

UTILIZAÇÃO DO SCILAB PARA A DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS DOS PILARES DE DIVERSOS MATERIAIS APLICADAS EM UMA BARRA RÍGIDA E DA SUA DEFORMAÇÃO

USE OF SCILAB FOR THE DETERMINATION OF PILLAR STRENGTHS OF VARIOUS MATERIALS APPLIED TO A RIGID BAR AND THEIR DEFORMATION

Luciana Cláudia Martins Ferreira Diogenes, graduada e mestre em Física pela Unicamp, doutora em Engenharia Mecânica pela Unicamp.

Resumo: Em projetos que lidam com estruturas, suas partes devem ser devidamente proporcionadas para resistir às cargas que agem sobre elas. A resistência dos materiais se baseia na determinação dos esforços, das tensões e das deformações pelos quais os corpos sólidos estão sujeitos devido à ação das cargas que atuam nos objetos. Um barra rígida em equilíbrio estático com dois cilindros deformáveis sob ação de um carregamento de 45 kN em um único ponto pode ser estudada enquanto um dos cilindros tem seu material substituído por inúmeras vezes. Cálculos de força, deslocamento e tensão foram simulados no software Scilab utilizando-se uma variedade de materiais.

Palavras-chave: deslocamento, estática, força axial, resistência dos materiais.

Abstract: In designs that deal with structures, their parts must be proportionate enough to withstand the loads that act upon them. The strength of the materials is based on the determination of the stresses, strains and deformations to which the solid bodies are subjected due to the action of the loads acting on the objects. A rigid rod in static equilibrium with two deformable cylinders under a load of 45 kN at a single point can be studied while one of the cylinders has its material replaced by numerous times. Force, displacement and strain calculations were simulated in Scilab software using a variety of materials.

Keywords: displacement, static, axial force, material resistance.

I. INTRODUÇÃO

A ciência que lida com os efeitos da força interagindo sobre os objetos, que podem ser partículas ou corpos rígidos, é chamada de mecânica. A mecânica é dividida em duas partes: a estática e a dinâmica, sendo que aquela lida com equilíbrio de corpos e esta, lida com o movimento dos corpos. Um corpo rígido é definido quando se é considerada desprezível a variação da distância entre dois pontos quaisquer do objeto (MERIAM; KRAIGE, 2009).

Para (HIBBELER, 2005, p. 1), o ramo da mecânica que estuda as relações entre as cargas externas submetidas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas que atuam nele é chamado de resistência dos materiais. Nesse ramo também se realiza o cálculo das deformações do corpo e se estuda a sua estabilidade quando sujeito a forças externas. Em qualquer projeto envolvendo estruturas, é necessário usar os princípios da estática para determinar as forças que agem sobre os vários elementos, bem como no seu interior.

O diagrama de corpo livre é um esboço de todas as forças que atuam sobre o ponto material. Para traçar o diagrama do corpo livre, três passos podem ser considerados (HIBBELER, 2005, p. 70):

- 1) Desenhar o contorno do ponto material como sendo livre de seu entorno;
- 2) Mostrar todas as forças que atuam sobre o ponto material;
- 3) Identificar cada força conhecida anotando suas intensidades, direções e sentidos.

Após traçar o diagrama de forças em um sistema em equilíbrio estático e sujeito a um sistema de forças no plano x-y, as condições de equilíbrio em duas dimensões são escritas da seguinte maneira (HIBBELER, 2005, p. 70):

$$\sum F_x = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_0 = 0 \quad (3)$$

onde F_x e F_y são as forças que atuam nos eixos x e y, respectivamente e $\sum M_0$ representa a soma dos momentos binários e dos momentos de todos os componentes de força em relação a um eixo perpendicular ao plano x-y, passando pelo ponto O, dentro ou fora do corpo.

Se uma barra homogênea de comprimento L e secção transversal A é submetida a um carregamento axial de força P em uma de suas extremidades (figura 1), na região do limite de proporcionalidade (a tensão σ deverá ser menor que a tensão de escoamento σ_E), pode-se usar a relação (BEER, 2008, p. 129):

$$\sigma = E\epsilon \quad (4)$$

onde E é o módulo de elasticidade e ϵ é a deformação.

Isolando-se ϵ e tendo o conhecimento de que a pressão (tensão σ) é força sobre área (LEET; UANG; GILBERT, 2010, p.27; NASH; POTTER, 2014, p.2):

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE} \quad (5)$$

Sendo:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (6)$$

Então:

$$\epsilon = \frac{PL}{AE} \quad (7)$$

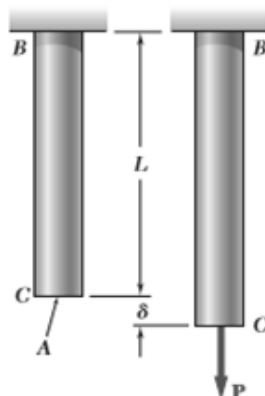


Figura 1. Barra de comprimento L sobre um carregamento axial P em uma de suas extremidades.

Fonte: (BEER, 2008, p.81).

Segundo (BEER, 2008), quando existem adicionais suportes para manter um corpo em equilíbrio, as reações tornam-se desconhecidas quando utilizadas as equações de equilíbrio. Uma técnica para resolver casos como esse é utilizar o método da superposição. Tal método funciona em escolher uma das reações redundantes e a partir daí, eliminar o seu suporte. A solução para esse problema realizar a superposição somando-se os resultados considerando as deformações provocadas pelas forças e pela reação redundante.

Tabela 1: (BEER, 2008, p.766).

Material	Tensão de escoamento σ_E (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Aço estrutural (ASTM-A36)	250	200
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A709 Classe 345)	0	200
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A913 Classe 450)	0	200
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A992 Classe 345)	0	200
Aço temperado e revenido ASTM-A709 CLASSE 690	0	200

Aço inoxidável AISI 302 laminado a frio	0	190
Aço inoxidável AISI 302 recozido	0	190
Aço de reforço média resistência	77	0
Aço de reforço alta resistência	77	0
Ferro fundido cinzento 4,5% C, ASTM A-48	0	69
Ferro fundido maleável 2% C, 1% Si, ASTM A-47	230	165
Alumínio liga 1100-H14 (99% Al)	95	70
Alumínio liga 2012-T6	400	75
Alumínio liga 2024-T4	325	73
Alumínio liga 5456-H116	230	72
Alumínio liga 6061-T6	240	70
Alumínio liga 7075-T6	500	72
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) recozido	70	120
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) trefilado a frio	265	120
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) laminado a frio	410	105
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) recozido	100	105
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) laminado a frio	435	120
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) recozido	70	120
Liga bronze + estanho (88% Cu, 8% Sn, 4% Zn)	145	95
Liga bronze + manganês (63% Cu, 25% Zn, 6% Al, 3% Mn, 3% Fe)	330	105
Liga bronze + alumínio (81% Cu, 4% Ni, 4% Fe, 11% Al)	275	110

II. METODOLOGIA

O sistema estudado é constituído por uma barra rígida ABCD, um cilindro CE e um cilindro DF (figura 2), sendo que este tem o material alterado de acordo com a tabela 1. As dimensões da barra, dos cilindros, módulo de elasticidade e força aplicada no ponto A, são:

- Comprimento x_{AB} da barra rígida, $x_{AB} = 460$ mm;
- Comprimento x_{BC} da barra rígida, $x_{BC} = 300$ mm;
- Comprimento x_{CD} da barra rígida, $x_{CD} = 200$ mm;
- Altura do cilindro CE, $y_{CE} = 600$ mm;
- Altura do cilindro DF, $y_{DF} = 780$ mm;
- Diâmetro do cilindro CE, $D_{CE} = 12$ mm;

- Diâmetro do cilindro DF, $D_{DF} = 20 \text{ mm}$;
- Força $P_A = 45 \text{ kN}$;
- Módulo de elasticidade do cilindro CE, $E_{CE} = 70 \text{ GPa}$;
- Módulo de elasticidade do cilindro DF, $E_{DF} = \text{veja tabela 1}$.

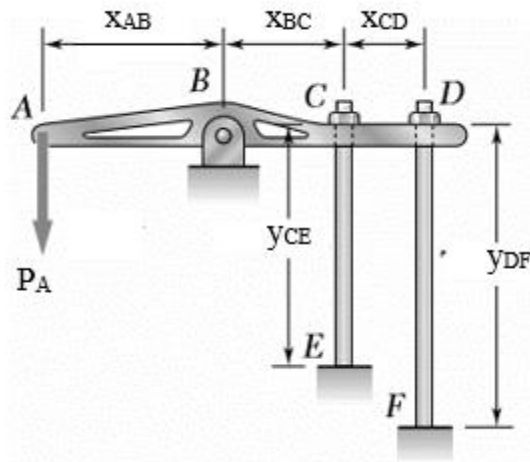


Figura 2. Sistema estudado com as indicações das variáveis de comprimento e altura e do ponto de aplicação de força.

Fonte: (BEER, 2008, p.97).

De acordo com a eq. 3, a equação de equilíbrio para o momento pode ser escrita como:

$$P_A x_{AB} - F_{CE} x_{BC} - F_{DF} (x_{BC} + x_{CD}) = 0 \quad (8)$$

Ao se aplicar uma força no ponto A, a barra rígida é deslocada de acordo com a figura 3:

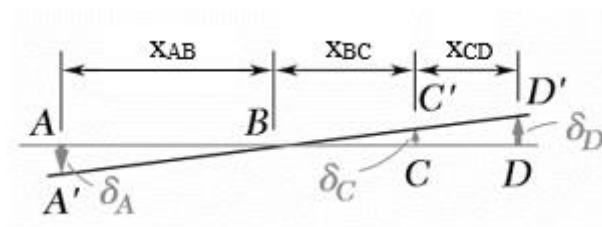


Figura 3. Estado da barra após a aplicação da força: A'B'C'D'.

Fonte: (BEER, 2008, p.97).

Observando a figura 3, por semelhança de triângulos pode-se assim encontrar as equações 9 e 10:

$$\frac{\delta_C}{x_{BC}} = \frac{\delta_D}{x_{BC}+x_{CD}} \quad (9)$$

$$\frac{\delta_A}{x_{AB}} = \frac{\delta_D}{x_{BC}+x_{CD}} \quad (10)$$

A figura 4 mostra as forças atuando no sistema.

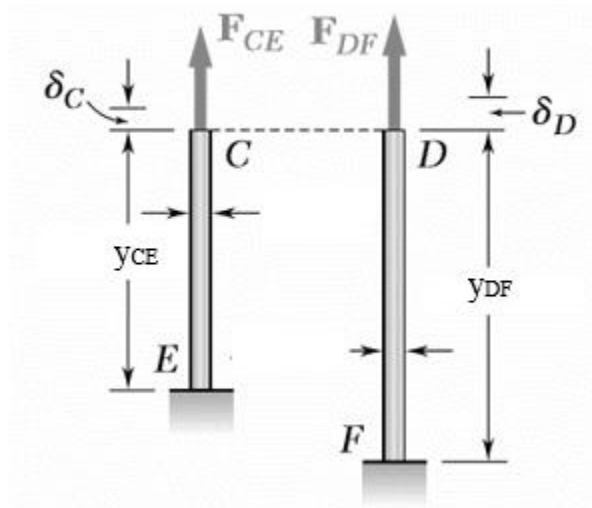


Figura 4. Indicação das forças aplicadas.

Fonte: (BEER, 2008, p.97).

De acordo com a equ. 7:

$$\delta_C = \frac{F_{CE}y_{CE}}{A_{CE}E_{CE}} = \frac{4F_{CE}y_{CE}}{\pi D_{CE}^2 E_{CE}} \quad (11)$$

$$\delta_D = \frac{F_{DF}y_{DF}}{A_{DF}E_{DF}} = \frac{4F_{DF}y_{DF}}{\pi D_{DF}^2 E_{DF}} \quad (12)$$

Dessa forma, retornando na eq. 8 e utilizando-se as eq. 11 e 12 na equ. 9, chega-se a um sistema com duas equações e duas incógnitas:

$$F_{CE}x_{BC} + F_{DF}(x_{BC} + x_{CD}) = P_A x_{AB} \quad (13)$$

$$\frac{4(x_{BC}+x_{CD})y_{CE}}{\pi D_{CE}^2 E_{CE}} F_{CE} - \frac{4x_{BC}y_{DF}}{\pi D_{DF}^2 E_{DF}} F_{DF} = 0 \quad (14)$$

Para encontrar os valores de F_{CE} e F_{DF} , o software Scilab é utilizado e os cálculos são apresentados na seção dos resultados.

Os valores de deslocamento são encontrados posteriormente ao cálculo das forças.

III. RESULTADOS

A figura 5 mostra o resultado das forças F_{CE} e F_{DF} obtidos através da simulação no Scilab para cada material listado na tabela 1.

A figura 6 mostra o cálculo de tensão σ_{DF} e o compara com a tensão de escoamento σ_{eDF} . Se $\sigma_{eDF} < \sigma_{DF}$, a última coluna mostra o resultado T (*true*). Isso significa que se a tensão de escoamento for menor que a tensão, os cálculos podem ser considerados válidos. Caso contrário, deverão ser descartados porque as equações que envolvem o módulo de elasticidade não podem ser mais utilizadas.

Material	FCE[kN]	FDF[kN]
Aço estrutural (ASTM-A36)	3.84	39.1
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A709 Classe 345)	3.84	39.1
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A913 Classe 450)	3.84	39.1
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A992 Classe 345)	3.84	39.1
Aço temperado e revenido ASTM-A709 CLASSE 690	3.84	39.1
Aço inoxidável AISI 302 laminado a frio	4.03	39.0
Aço inoxidável AISI 302 recozido	4.03	39.0
Aço de reforço média resistência	69	0
Aço de reforço alta resistência	69	0
Ferro fundido cinzento 4,5% C, ASTM A-48	10.1	35.4
Ferro fundido maleável 2% C, 1% Si, ASTM A-47	4.60	38.6
Alumínio liga 1100-H14 (99% Al)	9.95	35.4
Alumínio liga 2012-T6	9.38	35.8
Alumínio liga 2024-T4	9.60	35.6
Alumínio liga 5456-H116	9.71	35.6
Alumínio liga 6061-T6	9.95	35.4
Alumínio liga 7075-T6	9.71	35.6
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) recozido	6.17	37.7
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) trefilado a frio	6.17	37.7
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) laminado a frio	6.97	37.2
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) recozido	6.97	37.2
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) laminado a frio	6.17	37.7
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) recozido	6.17	37.7
Liga bronze + estanho (88% Cu, 8% Sn, 4% Zn)	7.62	36.8
Liga bronze + manganês (63% Cu, 25% Zn, 6% Al, 3% Mn, 3% Fe)	6.97	37.2
Liga bronze + alumínio (81% Cu, 4% Ni, 4% Fe, 11% Al)	6.68	37.4

Figura 5. Valores das forças F_{CE} e F_{DF} obtidos pela simulação no Scilab.

Material	σ_{eDF} [MPa]	σ_{DF} [MPa]	Comparacao
Aço estrutural (ASTM-A36)	250	124	T
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A709 Classe 345)	0	124	F
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A913 Classe 450)	0	124	F
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A992 Classe 345)	0	124	F
Aço temperado e revenido ASTM-A709 CLASSE 690	0	124	F
Aço inoxidável AISI 302 laminado a frio	0	124	F
Aço inoxidável AISI 302 recozido	0	124	F
Aço de reforço média resistência	77	0	T
Aço de reforço alta resistência	77	0	T
Ferro fundido cinzento 4,5% C, ASTM A-48	0	113	F
Ferro fundido maleável 2% C, 1% Si, ASTM A-47	230	123	T
Alumínio liga 1100-H14 (99% Al)	95	113	F
Alumínio liga 2012-T6	400	114	T
Alumínio liga 2024-T4	325	113	T
Alumínio liga 5456-H116	230	113	T
Alumínio liga 6061-T6	240	113	T
Alumínio liga 7075-T6	500	113	T
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) recozido	70	120	F
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) trefilado a frio	265	120	T
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) laminado a frio	410	118	T
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) recozido	100	118	F
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) laminado a frio	435	120	T
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) recozido	70	120	F
Liga bronze + estanho (88% Cu, 8% Sn, 4% Zn)	145	117	T
Liga bronze + manganês (63% Cu, 25% Zn, 6% Al, 3% Mn, 3% Fe)	330	118	T
Liga bronze + alumínio (81% Cu, 4% Ni, 4% Fe, 11% Al)	275	119	T

Figura 6. Comparação entre a tensão de escoamento σ_{eDF} e a tensão σ_{DF} , sendo que o Scilab informa como T (*true*) se $\sigma_{eDF} < \sigma_{DF}$, caso contrário como F (*false*).

A figura 7 mostra os valores de deslocamento δ_A e δ_D em milímetros. Os valores serão considerados somente se $\sigma_{eDF} < \sigma_{DF}$.

Material	δ_D [mm]	δ_A [mm]
Aço estrutural (ASTM-A36)	0.49	0.45
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A709 Classe 345)	0.49	0.45
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A913 Classe 450)	0.49	0.45
Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A992 Classe 345)	0.49	0.45
Aço temperado e revenido ASTM-A709 CLASSE 690	0.49	0.45
Aço inoxidável AISI 302 laminado a frio	0.51	0.47
Aço inoxidável AISI 302 recozido	0.51	0.47
Aço de reforço média resistência	Nan	Nan
Aço de reforço alta resistência	Nan	Nan
Ferro fundido cinzento 4,5% C, ASTM A-48	1.27	1.17
Ferro fundido maleável 2% C, 1% Si, ASTM A-47	0.58	0.53
Alumínio liga 1100-H14 (99% Al)	1.26	1.16
Alumínio liga 2012-T6	1.18	1.09
Alumínio liga 2024-T4	1.21	1.12
Alumínio liga 5456-H116	1.23	1.13
Alumínio liga 6061-T6	1.26	1.16
Alumínio liga 7075-T6	1.23	1.13
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) recozido	0.78	0.72
Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) trefilado a frio	0.78	0.72
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) laminado a frio	0.88	0.81
Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) recozido	0.88	0.81
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) laminado a frio	0.78	0.72
Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) recozido	0.78	0.72
Liga bronze + estanho (88% Cu, 8% Sn, 4% Zn)	0.96	0.89
Liga bronze + manganês (63% Cu, 25% Zn, 6% Al, 3% Mn, 3% Fe)	0.88	0.81
Liga bronze + alumínio (81% Cu, 4% Ni, 4% Fe, 11% Al)	0.84	0.78

Figura 7. Valores obtidos dos deslocamentos δ_A e δ_D , ambos em mm.

O código do programa é apresentado a seguir:

clear

$x_{AB}=460 \cdot 10^{-3}$;
 $x_{BC}=300 \cdot 10^{-3}$;
 $x_{CD}=200 \cdot 10^{-3}$;
 $y_{CE}=600 \cdot 10^{-3}$;
 $y_{DF}=780 \cdot 10^{-3}$;
 $PA=45 \cdot 10^3$;
 $DCE=12 \cdot 10^{-3}$;
 $DDF=20 \cdot 10^{-3}$;
 $ECE=70 \cdot 10^9$; //EDF= $70 \cdot 10^9$; %do exercício

FCEkNfinal=[];
FDFkNfinal=[];
 δ_{Dmm} final=[];
 δ_{Amm} final=[];
 σ_{DF} final=[];
comparacaofinal=[];

i=1

$\sigma_{eDF}=[410;250;0;0;0;0;0;0;77;77;0;230;95;400;325;230;240;500;70;265;410;100;435;70;145;330;275] \cdot 10^6$;

Material= ['Exercicio';'Aço estrutural (ASTM-A36)';'Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A709 Classe 345)';'Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A913 Classe 450)';'Aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A992 Classe 345)';'Aço temperado e revenido ASTM-A709 CLASSE 690'; 'Aço inoxidável AISI 302 laminado a frio';'Aço inoxidável AISI 302 recozido';'Aço de reforço média resistência';'Aço de reforço alta resistência'; 'Ferro fundido cinzento 4,5% C, ASTM A-48';'Ferro fundido maleável 2% C, 1% Si, ASTM A-47';'Alumínio liga 1100-H14 (99% Al)';'Alumínio liga 2012-T6';'Alumínio liga 2024-T4';'Alumínio liga 5456-H116';'Alumínio liga 6061-T6';'Alumínio liga 7075-T6';'Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) recozido';'Cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) trefilado a frio';'Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) laminado a frio';'Latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) recozido';'Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) laminado a frio';'Latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) recozido';'Liga bronze + estanho (88% Cu, 8% Sn, 4% Zn)';'Liga bronze + manganês (63% Cu, 25% Zn, 6% Al, 3% Mn, 3% Fe)';'Liga bronze + alumínio (81% Cu, 4% Ni, 4% Fe, 11% Al)'];
for

EDF=[70,200,200,200,200,200,190,190,0,0,69,165,70,75,73,72,70,72,120,120,105,105,120,120,95,105,10] * 10^9 ;

$A=[x_{BC},(x_{BC}+x_{CD});(4 \cdot y_{CE} \cdot (x_{BC}+x_{CD})) / (\% \pi \cdot DCE^2 \cdot ECE), -4 \cdot (x_{BC} \cdot y_{DF}) / (\% \pi \cdot DDF^2 \cdot EDF)]$;

```
//-xBC*FCE-(xBC+xCD)*FDF=0
```

```
b=[PA*xAB;0];  
F=inv(A)*b; //F(1)=FCE e F(2)=FDF  
FCE=F(1);  
FDF=F(2);  
δD=(4*FDF*yDF)/(π*DDF^2*EDF);  
δA=δD*xAB/(xBC+xCD);  
σDF=(4*FDF)/(π*DDF^2);  
comparacao=σDF<(σεDF(i)); //precisa ser true  
format(5)  
FCEkN=FCE*10^-3;  
FDFkN=FDF*10^-3;  
δDmm=δD*10^3;  
δAmm=δA*10^3;  
FCEkNfinal=[FCEkNfinal;FCEkN];  
FDFkNfinal=[FDFkNfinal;FDFkN];  
δDmmfinal=[δDmmfinal;δDmm];  
δAmmfinal=[δAmmfinal;δAmm];  
σDFfinal=[σDFfinal;σDF];  
comparacaofinal=[comparacaofinal;comparacao];  
i=i+1;  
σCE=(4*FCE)/(π*DCE^2) //menor que ECE=70*10^9?  
comparacaoCE=σCE<70*10^9  
end  
a=string(Material);  
aa=cat(1,'Material',a);  
b=string(FCEkNfinal);  
bb=cat(1,'FCE[kN]',b);  
c=string(FDFkNfinal);  
cc=cat(1,'FDF[kN]',c);  
d=string(σεDF*10^-6);  
dd=cat(1,'σεDF [MPa]',d);  
e=string(σDFfinal*10^-6);  
ee=cat(1,'σDF[MPa]',e);  
f=string(comparacaofinal);  
ff=cat(1,'Comparacao',f);
```

```
g=string(δDmmfinal);  
gg=cat(1,'δD[mm]',g);  
h=string(δAmmfinal);  
hh=cat(1,'δA[mm]',h);  
//size(Material,FCEkNfinal,FDFkNfinal,σeDF,σDF,comparacaofinal,δDmmfinal,δAmmfinal)  
Tabela=cat(2,aa,bb,cc,dd,ee,ff,gg,hh)
```

IV. CONCLUSÃO

De acordo com as figuras 5 a 7, os materiais como aço estrutural (ASTM-A36), aço de reforço média resistência, aço de reforço alta resistência, ferro fundido maleável 2% C, 1% Si, ASTM A-47, alumínio liga 2012-T6, alumínio liga 2024-T4 Alumínio liga 5456-H116, alumínio liga 6061-T6, alumínio liga 7075-T6, cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) trefilado a frio, latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) laminado a frio, latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) laminado a frio, liga bronze + estanho (88% Cu, 8% Sn, 4% Zn), liga bronze + manganês (63% Cu, 25% Zn, 6% Al, 3% Mn, 3% Fe), liga bronze + alumínio (81% Cu, 4% Ni, 4% Fe, 11% Al) puderam ter os valores de F_{CE} e F_{DF} , σ_{DF} , δ_A e δ_D calculados por simulação via SCILAB uma vez que apresentaram como T (*true*) na figura 6 mostrando que $\sigma_{eDF} < \sigma_{DF}$.

Materiais como aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A709 Classe 345), aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A913 Classe 450), aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A992 Classe 345), aço temperado e revenido ASTM-A709 CLASSE 690, aço inoxidável AISI 302 laminado a frio, aço inoxidável AISI 302 recozido, ferro fundido cinzento 4,5% C, ASTM A-48, alumínio liga 1100-H14 (99% Al), cobre livre de oxigênio (99,9% Cu) recozido, latão amarelo (65% Cu, 35% Zn) recozido e latão vermelho (85% Cu, 15% Zn) recozido apresentaram $\sigma_{eDF} > \sigma_{DF}$. Dessa forma, os valores apresentados na figura 5 e 7 deverão ser desconsiderados para carga $P_A = 45$ kN.

Materiais como aço estrutural (ASTM-A36), aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A709 Classe 345), aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A913 Classe 450), aço baixa liga e alta resistência (ASTM-A992 Classe 345) e aço temperado e revenido ASTM-A709 CLASSE 690 apresentaram os menores valores de F_{CE} , F_{DF} , δ_A e δ_D , porém $\sigma_{eDF} > \sigma_{DF}$ e esses valores não devem ser considerados.

Os maiores valores de deslocamento são encontrados para o ferro fundido cinzento 4,5% C, ASTM A-48: $\delta_A = 1,27$ mm e $\delta_D = 1,17$ mm.

REFERÊNCIAS

BEER, F. P., et.al. Mecânica dos materiais. 5ª ed. Mc Graw Hill, 2008.

HIBBELER, R. C. Estática. Mecânica para engenharia. 10ª ed. Pearson Prentice Hall, 2005.

LEET, K. M., UANG, C. M; GILBERT, A. M. Fundamentos da análise estrutural. 3ª ed. Editora AMGH, 2010.

MERIAM, J. L.; KRAIGE, L. G. Mecânica para engenharia. Vol.1, 6ª ed, LTC, 2009.

NASH, W. A.; POTTER M. C. Resistência dos Materiais. 5.ed. Bookman, 2014.