Uma imagem contendo desenho

Descrição gerada automaticamente

FATEC – FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
PROF. JESSEN VIDAL

**Chave de Retenção para Cilindro de Alta Pressão do Trem De Pouso Principal do Helicóptero Pantera**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP

1° Semestre - 2020

**Chave de Retenção para Cilindro de Alta Pressão do Trem de Pouso Principal do Helicóptero Pantera**

INTEGRANTES: CHRISTIAN ARILIO BEZERRA   
DE QUEIROZ, KAREN ROITHMEIER RODRIGUES, LUCAS SERGIO DE OLIVEIRA, MÁRCIO SIQUEIRA PEREIRA, MAYARA CAROLINA FERREIRA DE LIMA, PAULO HENRIQUE CONCEIÇÃO DIAS

PROF. ORIENTADOR: ALEXANDRE ZARAMELA

PROF. CLIENTE: FELIX ARLINDO STROTTMANN

CURSO: TÉCNOLOGO EM MANUTENÇÃO DE AERONAVES

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP

1° Semestre - 2020

**SUMÁRIO**

[1. INTRODUÇÃO 4](#_Toc45114765)

[2. MATERIAIS E MÉTODOS 5](#_Toc45114766)

[3. RESULTADOS 10](#_Toc45114767)

[3.1 Primeira Revisão 10](#_Toc45114768)

[3.1.1 Cálculos da Primeira Revisão 10](#_Toc45114769)

[3.2 Segunda Revisão 16](#_Toc45114770)

[3.2.1 Cálculos da Segunda Revisão 17](#_Toc45114771)

[3.3 Resultado Definitivo 19](#_Toc45114772)

[4. CONCLUSÕES 20](#_Toc45114773)

[5. REFERÊNCIAS 21](#_Toc45114774)

# INTRODUÇÃO

O Projeto Integrador Transversal proposto pela FATEC – Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos/SP, tem como objetivo promover ao aluno a oportunidade de desenvolvimento de suas habilidades através de um desafio real, que o leva através da prática a solucionar uma necessidade específica proposta.

No primeiro semestre de 2020, a turma de Manutenção de Aeronaves recém ingressada recebeu o desafio de projetar 5 (cinco) ferramentas que serão utilizadas no Laboratório para montagem e desmontagem do atuador do Trem de Pouso Principal do Helicóptero Pantera. Os alunos dividiram-se em 5 (cinco) grupos, sendo que cada um foi responsável por uma ferramenta específica, tendo como denominação os respectivos grupos: Alfa, Bravo, Charlie, Delta e Foxtrot.

O grupo do presente relatório, Delta, recebeu como desafio o desenvolvimento de projeto da ferramenta “*Retaining Key for Cylinder*” – Código: PN OU50400, conforme “CMM (*Component Maintenance Manual) 32-12-96 Main Landing Gear Leg”.* A ferramenta tem como objetivo realizar a montagem do trem de pouso principal retendo o cilindro de alta pressão para aperto de uma porca específica.

# MATERIAIS E MÉTODOS

Após apresentação por parte do professor Félix Arlindo Strottmann e Alexandre Zaramela em relação ao Projeto Integrador Transversal, as turmas dirigiram-se ao laboratório da faculdade para que fosse possível analisar e tomar nota dos componentes que empregam o uso das ferramentas a serem desenvolvidas.

Foi observado o componente que receberia atuação da ferramenta PN OU50400 (figura 1) e, juntamente com o auxílio do CMM (*Component Maintenance Manual*) 32-12-96, foram realizadas as medições com o paquímetro do Rebaixo do Cilindro (figura 3) do Trem de Pouso Principal do Helicóptero Pantera (figura 2).

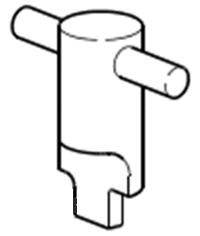


Figura 1 – Imagem da ferramenta: Chave de Retenção para Cilindro PN OU50400 – Manual CMM: 32-12-96.

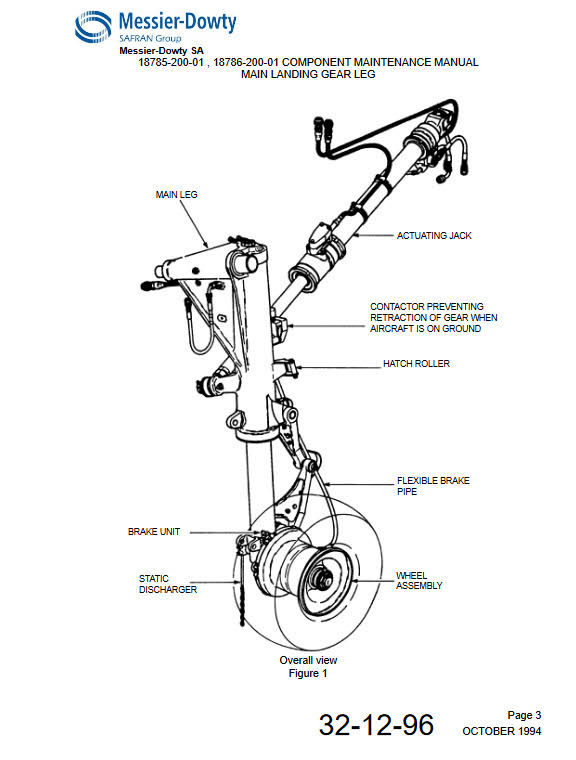
******

Figura 2 – Trem de Pouso Principal do Helicóptero Pantera - Manual CMM: 32-12-96, Pág. 39.

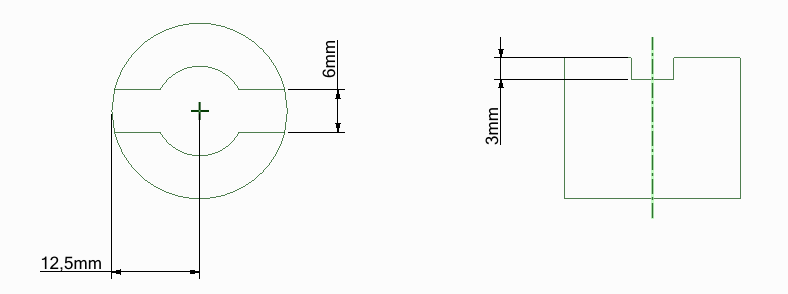


Figura 3 - Medidas do rebaixo de encaixe do dente da ferramenta no cilindro de alta pressão.

O grupo realizou a medição do Rebaixo no Cilindro, como ilustra a Figura 3, para que se fosse possível dar início ao processo de parametrização da ferramenta. Em posse destes dados, o grupo iniciou um processo de Engenharia reversa, procurando visualizar como era a ferramenta através de imagem presente no manual.

Com as medidas de referência relacionadas ao Dente da ferramenta e, a figura do manual representando como é a aparência da ferramenta, a imaginação entrou em cena, croquis começaram a ser desenvolvidos a mão e em seguida em softwares de modelagem CAD.



Figura 4 - Imagem da localização da ferramenta no Trem de Pouso – Manual CMM: 32-12-96.

Os croquis realizados manualmente proporcionaram uma ampla noção para partir à modelagem virtual da ferramenta no CAD. Durante o desenvolvimento do projeto, ocorreram diversas reuniões em grupo com o auxílio do professor orientador Alexandre Zaramela, com o intuito de melhoria dimensional e aproveitamento estrutural. Segue alguns exemplos quanto as dimensões da ferramenta no decorrer do projeto (Figura 5.0 a 5.3).

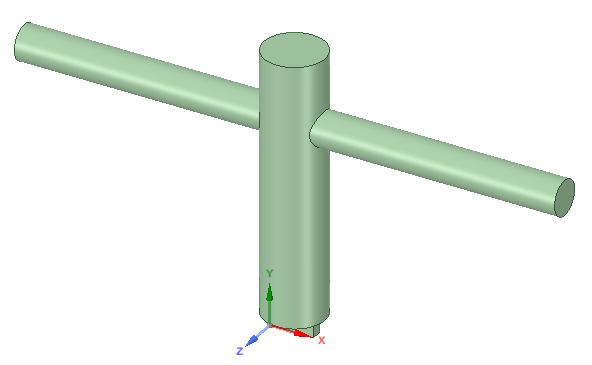


Figura 5.0 – Imagem do Primeiro Croqui no CAD, partindo do Desenho Técnico Manual – Autoria Própria. *SpaceClaim*

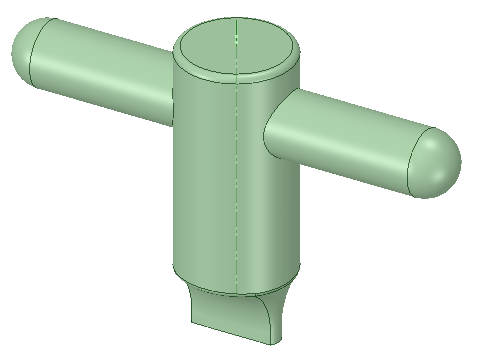


Figura 5.1 – Imagem do Croqui no CAD, atualizando as medidas com arredondamento na ponta da haste – Autoria Própria. *SpaceClaim*.

.

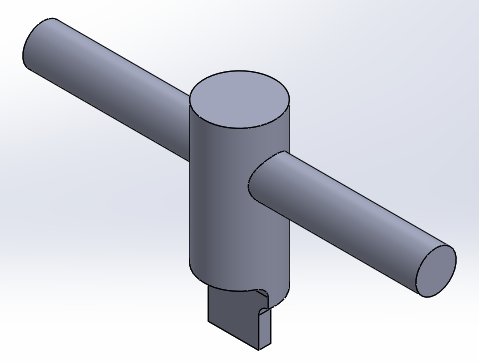


Figura 5.2 - Imagem do Croqui no CAD, com embasamento no CMM – Autoria Própria. *SpaceClaim*.

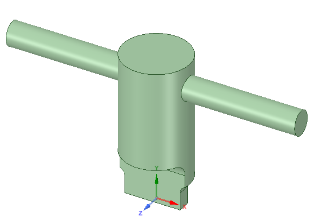


Figura 5.3 – Imagem do Croqui no CAD, redimensionamento da ferramenta – Autoria Própria. *SpaceClaim.*

Em uma primeira versão de projeto, as seguintes dimensões na figura abaixo (Figura 6) foram definidas para que se desse início aos cálculos estruturais da ferramenta.

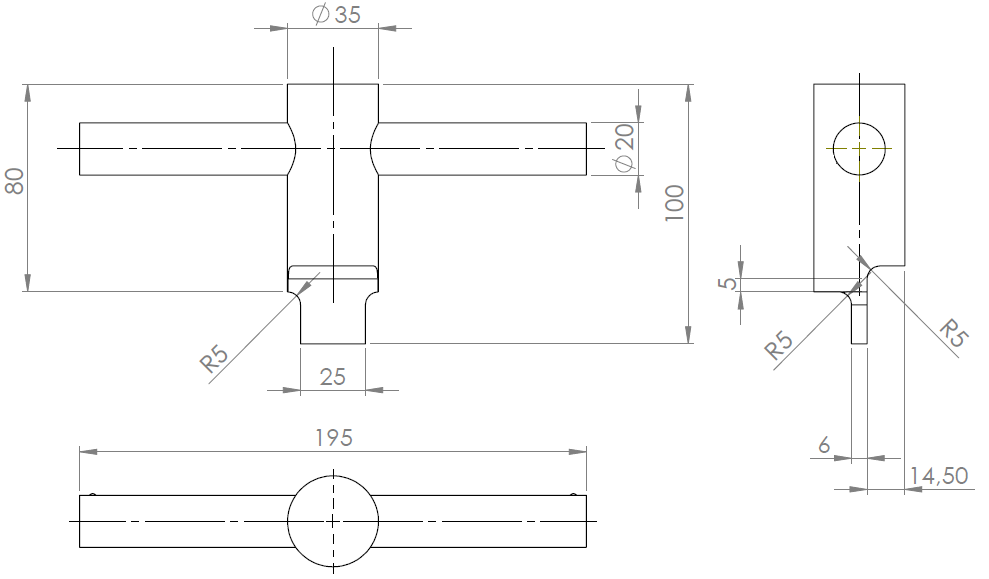
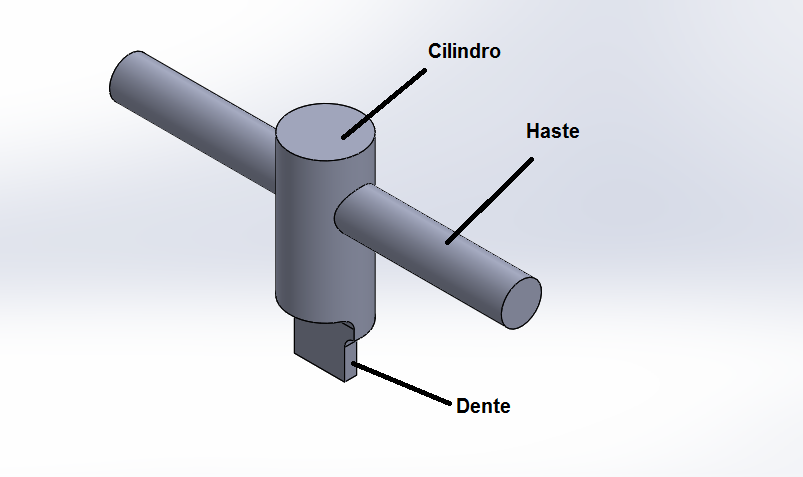
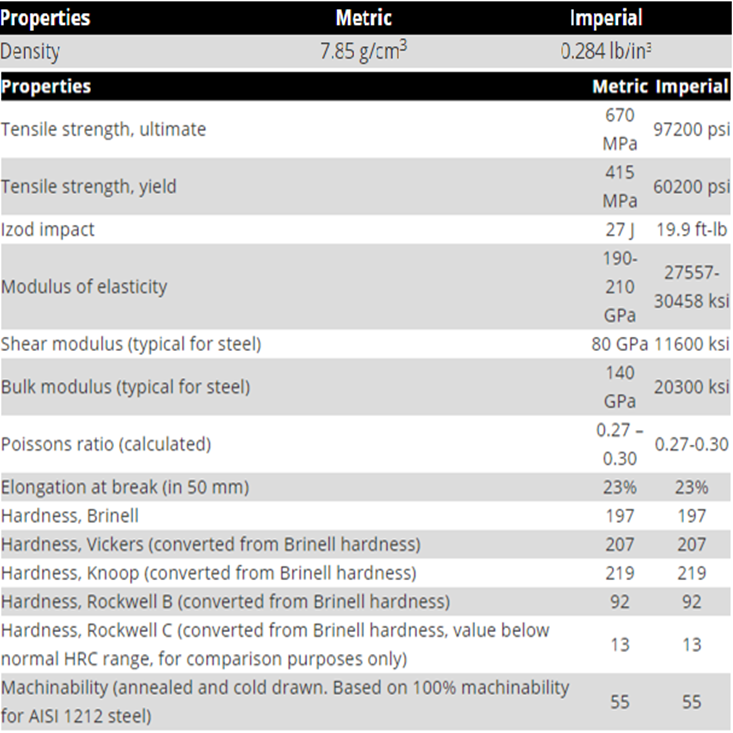


Figura *6* – Desenho Técnico – Dimensionamento da ferramenta. Autoria Própria. *SpaceClaim.*

Quanto a nomenclatura adotada para as partes da ferramenta, segue figura abaixo.

  
  
Figura 7 – Nomenclatura de partes da ferramenta. Autoria Própria. *SpaceClaim.*

Em relação ao material da ferramenta, foi escolhido o SAE 6150, Aço prata Cromo-Vanádio, pois através de pesquisas e observações em ambientes de trabalho essa liga de aço é a mais utilizada em ferramentas para esforços de torção. O Cromo nesta liga favorece a dureza e a proteção contra oxidação, enquanto o vanádio proporciona alta resistência quanto ao desgaste. Não é necessária a aplicação de tratamento, pois as propriedades mecânicas deste material atendem aos esforços que serão demonstrados adiante através dos cálculos com favorável Margem de Segurança.

  
Propriedades Aço Cromo-Vanádio

. Tabela 1 – Propriedades do Aço. *Azo Materials.*

# RESULTADOS

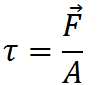
## **3.1 Primeira Revisão**

Em posse das dimensões e do material, foram realizados os seguintes cálculos, nos quais foram desenvolvidos em planilhas eletrônicas, utilizando o Microsoft Excel. Todos os cálculos desenvolvidos no Excel possuem a coloração azul na célula quando é um Input para o cálculo e, dourado para o resultado após aplicação dos Inputs.

1. Cálculo de tensão de esmagamento na superfície de contato entre a ferramenta e o cilindro;
2. Cálculo de torção em barras de seção transversal não circular (torção no dente);
3. Cálculo de flexão em barras de seção circular (tensão na haste);
4. Cálculo de torção em barras de seção circular (torção no cilindro da chave);
5. Cálculo de margem de segurança.

### **3.1.1 Cálculos da Primeira Revisão**

#### **3.1.1.1 Cálculo de Tensão de Esmagamento na Superfície de contato entre a Ferramenta e o Cilindro**

 O cálculo de Tensão de Esmagamento na superfície de contato entre a ferramenta e o cilindro foi realizado para que obtivesse o valor da Tensão de Cisalhamento entre o contato da ferramenta com o cilindro, para posterior avaliação quanto a resistência da ferramenta a este esforço sem deformação permanente. As seguintes equações foram utilizadas:



Equação 1 – Fórmula de Torque ou Momento Equação 2 – Fórmula de Tensão.

A Primeira Equação, sendo essa a fórmula do Torque/Momento (Nm), é dada pelo produto da Força em Newtons e “b”, sendo o Braço em metros. A Segunda Equação representa o cálculo da Tensão, sendo “t” a Tensão em (N/mm²) e A a Área em m². Segundo o CMM o Torque de aperto da Chave de Retenção é de 20Nm, utilizando as fórmulas e os valores de dimensionamento obteve-se os seguintes resultados:

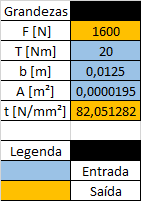
Cálculo Tensão de Esmagamento no contato do Dente

Tabela 2 –. Autoria própria - Microsoft Excel.

#### **3.1.1.2 Cálculo de Torção em Barras de Seção Transversal não Circular (Torção no Dente)**

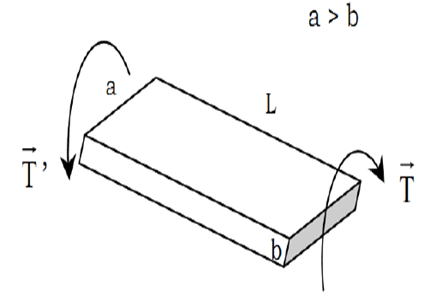
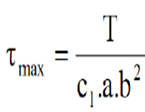
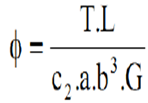


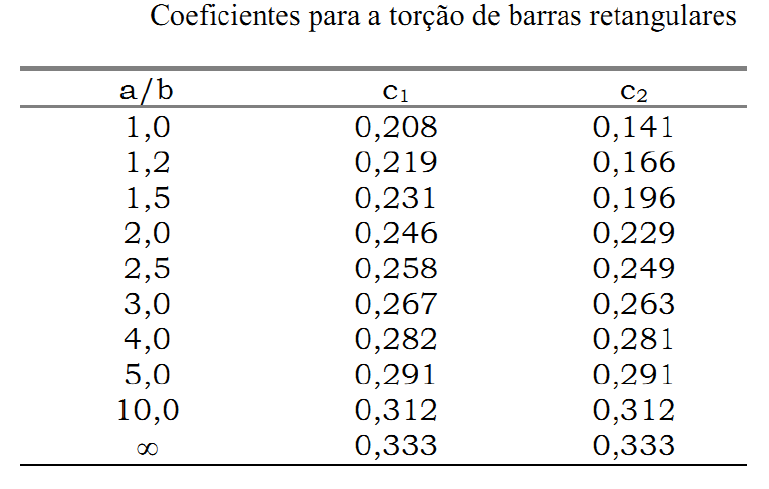
Figura 8 **-** Representação do esforço em barra não circular.

O cálculo de Torção em Barras de Seção Transversal não Circular foi necessário para avaliar a Tensão de Cisalhamento no dente da ferramenta e a sua mudança no ângulo de Torção, quanto o torque de 20Nm fornecido pelo material que fosse aplicado. As seguintes equações foram utilizadas:



Equação 3 – Cálculo de tensão máxima de cisalhamento em esforço de torção em barras não circulares.

Equação 4– Cálculo do ângulo de torção em barras não circulares.

Tabela 3 – Coeficientes para a Torção de Barras Regulares.

A Equação 3 é a fórmula de cálculo de tensão máxima de cisalhamento em esforço de torção em barras não circulares, de unidade Pa. A Equação 4 é a fórmula do cálculo do ângulo de torção em barras não circulares, de unidade radianos.

Os seguintes resultados foram obtidos:

Cálculo Tensão Máxima de Cisalhamento e ângulo de torção.

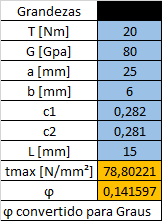
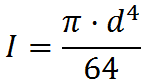
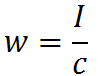
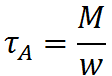
**

Tabela 4 - Autoria própria - Microsoft Excel.

#### **3.1.1.3 Cálculo de Flexão em Barras de Seção Circular (Tensão na Haste)**

O cálculo de Flexão em Barras de Seção Circular foi necessário para obter a Máxima Tensão de Flexão no contato entre a haste e o cilindro da ferramenta. Para isso, foi calculado a força F1 na extremidade da haste necessária para um Torque/Momento resultante de 20Nm no centro da ferramenta, com esta força, foi calculado o Torque/Momento T2 atuante na junção entre a haste e o cilindro e, com este valor de Torque/Momento aplicado nas fórmulas a seguir, foi possível determinar a tensão de flexão na haste. Além do Cálculo de Toque, também foram utilizadas as seguintes equações:



Equação 5 – Cálculo do momento de inércia para circunferência.

Equação 6 - Cálculo do módulo resistente de flexão.

Equação 7 – Cálculo da tensão de flexão na haste.

A Equação 5 representada é o Cálculo usado no Momento de Inércia para uma Circunferência, onde “d” é o diâmetro da circunferência. A Equação 6 é o Cálculo do Módulo Resistente de Flexão, sendo “I” o momento de inércia e “c” a distância da linha neutra da circunferência até a extremidade, similar ao raio da circunferência. A Equação 7 é o Cálculo da Tensão de Flexão na Haste no contato com o cilindro da ferramenta, onde “M” é o Torque/Momento calculado e “w” é o módulo resistente.

Os seguintes resultados foram obtidos:

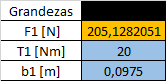
Cálculo da força na extremidade da haste

Tabela 5 – Autoria própria. - Microsoft Excel.

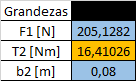
Cálculo do Torque/Momento na junção da Haste com o Cilindro da Ferramenta

Tabela 6 – Autoria própria. - Microsoft Excel.

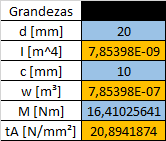
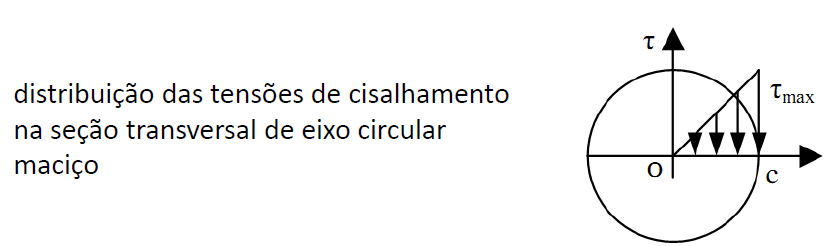
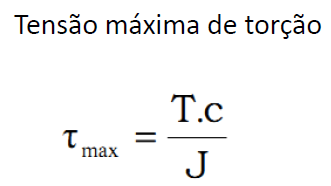
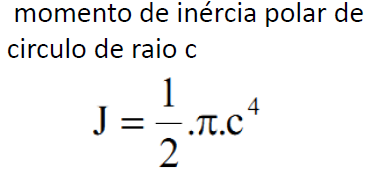
Cálculo da Tensão de Flexão na Haste

Tabela 7 – Autoria própria. - Microsoft Excel.

**3.1.1.4 Cálculo de Torção em Barras de Seção Circular (Torção no Cilindro da Chave)**

  
Figura 9 – Representação da Distribuição da Tensões de Cisalhamento na Seção Transversal de eixo circular maciço.

O Cálculo de Torção em Barras e Seção Circular foi necessário para calcular a tensão de cisalhamento por torção no cilindro da ferramenta. Para isso, foi encontrado o momento polar de inércia de uma circunferência, seguido da tensão máxima na extremidade do cilindro. As seguintes equações foram utilizadas:



Equação 8 – Cálculo do Momento de Inércia Polar De Um Eixo Circular Maciço.

Equação 9 – Cálculo da tensão máxima de torção no cilindro.

A Equação 8 é o cálculo de momento de inércia polar de um eixo circular maciço, onde c é a distância equivalente ao raio da circunferência. A Equação 9 é o cálculo da tensão máxima de torção no cilindro da ferramenta, onde T é o Torque/Momento, c é a distância equivalente ao raio da circunferência e J é o momento de inércia polar.

Os seguintes resultados foram obtidos:

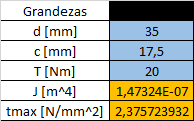
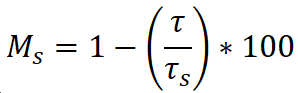
Cálculo da torção no cilindro da ferramenta

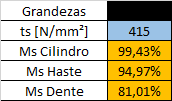
Tabela 8 – Autoria própria - Microsoft Excel.

#### **3.1.1.5 Cálculo de Margem de Segurança**

 O cálculo de margem de segurança foi necessário para demonstrar se de fato a configuração atual da ferramenta resiste aos esforços nela empregados, define-se como a razão entre a tensão atuante e a tensão de escoamento da peça, subtraído do número inteiro 1 e demonstrado em porcentagem. A seguinte fórmula foi utilizada:

Equação 10 – Cálculo da Margem de Segurança para Tensão de Escoamento.

A Equação acima é o cálculo da Margem de Segurança para tensão de escoamento, onde t é a tensão atuante e ts é a tensão de escoamento do material utilizado, o Aço Cromo-Vanádio. Os seguintes resultados foram obtidos:

Cálculo da margem de segurança das partes da ferramenta  
Tabela 9 – Autoria própria - Microsoft Excel.

Esta configuração se mostrou bastante robusta observando o cálculo de margem de segurança, ou seja, existe margem para alteração da ferramenta sem comprometer sua capacidade de atender aos esforços de trabalho.

Um protótipo em madeira foi confeccionado, o grupo percebeu que o diâmetro do cilindro da ferramenta de 35 mm carecia de ergonomia, e a haste poderia ser reduzida e possuir menor diâmetro.

Foi observado que a massa final desta ferramenta mensurada no software CAD Ansys SpaceClaim aproximava-se de 1kg, o grupo chegou à conclusão que a ferramenta estava por demais superdimensionada, sendo assim, após orientações do professor orientador Alexandre Zaramela, foi reconfigurada as dimensões da ferramenta, e também ficou definido que a nova configuração seria vazada, e não mais maciça. Aplicando este Trade-Off, foi retirada massa da ferramenta e melhorada ergonomicamente.

## **3.2 Segunda Revisão**

Após aplicadas mudanças de dimensionamento da ferramenta, extração de material para alívio de massa, e remodelagem do dente para uma condição simétrica, a nova e definitiva configuração da ferramenta ficou como demonstra a figura abaixo:

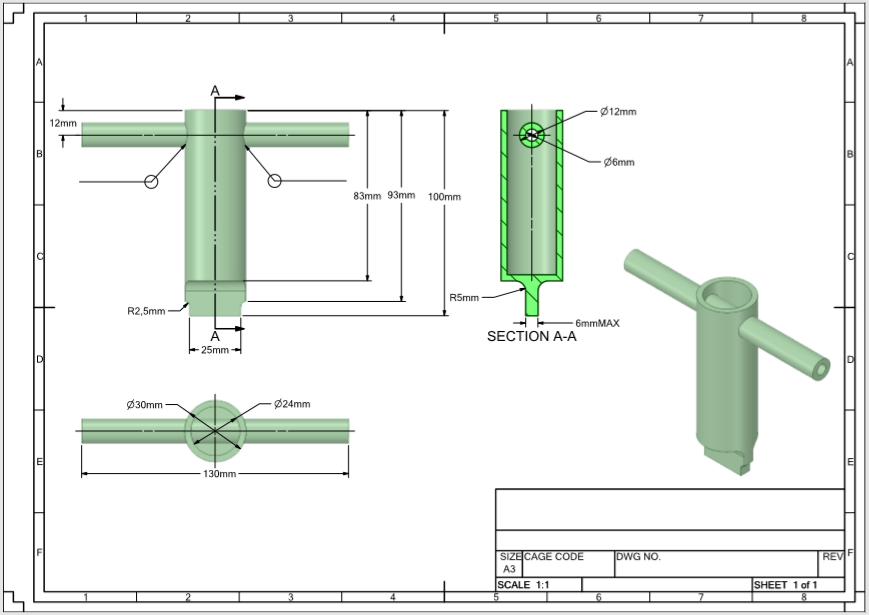


Figura *10* – Desenho dimensional da ferramenta após Trade-Off. Autoria própria. *SpaceClaim.*

### **3.2.1 Cálculos da Segunda Revisão**

Os cálculos foram realizados novamente adequando-se as novas dimensões, com inserção de um cálculo de margem de segurança para ruptura no cálculo de tensão na haste. A seguir serão demonstrados os resultados após os novos cálculos.

#### **3.2.1.1 Cálculo de torção em barras de seção transversal não circular (torção no dente)**

Tensão de Torção e Ângulo de Torção.

Tabela 10 – Autoria própria - Microsoft Excel.

#### **3.2.1.2 Cálculo de flexão em barras de seção circular (tensão na haste)**

Neste cálculo, foi implementado o fator de segurança de valor 2, ou seja, a Força calculada foi multiplicada por 2 e, a tensão calculada baseia-se nesta força com aplicação do fator.

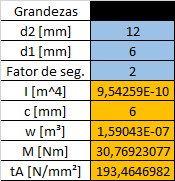
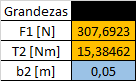
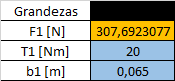
****Cálculo de Flexão na Haste com o Fator de Segurança

Tabela 11 – Autoria própria - Microsoft Excel.

****Cálculo de Momento na Junção da Haste com o Cilindro  
  
Tabela 12 – Autoria própria - Microsoft Excel.

****Cálculo de Força na Haste   
  
Tabela 13 – Autoria própria - Microsoft Excel.

#### **3.2.1.3 Cálculo de torção em barras de seção circular (torção no cilindro da chave)**

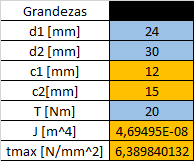
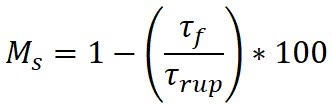
Cálculo de Torção no Cilindro da Ferramenta

Tabela 14 –Autoria própria - Microsoft Excel.

#### **3.2.1.4 Cálculo de Margem de Segurança**

****O Cálculo similar ao da ferramenta anterior, porém foi atualizado com a adição do cálculo de Margem de Segurança para Ruptura, para parte da ferramenta que sofre flexão, a haste.

Equação 11 - Margem de segurança para ruptura.

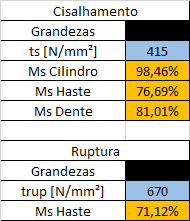
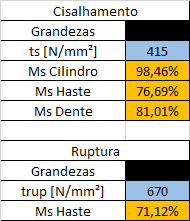
****

Tabela 15 – Cálculo da Margem de Segurança - Cisalhamento. Autoria própria. Microsoft Excel.

****  
  
Tabela 16 – Cálculo da Margem de Segurança - Ruptura. Autoria própria. Microsoft Excel.

## **Resultado Definitivo**

Após a aplicação do Trade-Off, obteve-se uma ferramenta capaz de atender aos esforços necessários, com a massa de aproximadamente 280g. A Margem de Segurança obtida após a melhoria ainda é bastante satisfatória e, demonstra que a ferramenta é robusta e possui uma ótima otimização.

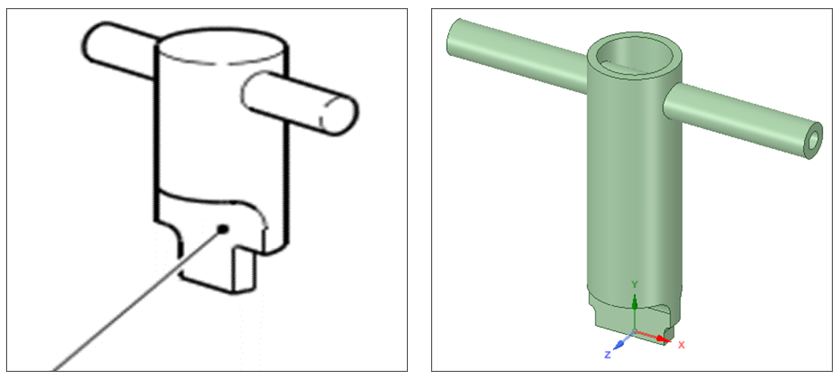
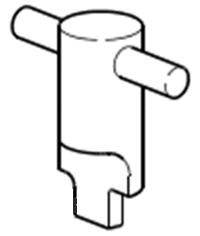


Figura *11* – Comparação da ferramenta observada no CMM com a ferramenta projetada pelo grupo Delta.Autoria própria. *SpaceClaim.*

# CONCLUSÕES

O Projeto Integrador Transversal do Primeiro Semestre de 2020 proporcionou aos alunos uma oportunidade real de desenvolvimento do aprendizado através da prática, apresentou uma necessidade na qual o grupo pôde se reunir e em equipe planejarem e executarem os desafios que lhes foram impostos. Em consequência, este projeto não só desenvolveu o aprendizado dos alunos, como também promoveu o relacionamento interpessoal de cada participante, um dos grandes objetivos do Projeto Integrador.

A ferramenta desenvolvida no projeto demonstra solucionar a necessidade existente no laboratório para montagem do trem de pouso principal do Helicóptero Pantera, o grupo atingiu o objetivo que almejava.

O auxílio dos professores durante o desenvolvimento do projeto foi essencial para o resultado obtido, a interação aluno-professor foi bem fluída, o que acabou por garantir um avanço e conclusão de projeto com elevado nível de satisfação.

# REFERÊNCIAS

Messier – Dowty SA. CMM (Component Maintenance Manual with Illustrated Parts List) 32-12-96 Main Landing Gear Leg. São Paulo: 2020.

NADAL. Prof. Dr. Carlos Aurélio. Estudo sobre Torção. Torção em Barras de Secção Transversal não Circular. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: [http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/AULA-04-TOR%C  
3%87%C3%83O.pdf](http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/AULA-04-TOR%C3%87%C3%83O.pdf) – Acesso em: 2020.

Educação, Tecnologia e Engenharia – Tecnologia e Engenharia Online. Resistencia dos Materiais: Flexão em Secção Circular. Disponível em: [https://www.youtube.com  
/watch?v=cYZEnVjWnoU&t=](https://www.youtube.com/watch?v=cYZEnVjWnoU&t=) - Acesso em: 2020.

AISI 6150 Alloy Steel (UNS G61500) – Azo Materials. Propriedades do Aço 6150. Disponível em: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6744> – Acesso: 2020.

ECIVIL. Descomplicando Engenharia. Módulo de Resistencia. Disponível em: [https://  
www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-modulo-de-resistencia.html](https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-modulo-de-resistencia.html) - Acesso em: 2020.

Histórico do Projeto Integrador Transversal, grupo Delta. Cálculos; Pesquisas; ATA; Desenhos Técnicos; Repositório do GITHUB. Disponível em: [https://github.com/  
lucaskkergg/proj\_int\_1\_sem\_2020\_grupo\_d\_manut](https://github.com/lucaskkergg/proj_int_1_sem_2020_grupo_d_manut) – Acesso: 2020.