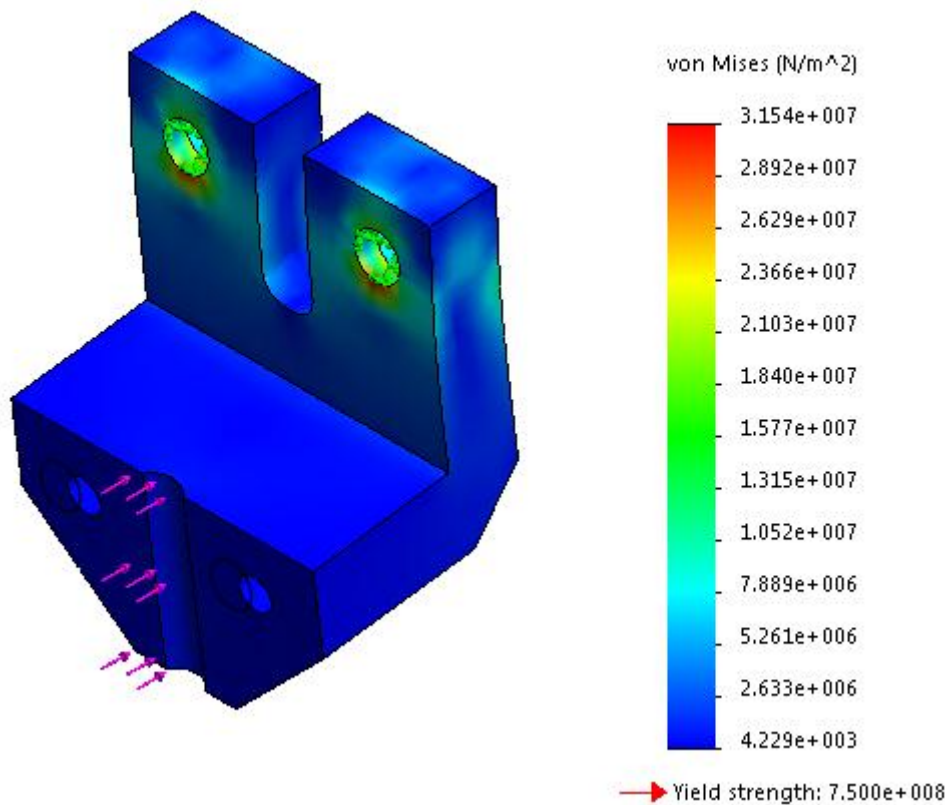


Figura 44 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0109

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

3.5.3.3 TM-AS0203

Designação	Suporte de fixação do pino
Referência interna	TM-AS003
Fabricante	Maquinação
Método obtenção	Torno
Material	AISI 4140
Quantidade	1

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

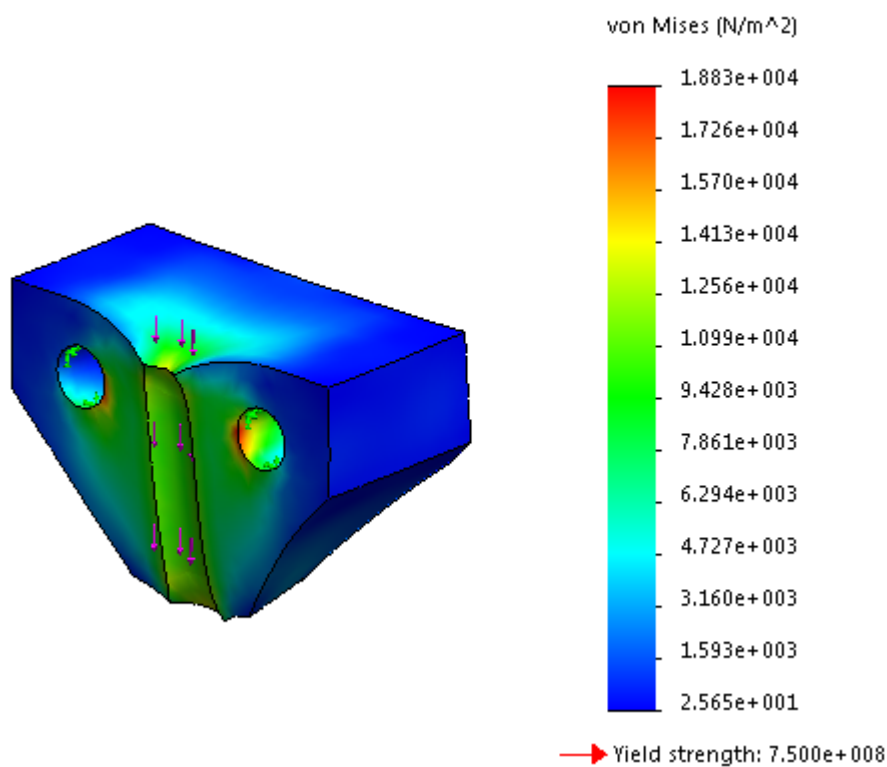


Figura 45 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0203

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.3.4 TM-AS0204

Designação	Suporte de célula de carga
Referência interna	TM-AS004
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Peso dos 2 rolamentos = $(2 \cdot 0,010) \cdot 10 + c.s = 0,26N$

Peso da célula de carga = $0,035 \cdot 10 + c.s = 0,455N$

Peso ASTM-0202 = $0,07541 \cdot 10 + c.s = 0,980N$

Peso ASTM-0203 = $0,03640 \cdot 10 + c.s = 0,4732N$

Força arrasto + c.s = 42,51N

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

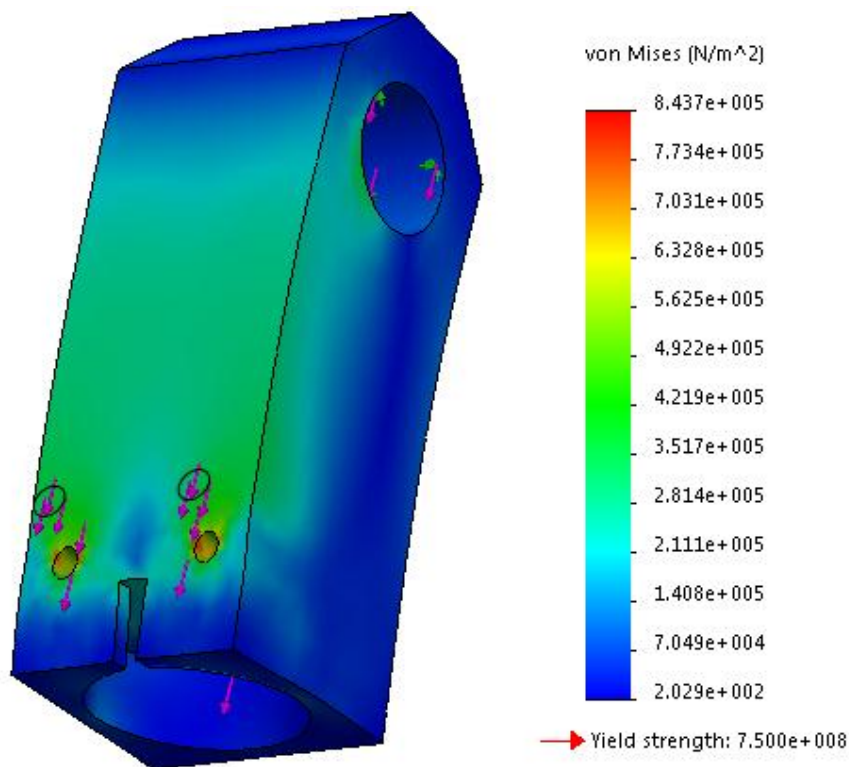


Figura 46 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0204

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

3.5.3.5 TM-AS0205

Designação	Fixação do conjunto ASTM-0200
Referência interna	TM-AS0205
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

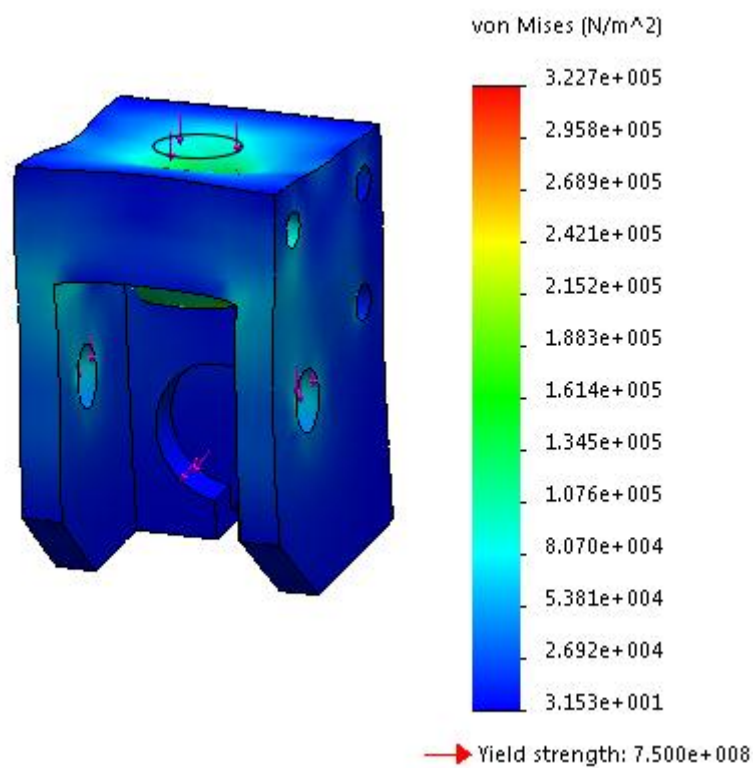


Figura 47 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0205

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.3.6 TM-AS0206

Designação	Sistema de rotação livre do pino
Referência interna	TM-AS0206
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

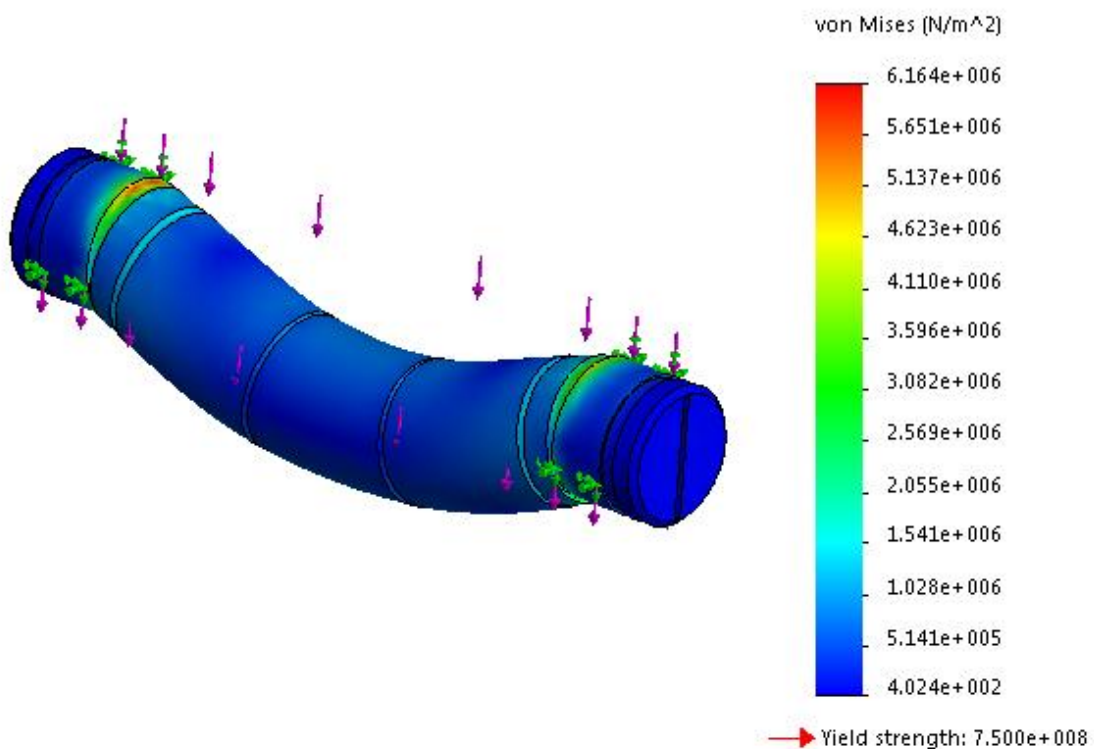


Figura 48 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0206

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.3.7 TM-AS0207

Designação	Espaçador
Referência interna	TM-AS0207
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	2

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

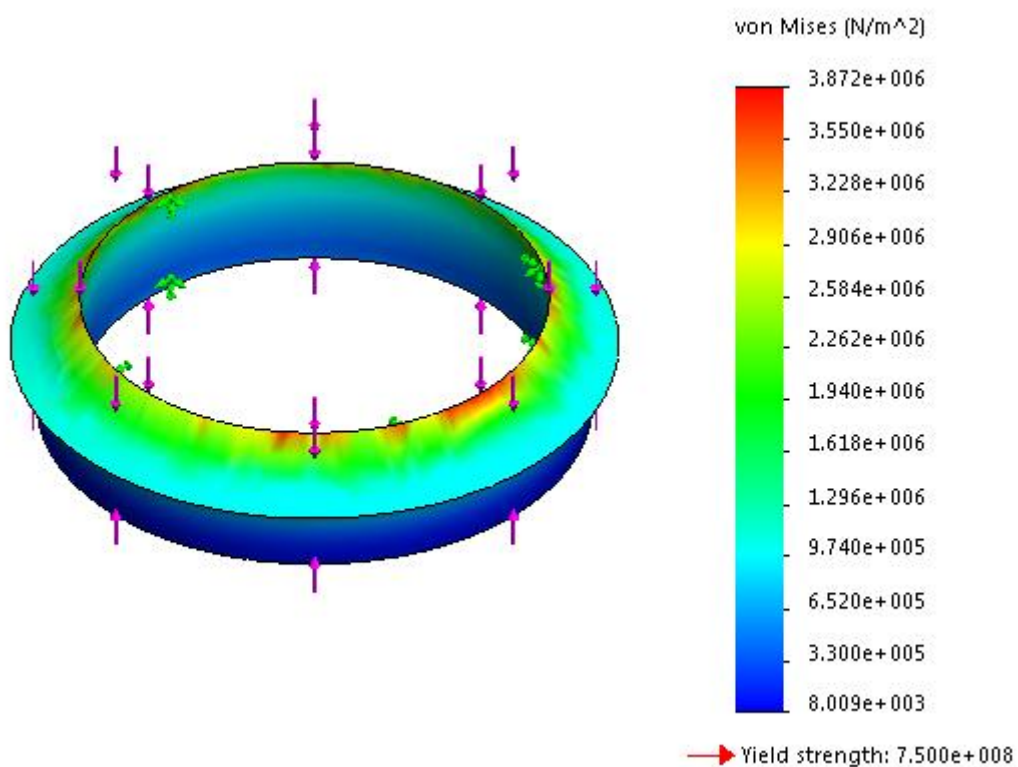


Figura 49 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0206

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.3.8 TM-AS0208

Designação	Suporte dos pesos
Referência interna	TM-AS0208
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

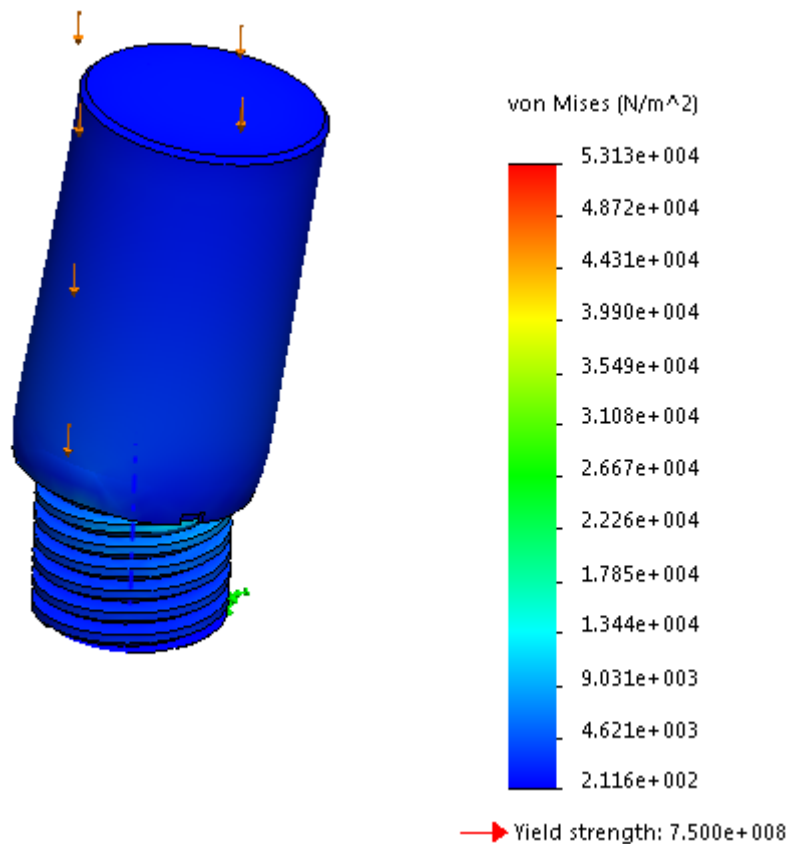


Figura 50 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0208

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência >> Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4 TM-AS0300

Este conjunto tem como principal função o posicionamento e carregamento do conjunto TM-AS0200. Possui um sistema de rotação que permite a colocação do pino, bem como alterar a posição do pino relativamente ao centro do disco.

Para o efeito foram projetadas algumas peças que, em conjunto com componentes normalizados disponíveis no mercado, permitem que o conjunto cumpra os seus objetivos.

Na imagem que segue encontra-se uma representação 3D, elaborada em *Solidworks*, do conjunto supracitado.

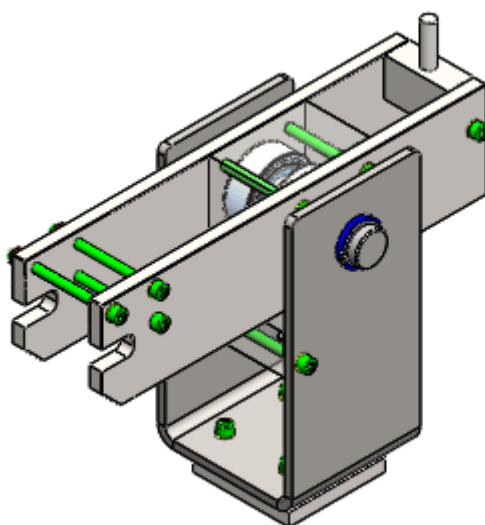


Figura 51 -- Conjunto TM-AS0300

Tabela 19 - Peças do conjunto TM-AS0300

Referência da peça		Descrição da peça
TM - AS0301		Suporte do conjunto ASTM-0300
TM - AS0302A		Fixação do conjunto ASTM-0200
TM - AS0303		Suporte dos rolamentos
TM - AS0304		Veio rotação conjunto ASTM-0300
TM - AS0305	Maquinação	Batente
TM - AS0306		Suporte equilíbrio de cargas
TM - AS0307		Placa de deslocação
TM - AS0308		Referencial de posição
TM - AS0309		Suporte de pesos
TM - AS0310		Espaçador ASTM-0300
NK10.12-TV-XL		Componentes de mercado
KM26_0,5KN	Célula de carga	
DIN 471 Ø10	Freio Ø10mm	

3.5.4.1 TM-AS0301

Designação	Suporte do conjunto ASTM0300
Referência interna	TM-AS0301
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

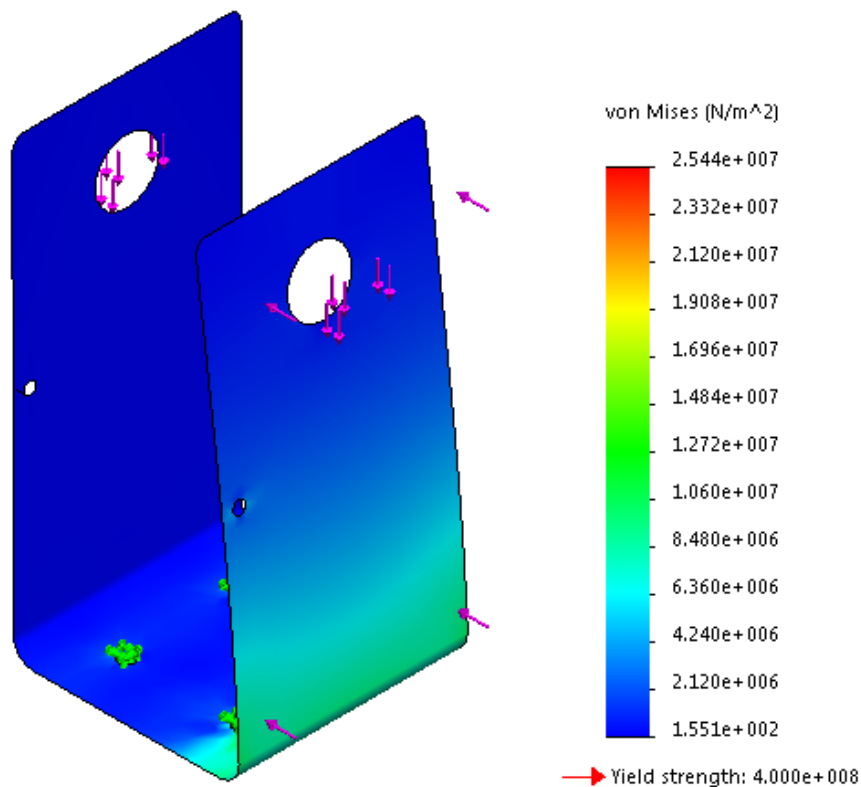


Figura 52 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0301

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.2 TM-AS0302

Designação	Fixação do conjunto ASTM-0200
Referência interna	TM-AS0302
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	2

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

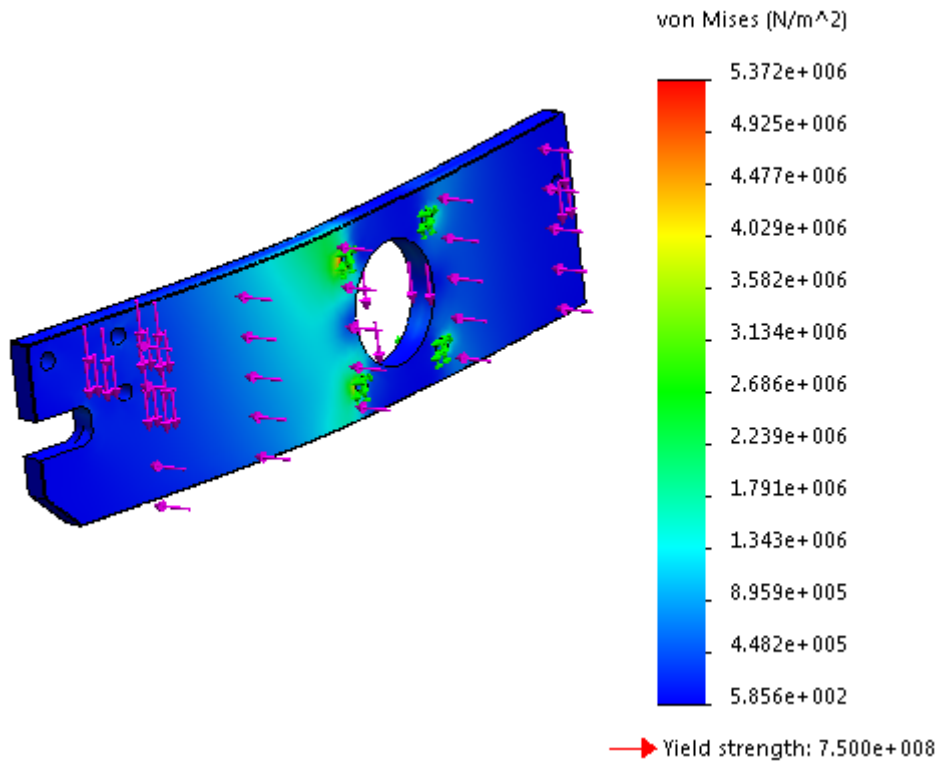


Figura 53 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0302

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.3 TM-AS0303

Designação	Suporte dos rolamentos
Referência interna	TM-AS0302
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

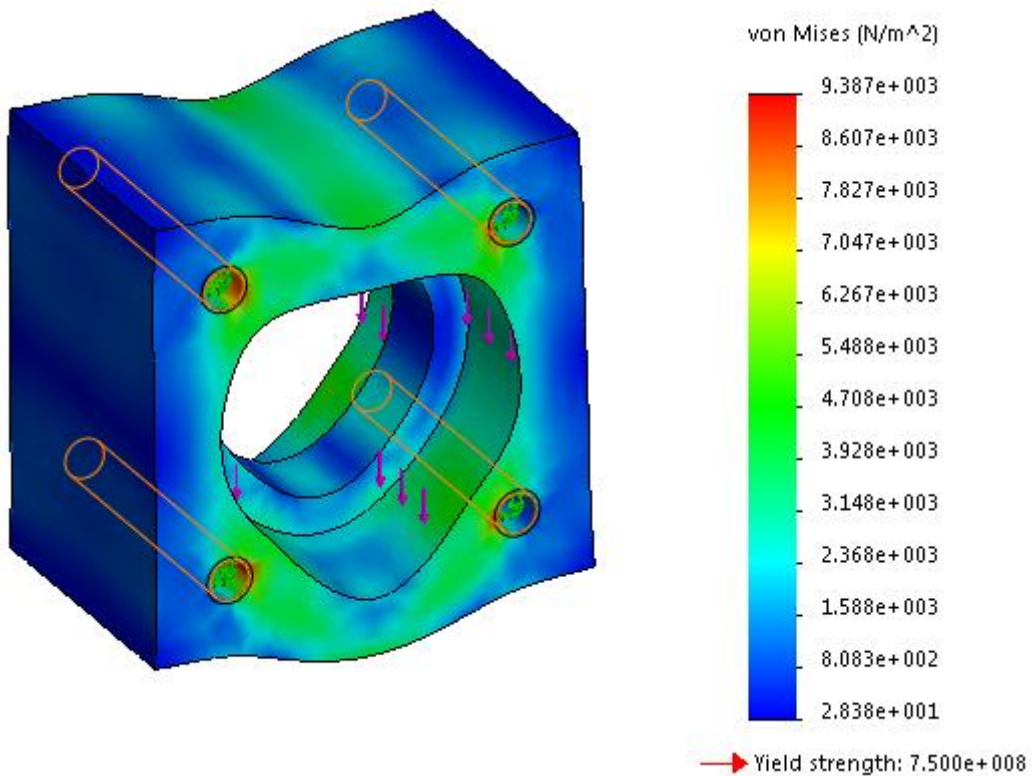


Figura 54 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0303

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.4 TM-AS0304

Designação	Veio rotação conjunto ASTM-0300
Referência interna	TM-AS0303
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

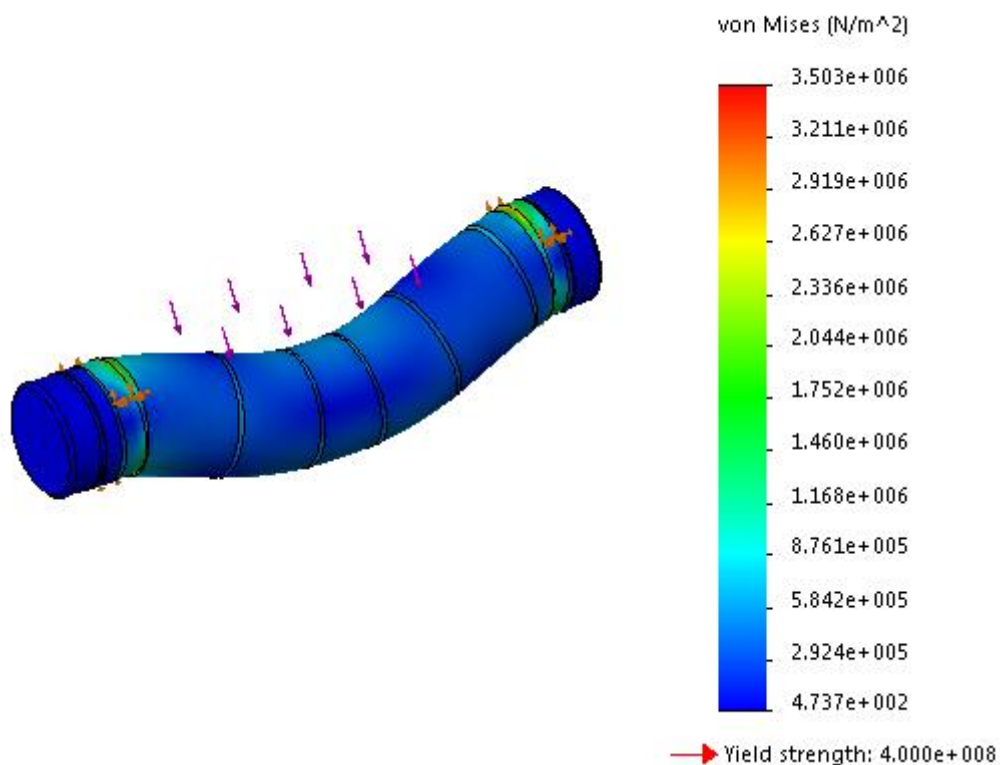


Figura 55 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0303

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.5 TM-AS0305

Designação	Batente
Referência interna	TM-AS0305
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

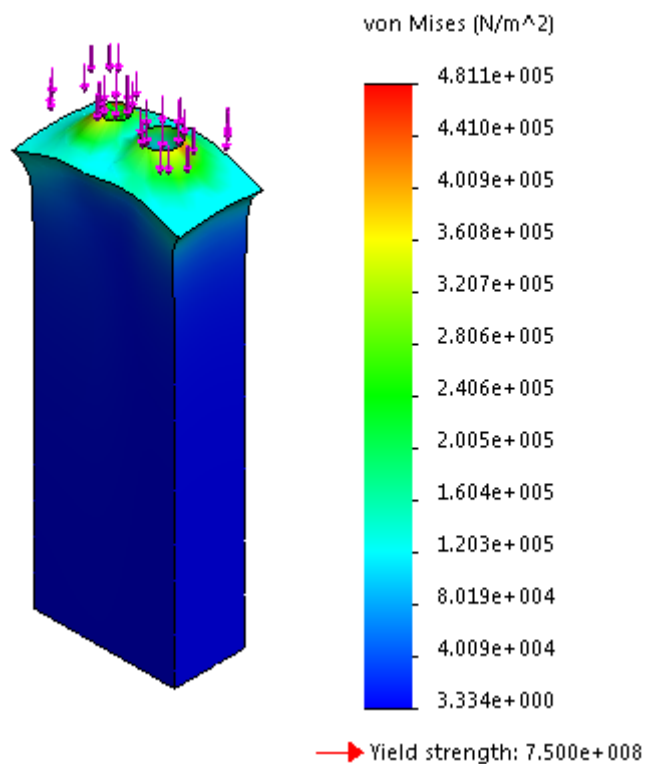


Figura 56 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0305

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.6 TM-AS0306

Designação	Suporte equilíbrio de cargas
Referência interna	TM-AS0306
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*

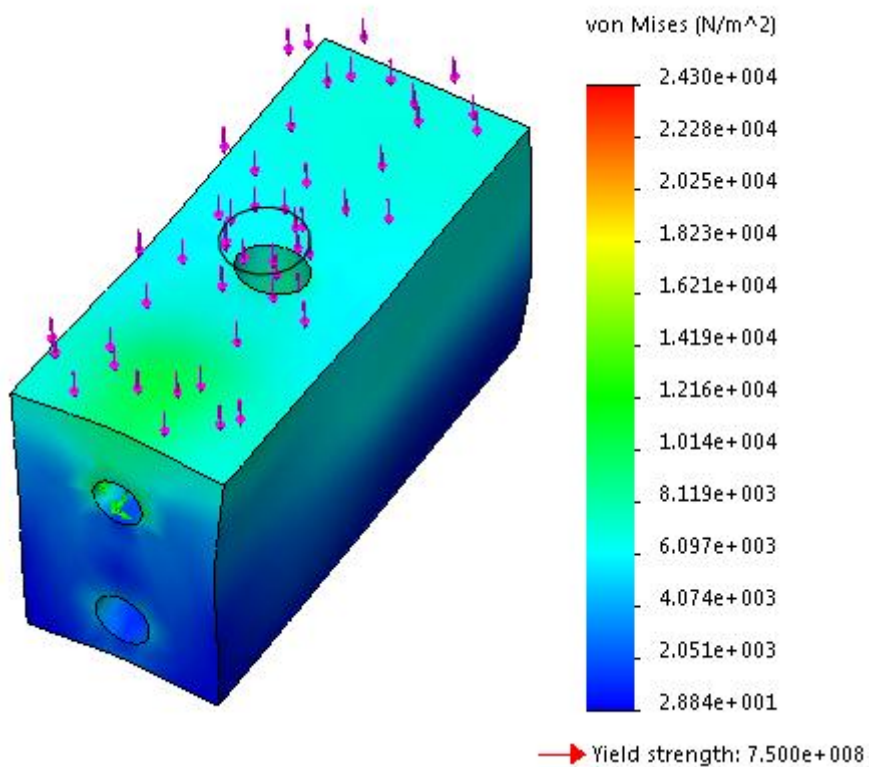


Figura 57 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0305

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.7 TM-AS0307

Designação	Placa de deslocação conjunto TM-AS0300
Referência interna	TM-AS0306
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.8 TM-AS0308

Designação	Referencial de posição
Referência interna	TM-AS0308
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações: Não existentes.

Este componente tem um função meramente indicativa da posição do conjunto TM-AS0300 relativamente ao centro do disco em rotação.

3.5.4.9 TM-AS0309

Designação	Suporte de pesos
Referência interna	TM-AS0309
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*

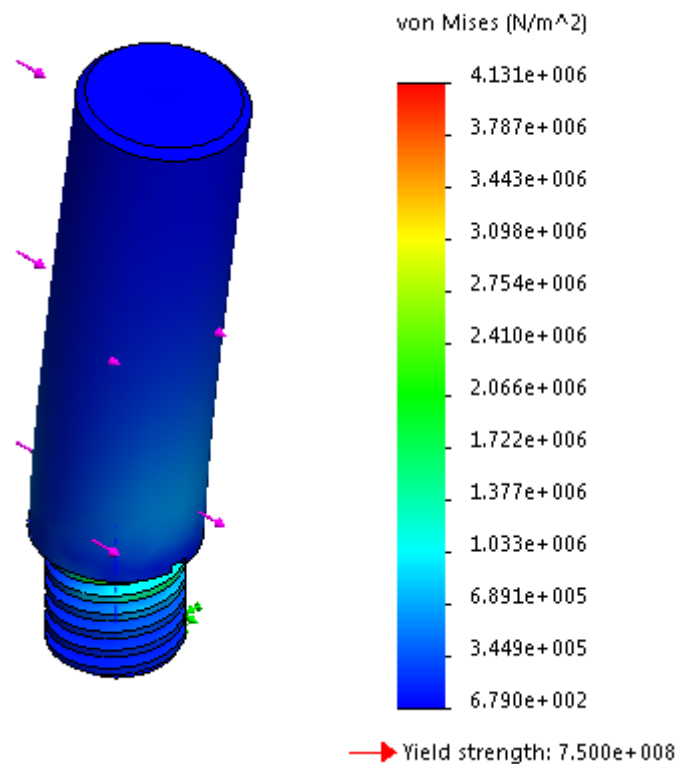


Figura 58 - Simulação da Tensão de Von Mises TM-AS0305

Tensão cedência > Tensão Von Mises máxima

Como Tensão de cedência \gg Tensão Von Mises máxima da peça, conclui-se que o componente se encontra sobredimensionado. No entanto, as dimensões serão mantidas devido aos tamanhos dos componentes normalizados inerentes ao funcionamento do componente.

3.5.4.10 TM-AS0310

Designação	Espaçador
Referência interna	TM-AS0310
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

Solicitações:

Na figura que se segue é possível visualizar a simulação do componente, obtida através do módulo *Simulation xpress* do *Solidworks*.

3.5.5 TM-AS0900

Este conjunto tem como principal função sustentar o equipamento, sendo estruturado em perfil de alumínio.

Na imagem que segue encontra-se uma representação 3D, elaborada em *Solidworks*, do conjunto supracitado.

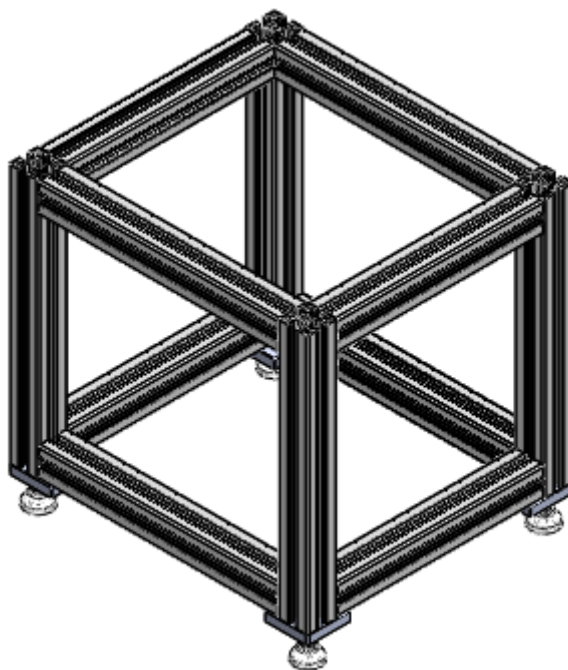


Figura 59 -- Conjunto TM-AS0900

Tabela 20 - Peças do conjunto TM-AS0300

Referência da peça		Descrição da peça
TM - AS0901	Maquinação	Base apoio perfil
Perfil_001_45x45		Perfil de alumínio comprimento
Perfil_002_45x45	Componentes de mercado	Perfil de alumínio comprimento
Perfil_003_45x45		Perfil de alumínio comprimento
Apoio redondo		

3.5.7 TM – AS0901

Designação	Espaçador
Referência interna	TM-AS0310
Fabricante	Maquinação
Material	AISI 4140 tratado
Quantidade	1

3.5.8 Casquilhos / Anel elástico

Designação	-
Norma	
Referência interna	
Fabricante	
Comerciante	
Material	
Quantidade	

3.5.9 Célula de carga

Designação -
Norma
Referência interna
Fabricante
Comerciante
Material
Quantidade

3.5.10 Estrutura (Tipo de Perfil)

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

Este trabalho surgiu da necessidade de um equipamento laboratorial para realização de ensaios tribológicos. Numa fase inicial, realizou-se um estudo de forma sucinta, que permitisse um enquadramento com o tema. De seguida pesquisaram-se os equipamentos existentes no mercado, afim de analisar as suas vantagens e seleccionar o tipo de tribómetro a realizar.

Selecionado o tribómetro pino disco, estabeleceram-se os pré-requisitos do equipamento e analisaram-se as forças inerentes ao funcionamento do tribómetro. Seguidamente, desenvolveu-se o projeto mecânico do equipamento. Nesta fase, as dificuldades começaram a sentir-se, pois um projeto pode não ter fim, sendo que há sempre algo que se pode fazer de forma diferente e igualmente vantajosa. Encontrado o equilíbrio entre os requisitos, os componentes disponibilizados pelo mercado e o projeto mecânico do equipamento, fez-se a descrição do mesmo.

Em suma e sendo o principal objetivo do trabalho, o desenvolvimento de um projeto mecânico de um tribómetro pino-disco, conclui-se que este foi realizado com sucesso. No entanto, para o periférico ser funcional, seria necessário realizar-se um estudo mais aprofundado dos componentes elétricos inerentes ao mesmo.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

O tribómetro foi desenvolvido com vista à sua otimização, no entanto como sugestão de melhoria, poderá considerar-se a realização da estrutura por uma peça única, de geometria idêntica ao suporte do motor (maiores dimensões). Deste modo, facilitar-se-ia a montagem do equipamento, reduzindo os componentes de mercado e diminuindo o custo do equipamento. Poderia também aprofundar-se o estudo da remoção do óleo do equipamento usado no teste, de modo a facilitar o processo de limpeza para o utilizador.

Numa escala mais abrangente, seria interessante considerar-se a aplicação de um sistema linear recíproco, em paralelo com o sistema de rotação do disco, na posição final do suporte do pino. Este processo estaria simplificado à partida pelo facto de o suporte do pino se deslocar ao longo do equipamento.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] A. F. H. Gomes, "Projecto e Implementação de um," Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016.
- [2] Astm, "G 99: Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus," *Annu. B. ASTM Stand. G-99-95a*, no. Reapproved, pp. 1–5, 2000.
- [3] F. . P. da Silva, "Tribologia," *Tribologia*. Fundação Calouste Gulbenkian, p. I volume, 1985.
- [4] A. Completo and F. Q. De Melo, *Introdução ao Projeto Mecânico*. 2017.

5.1.1 BIBLIOGRAFIA DE IMAGENS

ANEXOS

6.1 ANEXO1

6 ANEXOS

Quadro auxiliar na decisão do tipo de perfil.

SIEMBRA
AUTOMAÇÃO

Tabela de Comparação de Perfis
Alumínio x Aço

VARIÁVEIS	Perfil em Alumínio		Perfil em Aço		
	Quadrado	Redondo	Quadrado (metalon)	Redondo com Capa Plástica	Redondo com pintura
RESISTÊNCIA MECÂNICA					
RESISTÊNCIA A OXIDAÇÃO SEM TRATAMENTO					

Figura 60 -

TIPOS DE TRATAMENTOS	Anodização e Pintura	Anodização e Pintura	Pintura	Recapeamento	Pintura
PESO					
FACILIDADE NA MONTAGEM E MANUTENÇÃO					
DURABILIDADE E ACABAMENTO					
FACILIDADE NO REAPROVEITAMENTO (SUSTENTABILIDADE)					
CUSTO (COMPARAÇÃO)					

Legenda:



Bom



Regular



Ruim

abela 21 - Propriedades típicas de alguns materiais à temperatura ambiente

Nº	Material	σ_f (MPa)	K_{IC} (MPa \sqrt{m})	σ_y (MPa)	E (MPa)	P (Kg/m ³)	M = E/ ρ	Custo €/kg	Maq.	Corrosão
MT1	AISI 1045 tratado	370	80,9	505	210000	7800	26,9	0,8	4	1
MT2	AISI 4140 tratado	580	42	1435	210000	7850	26,8	0,7	4	2
MT3	AISI 316	250	160	205	200000	8000	25,0	2,5	4	5
MT4	Al 5083 – H12	135	32	140	72000	2670	27,0	1,5	5	4
MT5	CuZn10	180	82	210	108000	8250	13,1	2,7	4	4

Tabela 22 - Ponderação da importância dos atributos

Nº	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	3/4	3/5	3/6	3/7	4/5	4/6	4/7	5/6	5/7	6/7	Σ	%	
P1	60	70	60	70	80	50																390	18,6	
P2	40						60	50	60	70	40												320	15,2
P3		30					40					40	50	60	30								250	11,9
P4			40					50				60				60	70	40					320	15,2
P5				30					40				50			40			60	30			250	11,9
P6					20					30				40			30				20		140	6,7
P7						50					60				70			60	40	70	80		430	20,5
																							2100	

		PROPRIEDADES/ATRIBUTOS															
		1- σ_f [MPa]		2- K_{IC} [MPa \sqrt{m}]		3- Corrosão [-]		4- σ_y [MPa]		5- Maq. [-]		6- Custo [€/kg]		7- M = E/ ρ [MPam ³ /kg]			
		$w_1=18,6$		$w_2=15,2$		$w_3=11,9$		$w_4=5,2$		$w_5=11,9$		$w_6=6,7$		$w_7=20,5$			
AISI 1045 tratado	A	C	370,00	11,87	80,90	7,69	1,00	2,38	505,00	1,83	3,00	7,14	0,80	5,86	26,90	20,30	57,06
	B		0,64		0,51		0,20		0,35		0,60		0,88		0,99		
AISI 4140 tratado	A	C	580,00	18,60	42,00	3,99	2,00	4,76	1435,00	5,20	3,00	9,52	0,70	6,70	26,80	20,35	69,12
	B		1,00		0,26		0,40		1,00		0,80		1,00		0,99		
AISI 316	A	C	250,00	8,02	160,00	15,20	5,00	11,90	205,00	0,74	3,00	9,52	2,50	1,88	25,00	18,98	66,24
	B		0,43		1,00		1,00		0,14		0,80		0,28		0,93		
Al 5083 – H12	A	C	135,00	4,33	32,00	3,04	4,00	9,52	140,00	0,51	5,00	11,90	1,50	3,13	27,00	20,50	52,92
	B		0,23		0,20		0,80		0,10		1,00		0,47		1,00		
CuZn10	A	C	180,00	5,77	82,00	7,79	4,00	9,52	210,00	0,76	4,00	9,52	2,70	1,74	13,10	9,95	45,05
	B		0,31		0,51		0,80		0,15		0,80		0,26		0,49		