

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS



Trabalho de Conclusão de Curso

**Aprimoramento de um dispositivo de levantamento para
implementos agrícolas**

Maísa Baggio de Paula

Pelotas, 2017

Maísa Baggio de Paula

**Aprimoramento de um dispositivo de levantamento para
implementos agrícolas**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Desenvolvimento
Tecnológico da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial à obtenção
do Título de Engenheiro de Materiais

Orientadora: Profa. Dra. Amanda Dantas de Oliveira

Pelotas, 2017

Maísa Baggio de Paula

Aprimoramento de um dispositivo de levantamento para implementos agrícolas.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 28/07/2017

Banca examinadora:

Prof. Dra. Amanda Dantas de Oliveira. (Orientadora). Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos.

Prof. Dr. José Henrique Alano. Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos.

Prof. Dr. Rubens Camaratta. Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande Sul.

*Dedico este trabalho aos meus pais e à
minha irmã, por estarem sempre ao meu
lado.*

Agradecimentos

Agradeço inicialmente à minha família, meu pai, minha mãe e minha irmã, por toda paciência, carinho e cuidado durante todos estes anos.

Ao meu namorado por sempre me dar forças para seguir meus sonhos.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante meu intercâmbio e me sustentaram em uma das etapas mais importantes da minha vida e continuaram do meu lado, fazendo deste trabalho uma realidade.

À empresa Paris Implementos Agrícolas e funcionários, que proporcionaram a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que estiveram do meu lado, que foram pacientes e sempre acreditaram em mim, muito obrigada.

Resumo

DE PAULA, Maísa Baggio. **Aprimoramento de um dispositivo de levantamento para implementos agrícolas**. 2017. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

O presente trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de um dispositivo de levantamento para implementos agrícolas, um macaco mecânico, desenvolvido em parceria com a empresa Paris Implementos Agrícolas, da cidade de São Domingos/SC, durante o primeiro semestre de 2017. O dispositivo usado pela empresa apresentou falhas, que foram analisadas e avaliadas. Utilizando o software MATLAB para realização dos cálculos necessários, encontrou-se as dimensões adequadas para o novo dispositivo, de acordo com a carga aplicada. Encontrou-se também os parâmetros para que o macaco mecânico estivesse seguro contra fratura em uso e contra encurvamento. Utilizou-se de diagramas de Ashby gerados pelo software CES EduPack 2013 para realizar cuidadosa seleção de materiais visando aumentar a durabilidade e qualidade do produto, prezando pelo custo-benefício. Um protótipo do macaco foi construído e testado com sucesso pela empresa.

Palavras-chave: macaco mecânico; seleção de materiais; implementos agrícolas.

Abstract

DE PAULA, Máisa Baggio. **Improvement of a lifting device to use in agriculture implements**. 2017. 33 f. Course Conclusion Work. Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

The following work presents the development process of a lifting device to use in agriculture implements, a screw jack developed in a partnership with the company Paris Agricultural Implements, from the city of São Domingos/SC, during the first semester of 2017. The device used by the company showed flaws, which were analysed and evaluated. Using the software MATLAB, was possible to calculate adequate dimensions and to prove the device safe against break and buckling. The tool used to select the materials for the components was the software CES EduPack 2013, which generated Ashby diagrams. With the diagrams and bibliographic information, the materials were carefully chosen to fulfil the company needs, improving the quality and the durability, regarding the cost-benefit. The company built, and successfully tested a prototype of the improved screw jack, for then include the device in their final product.

Key words: screw jack; materials selection; agricultural implements.

Lista de Figuras

Figura 1: Princípio de Pascal.....	12
Figura 2: Macaco garrafa (Fonte: www.lojadomecanico.com.br)	12
Figura 3: Macaco jacaré (www.lojadomecanico.com.br)	13
Figura 4: Macaco tesoura (www.repincol.pt)	14
Figura 5: Esquema de um macaco mecânico com porca fixa (Khurmi, 2005).....	14
Figura 6: Plano inclinado, análogo ao funcionamento de um macaco mecânico cilíndrico (Khurmi, 2005)	15
Figura 7: Carreta basculante para transporte de produtos agrícolas, a qual faz uso do macaco estudado (Paris Implementos Agrícolas, 2017)	17
Figura 8: Rosca quadrada e rosca trapezoidal, respectivamente (Khurmi, 2005) ...	20
Figura 9: dimensões da carreta basculante. Os pontos de apoio simbolizam os pneus e o macaco.....	23
Figura 10: Sistema de forças atuantes na carreta	24
Figura 11: Rosca trapezoidal.....	27
Figura 12: Diagrama de Ashby para a seleção do material do parafuso. (CES EduPack 2013).....	29
Figura 13: Diagrama de Ashby para o coeficiente de atrito para materiais deslizando em aço sem lubrificação (Ashby, 2005).	31

Lista de Tabelas

Tabela 1: Medidas padrão para a rosca quadrada	19
Tabela 2: Medidas padrão para a rosca trapezoidal	19
Tabela 3: coeficiente de atrito médio em diferentes condições (Khurmi, 2005)	21
Tabela 4: Valores de entrada no programa para design do macaco mecânico	25
Tabela 5: Resultados fornecidos pelo programa calculado pelo software MATLAB.	26
Tabela 6: Valores de eficiência de acordo com o tipo de rosca	30

Sumário

1. Introdução.....	11
1.1. Tipos de macacos	11
1.1.1. Macacos hidráulicos	11
1.1.2. Macacos mecânicos	13
2. Objetivo Geral.....	16
3. Materiais e Métodos	17
3.1. Descrição do macaco mecânico	17
3.2. Análise das causas da falha	18
3.2.1. Tipos de padrão de rosca	18
3.2.2. Desgaste e coeficiente de atrito	20
3.2.3. Componentes	21
3.3. Processo de design do dispositivo otimizado.....	21
4. Resultados e Discussão	23
4.1. Cálculo das forças resultantes	23
4.2. Cálculos das dimensões do macaco mecânico.....	25
4.3. Seleção dos materiais.....	28
4.4. Discussão dos resultados	29
4.4.1. Escolha do padrão de rosca	30
4.4.2. Escolha dos materiais.....	30
5. Conclusão.....	32
Referências Bibliográficas.....	33
Anexo A – Programa utilizado no software MATLAB para os cálculos relativos ao macaco mecânico	35

1. Introdução

Dispositivos para levantamento de cargas pesadas, ou macacos, como são comumente conhecidos, têm larga aplicação em atividades de engenharia, na construção civil, na indústria naval, na agroindústria ou para atividades do dia-a-dia, como levantar um carro para a troca de pneus. São capazes de levantar ou abaixar cargas altas com um baixo esforço por parte do operador. Podem variar largamente em tamanho, dependendo da carga suportada e de onde devem ser encaixados.

1.1. Tipos de macacos

Estes dispositivos podem ser classificados em mecânicos e hidráulicos, de acordo com seu princípio de construção.

1.1.1. Macacos hidráulicos

Macacos hidráulicos são geralmente utilizados em posições fixas, ao contrário dos macacos mecânicos. Necessitam de maior cuidado nas condições de terreno, para garantir a estabilidade do equipamento no momento da operação. São utilizados em elevadores para prédios de pequeno e médio porte (Metro Hydraulic, 2017).

O princípio de funcionamento de um macaco hidráulico é baseado no Princípio de Pascal que diz que “a alteração produzida em um fluido em equilíbrio transmite-se integralmente a todos os pontos do fluido e às paredes do seu recipiente”. A Figura 1 ilustra o funcionamento do Princípio de Pascal, apresentando dois cilindros. A força F_1 aplicada no primeiro cilindro, multiplicada pela área A_1 resulta na mesma pressão exercida no segundo.

Os tipos mais comuns de macacos hidráulicos são os macacos garrafa e macacos jacaré.

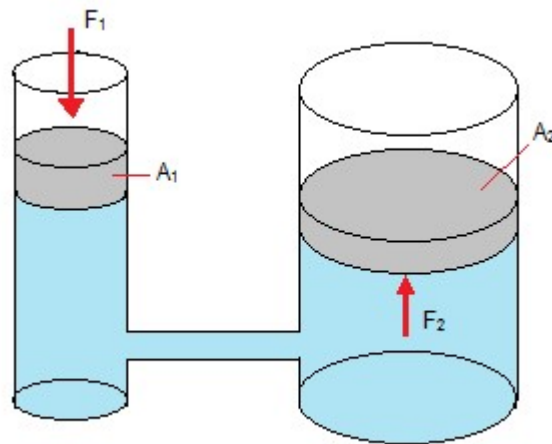


Figura 1: Princípio de Pascal

Em um macaco garrafa, o pistão é vertical e diretamente suporta a carga. É recomendado para cargas de 4 até 50 toneladas, dependendo do tamanho do dispositivo (Metro Hydraulic, 2017). Para cargas maiores, vários macacos são utilizados em sincronia para levantar a carga. A Figura 2 mostra um modelo de macaco garrafa.



Figura 2: Macaco garrafa (Fonte: www.lojadomecânico.com.br)

Em um macaco jacaré, um pistão horizontal empurra o braço curto de um *bellcrank*, com o braço comprido fazendo o movimento vertical de um bloco mantido horizontal por uma ligação horizontal. Indicado para sustentar cargas menores, é de fácil manuseio e permite uma extensão relativamente boa (Best Floor Jacks, 2017).

Um exemplo de macaco jacaré é apresentado na figura 3.



Figura 3: Macaco jacaré (www.lojadomecanico.com.br)

1.1.2. Macacos mecânicos

Os macacos mecânicos são dispositivos portáteis usados para movimentar cargas verticalmente. São muito versáteis em relação às suas dimensões e podem sustentar cargas de 5 a 1000kN (Lenze Ltd, 2017), dependendo do material de fabricação do dispositivo e do parafuso principal. São facilmente operáveis, tanto manualmente quanto através de motores. As velocidades de operação se encontram entre 0,1 a 300mm/s (Lenze Ltd, 2017).

Os tipos mais utilizados de macaco mecânico são os de tipo tesoura e cilíndrico.

Os macacos do tipo 'tesoura', como o modelo apresentado na Figura 4, vêm sendo utilizados desde 1930. São utilizados para movimentar grandes cargas por pequenas distâncias. São mecanismos simples e constituem de quatro membros, em forma de tesoura, unidos por um parafuso, sendo este a peça que sofre o trabalho. É operado por uma alavanca localizada em um dos fins do parafuso. Ao girar a alavanca, o parafuso aproxima os membros para erguer a carga ou os afasta, caso a carga estiver sendo abaixada. Seu uso é muito comum para sustentar veículos durante a manutenção (Best Floor Jack, 2017).



Figura 4: Macaco tesoura (www.repincol.pt)

Já o macaco mecânico cilíndrico é o objeto de estudo deste trabalho. É composto basicamente de um parafuso, uma porca, uma alavanca e o corpo do dispositivo. Pode ser construído de duas maneiras. A Figura 5 mostra o desenho esquemático de um macaco no qual o parafuso realiza o movimento, acionado pela alavanca, enquanto a porca está fixa. A outra possibilidade é manter o parafuso fixo a uma plataforma enquanto a porca é movimentada pela alavanca. A carga é movimentada através da rotação da alavanca, que pode tanto erguer quanto abaixar a mesma.

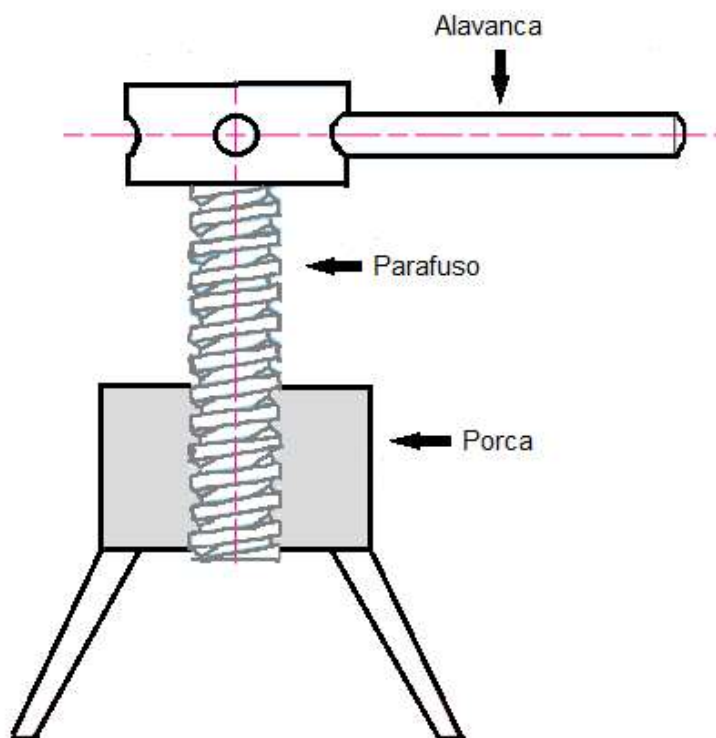


Figura 5: Esquema de um macaco mecânico com porca fixa (Khurmi, 2005).

O princípio de funcionamento do macaco mecânico é similar ao de um plano inclinado. No momento que a alavanca realiza um giro de 360° , ela forma triângulo cujo a base é $d\pi$, sendo d =diâmetro do parafuso e a altura é dada por “ p ” (p = passo de rosca do parafuso). O ângulo α do plano inclinado mostrado na Figura 6 é o ângulo da hélice do parafuso.

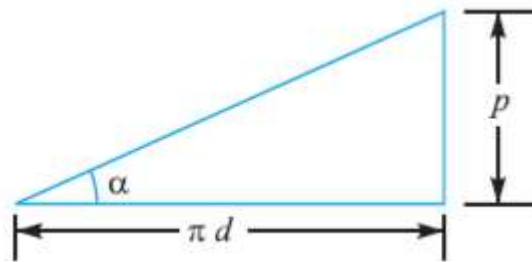


Figura 6: Plano inclinado, análogo ao funcionamento de um macaco mecânico cilíndrico (Khurmi, 2005)

2. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho, desenvolvido em parceria com a empresa Paris Implementos Agrícolas, foi o desenvolvimento de um projeto para a melhoria de um macaco mecânico utilizado em carretas basculantes para transportes de produtos agrícolas. Utilizando-se de ferramentas teóricas, como o software de modelagem matemática MATLAB e o software para auxílio na seleção de materiais CES EduPack 2013 para o desenvolvimento de um dispositivo com maior resistência ao desgaste e consequente maior durabilidade, prezando o custo benefício.

3. Materiais e Métodos

3.1. Descrição do macaco mecânico

A aplicação principal do macaco mecânico estudado é movimentar a parte a ser acoplada em tratores de uma carreta basculante (Figura 7) para transporte de uso agrícola. Esta carreta é puxada por tratores em terrenos nem sempre regulares. No entanto, observou-se que na prática o movimento realizado não é maior do que 10cm, seja elevando ou abaixando a carreta.

Na parte interna do macaco, encontra-se um parafuso de 50cm de comprimento e 22mm de diâmetro (7/8"). Este parafuso possui rosca trapezoidal e feito de aço 1045. A porca que realiza o movimento é feita soldando-se duas porcas feitas de aço 1045 grau 5 e medindo 2cm de comprimento, para obter uma porca de 4cm, o que é, na prática, suficiente para levantar a carreta. O macaco em questão é construído com o parafuso fixo, sendo o movimento realizado pela porca. Para lubrificar a interface entre a porca e o parafuso utiliza-se a graxa lubrificante à base de sabão cálcio de uso geral Unigrax CA 2, da fabricante Ingrax, recomendada para uso em temperaturas de trabalho abaixo de 70°C.

A parte externa do dispositivo consiste de uma câmara quadrada maior, sendo o envoltório principal. Uma segunda câmara quadrada encaixada na primeira, onde está a porca que realiza o movimento. O movimento vertical é feito através de uma alavanca localizada na parte superior do macaco.



Figura 7: Carreta basculante para transporte de produtos agrícolas, a qual faz uso do macaco estudado (Paris Implementos Agrícolas, 2017)

O problema reportado por clientes é que após algum tempo de uso da carreta e, conseqüentemente, do macaco, a alavanca trava e não é mais possível movimentar o dispositivo. Os produtos que retornaram para a manutenção do dispositivo foram inspecionados à procura da causa do travamento da alavanca. Ao desmontar o macaco, observou-se o lubrificante e foi possível encontrar resíduos de aço visíveis a olho nu, resultante de um processo de abrasão acontecendo na interface entre o parafuso principal e a porca.

Analisou-se então todas as possíveis causas do mal funcionamento para então projetar um novo modelo de macaco mecânico que se adequasse às necessidades de uso da empresa.

3.2. Análise das causas da falha

O primeiro passo após identificado o problema foi buscar quais os fatores que causaram o desgaste e falha do dispositivo. Para isto, uma extensa pesquisa bibliográfica foi realizada. Consultando a literatura, comparou-se o dispositivo fabricado pela empresa com outros modelos, encontrados em patentes, artigos e brochuras de fabricantes. Dos fatores encontrados, como o tipo do padrão de rosca, os materiais utilizados e o próprio design do macaco, a importância de alguns no funcionamento do dispositivo é maior do que de outros. Estudou-se os fatores mais importantes com maior profundidade para encontrar uma solução viável considerando as necessidade e orçamento da empresa.

3.2.1. Tipos de padrão de rosca

O padrão de rosca tem a função de aumentar a eficiência do macaco mecânico. Neste trabalho destacou-se a rosca quadrada e a rosca trapezoidal. A primeira, por ser o padrão de rosca mais utilizado neste tipo de dispositivo, e a segunda, por ser o tipo de rosca que vinha sendo utilizado no dispositivo a ser aprimorado.

3.2.1.1. Rosca quadrada

A rosca quadrada (Figura 8) é adaptada para a transmissão de força em ambas as direções do eixo y . Essa rosca é a que fornece máxima eficiência e mínima pressão aplicada na porca e por isso a mais indicada para aplicações em macacos mecânicos. É normalmente feita em um torno e o desgaste durante o processamento não é facilmente compensado. É normalmente empregada em macacos mecânicos, prensas e dispositivos de aperto (Khurmi, 2005). As medidas padrão em mm de acordo com a IS: 4694 -1968 estão citadas na tabela 1.

Diametro nominal	Maior diametro do parafuso	Maior diâmetro da porca	Menor diâmetro	Passo de rosca	Profundidade do parafuso	Profundidade da porca	Área (mm ²)
22	22	22,5	17	5	2,5	2,75	227

Tabela 1: Medidas padrão para a rosca quadrada

3.2.1.2. Rosca Trapezoidal

A rosca trapezoidal é uma adaptação da rosca quadrada e possui um pequeno declive nos lados. Devido ao seu formato, a eficiência diminui em relação à rosca quadrada e acrescenta uma pressão súbita na porca, mas diminui a pressão no cisalhamento. É comumente usada quando há a necessidade do uso de uma porca bipartida. Pode ser usinada, portanto seu processo de fabricação é mais barato em relação às roscas quadradas (Khurmi, 2005).

O tamanho mínimo do passo da rosca indicado na literatura para um diâmetro de 22 milímetros é de 5mm, um valor muito maior do que o da rosca utilizada no macaco estudado, que possui passo de rosca de 9 F.P.P (fios por polegada), ou seja, 2,44mm. Enquanto o dispositivo ainda exerce sua função, a durabilidade e a eficiência do dispositivo são diminuídas.

Diâmetro nominal	Menor diâmetro	Passo de rosca	Área (mm ²)
22	16,5	5	214

Tabela 2: Medidas padrão para a rosca trapezoidal

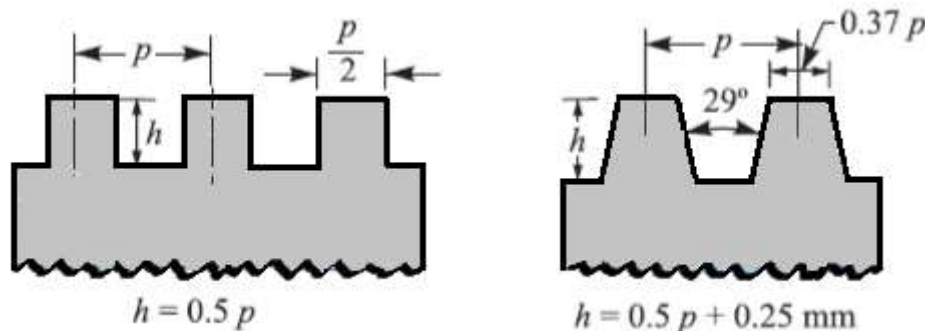


Figura 8: Rosca quadrada e rosca trapezoidal, respectivamente (Khurmi, 2005)

3.2.2. Desgaste e coeficiente de atrito

Materiais metálicos dificilmente têm suas superfícies perfeitamente limpas. Contaminantes superficiais na forma de água e óleos sempre se acumulam em superfícies em condições atmosféricas. O oxigênio da atmosfera agressivamente reage com a superfície do metal gerando uma camada de óxido (Batchlor, 2005). Esta camada é a primeira a sofrer desgaste, para então expor a superfície metálica, que passa a emitir elétrons e interagir com a outra superfície metálica.

Elétrons em metais não são ligados a um átomo específico, estes elétrons estão livres entre os átomos e são estes elétrons que geram corrente elétrica que também transferem calor através do material. Uma forte ligação entre as superfícies metálicas se forma. A transferência de elétrons neste caso é imediata, espontânea e não é restrita a altas temperaturas (Batchlor, 2005).

Quando estes corpos são forçados a deslizar entre eles ocorre o desgaste adesivo. Ambos irão arrancar pedaços da superfície do outro durante o movimento. Estas pequenas partículas crescem com a acumulação de material, aumentando o coeficiente de atrito entre eles.

Metais com a mesma microestrutura superficial tendem a sofrer maior desgaste adesivo, por exemplo, o coeficiente de atrito entre duas superfícies de aço é maior do o coeficiente de atrito entre aço e bronze ou latão. A substituição por uma combinação diferente de materiais reduz o atrito e o desgaste (Batchlor, 2005). No caso estudado no presente trabalho, ambos os componentes do macaco mecânico

eram feitos de aço 1045, o que contribuiu para o desgaste, sendo este tipo de desgaste associado com falhas mecânicas.

No entanto, o coeficiente de atrito depende de outros fatores além dos materiais das porcas e parafusos, conforme mostra a Tabela 3. A qualidade da fabricação da peça, da lubrificação e a velocidade de operação também têm influência direta neste valor (Khurmi, 2005). O valor do coeficiente de atrito muda pouco de material para material, carga aplicada ou velocidade de operação, exceto em condições iniciais.

Condição	Coeficiente de atrito médio ao iniciar o movimento	Coeficiente de atrito médio em movimento
Materiais e processamento de alta qualidade e condições de operação ótimas	0,14	0,10
Qualidade e processamento médios e condições normais de operação	0,18	0,13
Qualidade de processamento e lubrificação ruim e operação irregular do equipamento	0,21	0,15

Tabela 3: coeficiente de atrito médio em diferentes condições (Khurmi, 2005)

3.2.3. Componentes

A porca utilizada no caso estudado é feita de duas porcas menores soldadas. Contudo, há um pequeno espaço livre entre as duas porcas, que impede que a rosca seja contínua. Enquanto esse recurso não impede o dispositivo de funcionar inicialmente, esse desencontro das roscas pode facilmente aumentar a abrasão entre porca e parafuso, devido ao fato de que ambas não estão perfeitamente encaixadas. Dos fatores encontrados este é o que mais se destaca como um problema de design mecânico.

3.3. Processo de design do dispositivo otimizado

Ao projetar um macaco mecânico, deve-se ter em mente, em primeiro lugar, se o dispositivo será capaz de suportar a carga que será imposta sobre ele. A eficiência e durabilidade vêm logo em seguida. Procura-se então, encontrar os fatores

que interferem no funcionamento deste.

Os fatores que determinam se a carga será suportada são as dimensões do parafuso, da porca e do material utilizado para a produção dos mesmos. O que determinará a eficiência do macaco é o tipo de rosca das peças. Para ganhar durabilidade olha-se para o coeficiente de atrito entre o parafuso e a porca, pois quanto menor o coeficiente de atrito, menor será o desgaste entre eles.

No presente estudo utilizou-se de recursos matemáticos para encontrar o melhor modelo teórico para o dispositivo. Encontrou-se as forças resultantes que atuam na carreta para então calcular as dimensões do dispositivo. Os cálculos foram realizados no software MATLAB. Com os valores de exigência do macaco, foi possível utilizar o software CES EduPack 2013 para auxiliar na seleção dos materiais adequados para cada componente.

4. Resultados e Discussão

Nesta etapa do trabalho serão apresentados os cálculos e as equações envolvidas para a obtenção do macaco mecânico, assim como os resultados obtidos e modificações feitas no dispositivo.

4.1. Cálculo das forças resultantes

A primeira informação necessária para o cálculo das dimensões dos dispositivos é o valor da carga que será aplicada. Calculou-se então as forças resultantes na carreta basculante, supondo o máximo valor de carga recomendado. A figura 9 mostra um desenho esquemático com as dimensões da carreta.

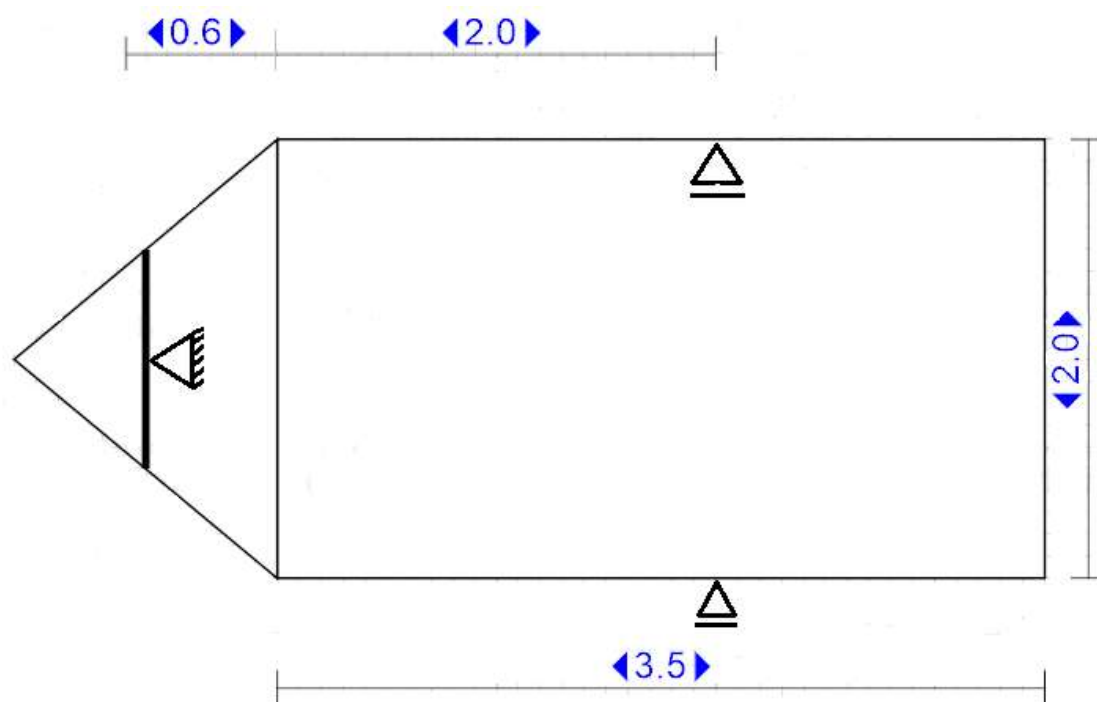


Figura 9: dimensões da carreta basculante. Os pontos de apoio simbolizam os pneus e o macaco

Calculou-se a força resultante no macaco mecânico. Para o cálculo, considerou-se que a carreta é simétrica e a força peso sobre ela é uniforme. Desconsiderou-se o peso das barras. A figura 10 apresenta o esquema das forças que atuam no sistema.

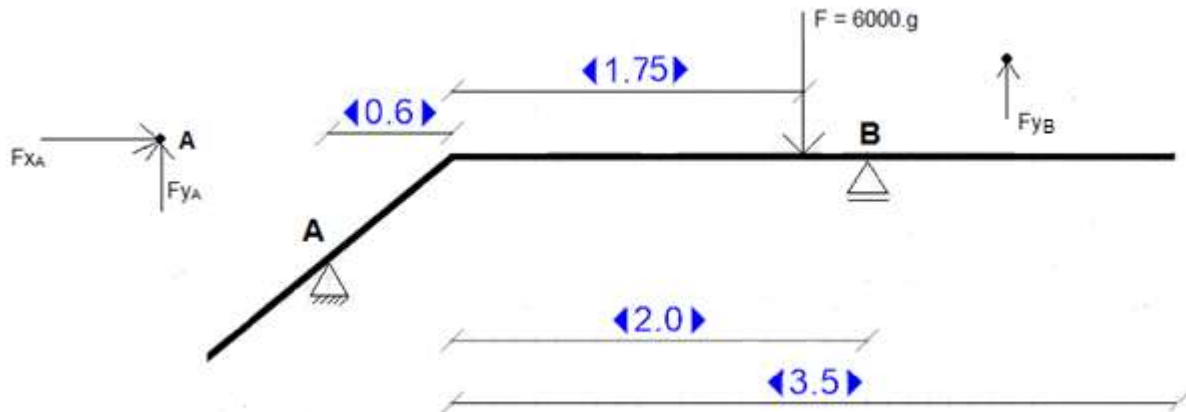


Figura 10: Sistema de forças atuantes na carreta

Em primeiro lugar calculou-se o somatório dos momentos no ponto B, onde estão localizadas as rodas da carreta:

$$\sum_A^B M = 0 \quad \therefore$$

$$F \cdot d_{FA} = F_{yB} \cdot d_{BA}$$

$$6000 \cdot g \cdot 2,35 = F_{yB} \cdot 2,6$$

$$F_{yB} = \left(\frac{6000 \cdot 2,35}{2,6} \right) g$$

Para então calcular-se o somatório das forças atuando no eixo y e, através disso, encontrar o valor da força resultante no ponto A, onde o macaco está.

$$\sum F_y = 0 \quad \therefore$$

$$F_{yA} + F_{yB} = 6000g$$

$$F_{yA} = 6000g \left(1 - \frac{2,35}{2,6} \right)$$

$$F_{yA} = 600g$$

Adotando-se g como 9,8,

$$F_{yA} = 5880N$$

4.2. Cálculos das dimensões do macaco mecânico

Para se calcular as dimensões seguras, deve-se primeiro calcular as dimensões do parafuso, já que este será a peça submetida primariamente às forças de compressão, para então calcular o design da porca (Patel, 2014). Patel desenvolveu um programa para o cálculo destas dimensões. O código, utilizado no software MATLAB, utiliza nos cálculos o padrão de rosca quadrada e tem como entrada a tensão de escoamento e o módulo de elasticidade do material escolhido em MPa, a carga a que o dispositivo será submetido em N, o diâmetro e o passo de rosca do parafuso em mm, o coeficiente de atrito entre o parafuso e a porca e o fator de segurança de acordo com a literatura. Para os cálculos, considerou-se como material do parafuso o aço 1045, que já vinha sendo utilizado no parafuso do macaco. Os valores de entrada utilizados se encontram na tabela 4.

Limite de escoamento do material do parafuso (MPa)	335
Fator de segurança	0,2
Passo de rosca (mm)	5
Carga (N)	5880
Diâmetro nominal do parafuso (mm)	22
Coeficiente de atrito	0,15
Módulo de Elasticidade do material do parafuso (MPa)	210000

Tabela 4: Valores de entrada no programa para design do macaco mecânico

O programa então indica se o design é seguro ou não em relação à carga aplicada e contra encurvamento. Para os valores de entrada utilizados, o design foi reportado seguro para ambos os casos. O programa também forneceu dados para que a eficiência do macaco pudesse ser calculada. Na tabela a seguir, encontram-se os dados de saída.

Diâmetro mínimo do parafuso (mm)	17
Diâmetro médio do parafuso (mm)	19,5
Ângulo da hélice	4,666
Ângulo de atrito	8.5308
Torque (kN.mm)	13,4432
Momento causado pela alavanca (kN.mm)	205,200
Tensão de cisalhamento (MPa)	425,4325
Índice de esbeltez (kN)	38.0192

Tabela 5: Resultados fornecidos pelo programa calculado pelo software MATLAB.

O comprimento da porca dependerá da pressão de rolamento entre os materiais do parafuso e da porca e também da carga aplicada (Patel, 2014). Através da equação seguinte, é possível calcular o número de fios da rosca que são necessários em função da pressão do rolamento.

$$P_b = W \left[\frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_c^2) n \right]$$

Sendo P_b a pressão de rolamento, W a carga aplicada, d_o o diâmetro nominal do parafuso, d_c o menor diâmetro do parafuso e n o número de fios de rosca necessários na porca. Considerando-se que, segundo a literatura, a pressão de rolamento não deve ser menor de 10MPa, a carga aplicada é de 5880N e utilizando os valores para diâmetro nominal de 22mm e menor diâmetro de 17mm, pode-se encontrar o valor de n . Calculando-se a equação,

$$n = 3,84 \cong 4$$

Conhecendo-se o número de fios e o passo da rosca, pode-se calcular o comprimento da porca.

$$H = p \cdot n$$

$$H = 20mm$$

A eficiência do macaco com parafuso de rosca quadrada pode ser definida sendo a razão entre o esforço ideal e o esforço verdadeiro para gerar movimento. Tomando como esforço ideal T_o (torque desconsiderando atrito) e esforço verdadeiro T (torque necessário para movimentar a carga), temos:

$$\eta = \frac{T_o}{T}$$

Neste caso, sabendo que $T_o = 4,65696 \text{ kN/mm}$ e $T = 13,9356 \text{ kN/mm}$, a eficiência será:

$$\eta = 0,3341 = 33,41\%$$

Contudo, há diferenças nos valores calculados para a rosca quadrada em relação à rosca trapezoidal. A reação normal entre o parafuso e a porca é aumentada na rosca trapezoidal porque o componente axial desta reação deve ser igual à carga axial.

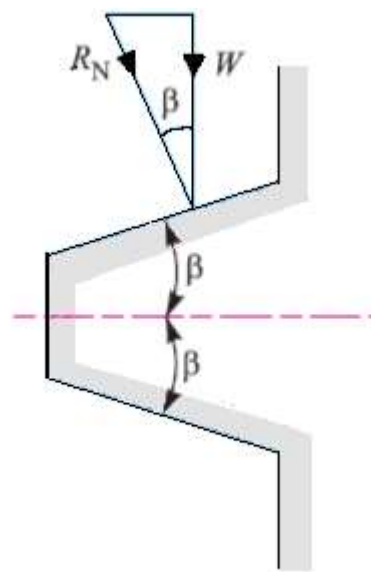


Figura 11: Rosca trapezoidal

Sendo 2β o ângulo da rosca trapezoidal, a reação normal será:

$$R_N = \frac{W}{\cos\beta}$$

Infere-se então a força de atrito:

$$F = \mu \cdot R_N = \mu \times \frac{W}{\cos\beta} = \mu_1 \cdot W$$

Onde $\mu_1 = \mu / \cos\beta$ é conhecido por coeficiente de atrito virtual.

Neste caso, para calcular os valores do torque e, conseqüentemente, da eficiência, deve considerar μ_1 . Sabe ainda que $\mu_1 = \tan\phi_1$, portanto para $\mu = 0,15$ o ângulo de atrito será $\phi_1 = 8.8219$.

Sendo $\beta = 15^\circ$, $\mu_1 = 0,1552$ e o torque:

$$T = P \cdot \frac{d}{2} = W \tan(\alpha + \phi) \frac{d}{2}$$

Para ϕ_1 , $T_1 = 15,5138$ N. A partir deste valor, pode-se então calcular a eficiência do dispositivo com rosca trapezoidal, obtendo o valor de:

$$\eta = 0,30 = 30\%$$

4.3. Seleção dos materiais

O primeiro passo para a realização da seleção de materiais é saber a função dos componentes, as propriedades necessárias, o objetivo a se atingir e as variáveis livres disponíveis para alteração.

O componente principal do macaco mecânico é o parafuso. Sua função é sustentar a carga aplicada ao dispositivo. Portanto procura-se um material com alto módulo de elasticidade e resistência à compressão, para que não haja falha mecânica do material durante o uso. O preço do material, neste caso, foi considerado como uma das necessidades primárias, pois o objetivo do projeto é justamente desenvolver um dispositivo eficiente a baixo custo. A interação química entre as peças e o lubrificante

foi considerada uma variável livre. De acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do lubrificante utilizado, este é considerado estável durante às condições previstas de uso de temperatura e pressão, sendo que a temperatura máxima de uso é de 70°C.

O primeiro passo da seleção foi gerar um diagrama de Ashby, sendo o atributo do eixo x a resistência a compressão e do eixo y o módulo de elasticidade. No segundo passo delimitou-se o módulo de elasticidade para 210GPa e o limite elástico para 335MPa, por serem valores utilizado nos cálculos previamente realizados. Atribuiu-se um valor mínimo para a resistência à compressão. Neste caso, considerou-se a força aplicada em relação à área da seção transversal do parafuso, obtendo-se o valor de 15,5MPa. Observando o diagrama de Ashby gerado, percebe-se a predominância de aços, indicados em verde e outros metais e ligas metálicas em vermelho.

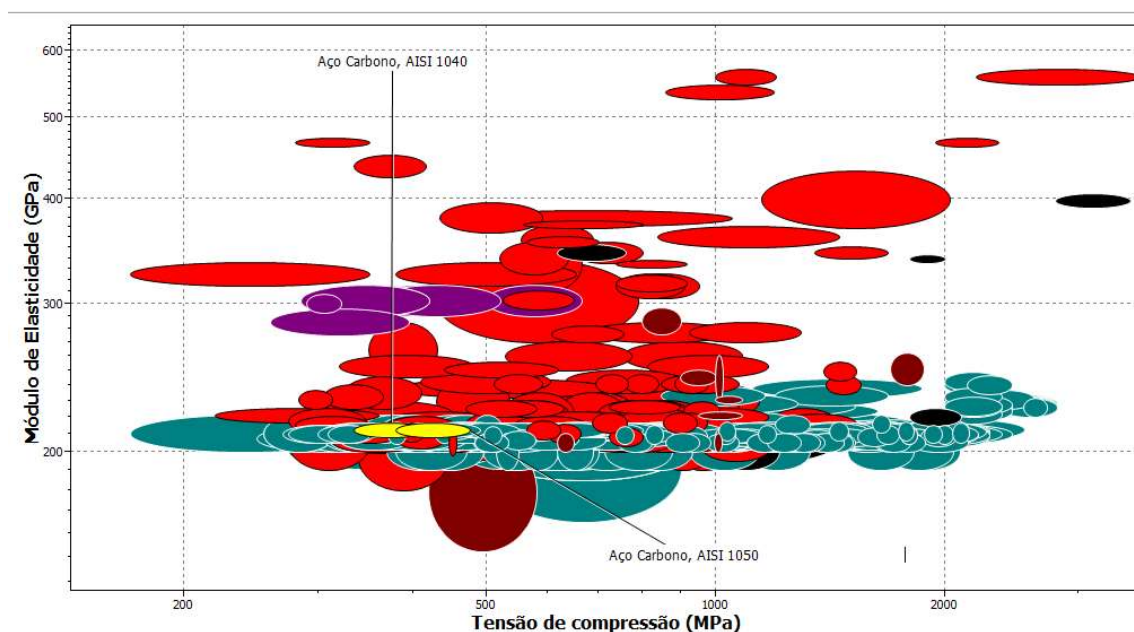


Figura 12: Diagrama de Ashby para a seleção do material do parafuso. (CES EduPack 2013)

4.4. Discussão dos resultados

Com a obtenção dos cálculos da eficiência definiu-se o design final do macaco aprimorado.

4.4.1. Escolha do padrão de rosca

Mencionou-se anteriormente a relação direta entre o padrão de rosca e a eficiência do dispositivo. Os valores encontrados para a eficiência em função dos tipos de rosca se encontram na Tabela 6.

Eficiência (%)	
Rosca quadrada	Rosca trapezoidal
33,41	30

Tabela 6: Valores de eficiência de acordo com o tipo de rosca

Um parafuso com rosca quadrada possui um processo de fabricação mais complexo e caro do que o da rosca trapezoidal. O primeiro é feito em um torno, enquanto o segundo pode ser feito com um molde. Devido à baixa diferença na eficiência entre os dois tipos de rosca para este caso, e a alta diferença de preço entre eles, optou-se por manter o parafuso com rosca trapezoidal para o design final.

4.4.2. Escolha dos materiais

O diagrama de Ashby gerado ofereceu uma grande quantidade de materiais que cumprem as exigências mecânicas, porém destacou-se o aço 1040 e o aço 1050. A composição química de ambos é bastante similar ao aço 1045, este já utilizado pela empresa. Optou-se então por manter este material para o parafuso, levando-se em consideração o preço e facilidade de aquisição.

No entanto a porca precisou, além da revisão de design, da troca de material de fabricação. O primeiro material considerado foi o bronze fosforoso, por ter um material com baixo coeficiente de atrito em relação ao aço e ser indicado pela literatura como o material mais comum para esta função. Porém, devido ao alto custo de peças de bronze, decidiu-se pelo uso do latão, que quando utilizado em condições adequadas de lubrificação, apresenta eficiência similar ao bronze fosforoso. Através do diagrama do coeficiente de atrito em aço seco (Ashby, 2005), percebe-se que ligas

de cobre estão classificadas juntas e possuem valores similares. Inclusive, segundo Ashby, os valores de μ em aço para lubrificação parcial são de 0,01 a 0,1 e para completa lubrificação hidrodinâmica são de 0,001 a 0,01.

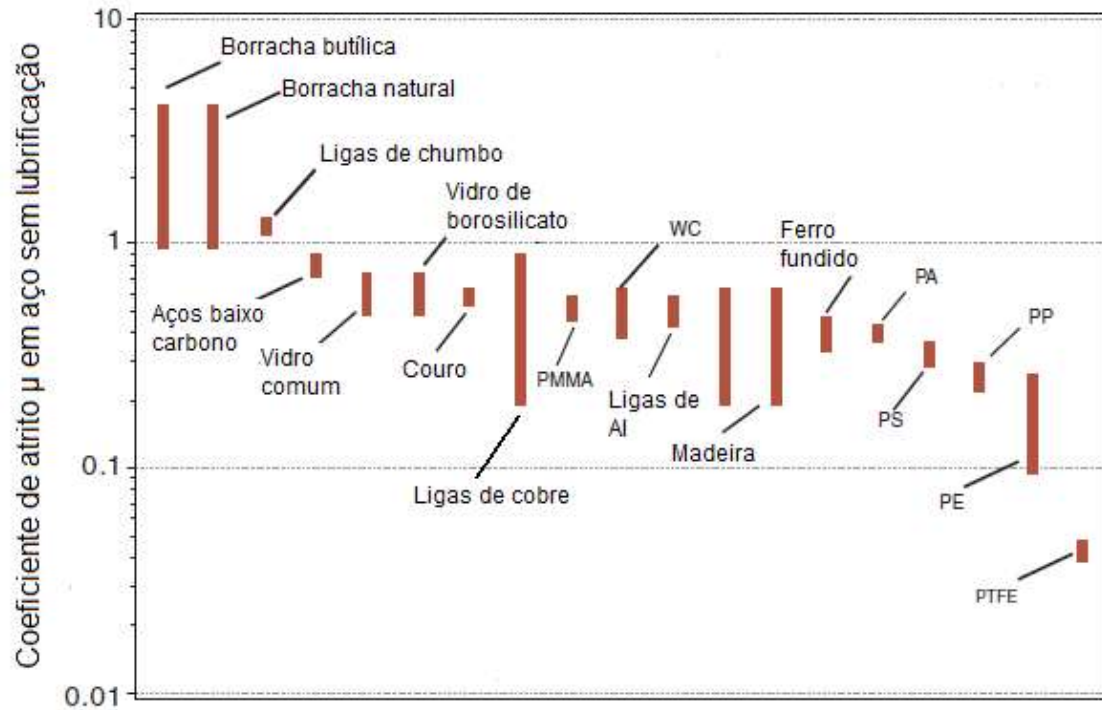


Figura 13: Diagrama de Ashby para o coeficiente de atrito para materiais deslizando em aço sem lubrificação (Ashby, 2005).

Em relação ao design da porca, os cálculos apresentaram um valor de 20mm para o comprimento mínimo da peça. Optou-se por adquirir uma porca de 40mm para facilitar a solda desta na alavanca que faz o movimento do macaco.

5. Conclusão

Com todos os passos teóricos do desenvolvimento do macaco finalizados, um protótipo foi montado e aplicado na carreta. O dispositivo foi submetido a condições similares às de uso em sua capacidade máxima por diversos ciclos e seu comportamento observado. Nenhum problema de funcionamento ou falha foi encontrado. A empresa a qual disponibilizará o produto comercialmente continuará o monitorando junto aos clientes e, caso seja necessário, uma nova avaliação será feita e modificações poderão ser realizadas.

Com o dispositivo finalizado, a proposta do trabalho foi alcançada. Os problemas reportados foram analisados e embasados pela literatura. Através dos cálculos encontrou-se as dimensões corretas e provou-se que o macaco mecânico é seguro para a aplicação. Previu-se a eficiência do macaco para diferentes tipos de rosca, para que não houvesse dúvidas sobre a escolha para o dispositivo final.

Com a substituição dos materiais, espera-se uma maior durabilidade do macaco. A troca de material da porca e a melhoria em seu design causaram uma diminuição do coeficiente de atrito entre as peças, atrasando o fenômeno de desgaste, e com isso concluindo o objetivo inicial do trabalho com sucesso, atingindo uma melhora significativa do produto, com bom custo-benefício.

Referências Bibliográficas

Ashby, M. F. **Materials Selection in Mechanical Design**. Butterworth-Heinemann, 2005, 3ª edição, p79-104.

Batchelor, A. W., Lam, L.N., Chandrasekaran, M. **Materials Degradation and its Control By Surface Engineering**. Imperial College Press, 2006, 2ª edição, p18-25.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Unigrax CA. Ingrax.

Nitinchandra R. Patel, Dipen B. Rokad, Ankit V. Vekariya, Pratik J. Chauhan. **Consideration of Material Alternatives in Enhancement to get Unique Solution in Design of Screw Jack**. International Journal of Engineering Science and Innovatice Technology, vol 3, issue 2, p 464-472, 03/2014.

R.S. Khurmi e J.K. Gupta. **Machine Design**. Eurasia Publishing House (PVT.) LTD. 2005. 14ª edição, p. 624-676.

Lenze Ltd. **Screw Jack Design Guide**. Disponível em: <www.techdrives.co.uk/downloads/Screw%20jacks%20Design%20Guide.pdf>. Acessado em 20 de junho de 2017.

Metro Hydraulic. **Different Types of Jacks**. Disponível em <<http://www.metrohydraulic.com/jack-types.html>>. Acessado em 22 de junho de 2017.

Best Floor Jacks. **Different Types of Jacks**. Disponível em <<http://bestfloorjacks.com/different-types-of-jacks/>>. Acessado em 22 de junho de 2017.

Paris Implementos Agrícolas. Disponível em <<http://www.parisind.com.br/>>. Acessado em 10 de junho de 2017.

Anexos

Anexo A – Programa utilizado no software MATLAB para os cálculos relativos ao macaco mecânico

```

clc;
clear all;
close all;
syc=input('Yield tensile strenght in MPa : ');
fs=input('Factor of safety : ');
p=input('Pitch in mm : ');
w=input('Load in N : ');
d=input('Nominal diameter of screw in mm : ');
u=input('Co-efficient of friction : ');
E=input('Modulus of Elasticity of screw material in Mpa : ');
P=0.9*400;
l=570;
L=550;
N=0.25;
sigmaC=syc/fs;
dc=sqrt((4*w)/(pi*sigmaC));
dc_in_mm=d-p
dm_in_mm=d-0.5*p
Helix_angle=atan(p/(pi*dm_in_mm))*(180/pi)
Friction_angle=atan(u)*(180/pi)
Torque_in_KNmm=(0.5*w*dm_in_mm*tan((Friction_angle+Helix_angle)*pi/180))/1000
sigmaS_in_MPa=((16000*Torque_in_KNmm)/(pi*(dc_in_mm^3)))
Mb_in_KNmm=P*l/1000
sigmaB_in_MPa=((32000*Mb_in_KNmm)/(pi*(dc_in_mm^3)))
Smax_in_MPa=sqrt((sigmaB_in_MPa/2)*(sigmaB_in_MPa/2)+(sigmaS_in_MPa*sigmaS_in_MPa))
FOS=(0.5*syc)/Smax_in_MPa
if (FOS>fs)
disp('The design is safe');
else
disp('The design is not safe');
end

```

```

k=dc_in_mm/4;
A=pi*dc_in_mm*dc_in_mm/4;
x=L/k;
y=sqrt(2*N*pi*pi*E/syc);
if(x<y)
C=(syc*x*x)/(4*N*pi*pi*E);
else
C=(syc*y*y)/(4*N*pi*pi*E);
end
Pcr_in_kN=(syc*A*(1-C))/1000
fos=(Pcr_in_kN*(1000)/w);
if (fos>fs)
disp('the design is safe against buckling');
else
disp('the design fails in buckling');
end

```