

**Disciplina:** LOM-3016 – Introdução a Ciência dos Materiais**Prof. Dr:** Cassius O.F.T Ruchert**Aluno:****Nº USP.:****Ano/Semestre:** 2021/2**Turma:** D1**Turno:** Vespertino**Data:** 14/12/2021

## 2º. Prova – Duração de 1 hora e 50 minutos

1. (5,0) Um corpo de prova cilíndrico feito de um aço AISI 4340 temperado e revenido, com diâmetro de 6,42 mm e comprimento útil de 25 mm, foi tensionado em tração. Usar as características carga-deslocamento tabuladas abaixo advindas do ensaio para responder as perguntas de (a) a (f). Para o cálculo do limite de escoamento considerar a técnica de offset 0,2%. Necessariamente colocar em gráfico para resultados precisos, pode ser utilizado o Excel ou origin. Diâmetro final 5,98 mm.

Carga (N)	$\Delta L$ (mm)	Obs:							
0	0								
143,43	0,000916								
523,38	0,005035								
3.265,38	0,017700								
10.693,36	0,047455								
15.162,66	0,065765								
19.253,54	0,082397								
24.763,49	0,104828								
29.299,93	0,126648								
32.136,54	0,162811								
33.911,13	0,307465								
34.458,92	0,458679								
35.070,80	0,697632								
35.386,66	0,866852								
35.578,92	1,004944								
35.743,71	1,234131	<i>Carga máxima</i>							
35.629,27	1,455841								
35.299,68	1,663666								
34.875,49	1,836090								
33.647,16	2,191620								
32.034,30	2,462463	<i>Fratura</i>							

**CP – Corpo de prova**

- a) (0,5) Colocar em gráfico a tensão de engenharia e verdadeira no sistema SI (tensão em, MPa e deformação específica em, mm/mm);

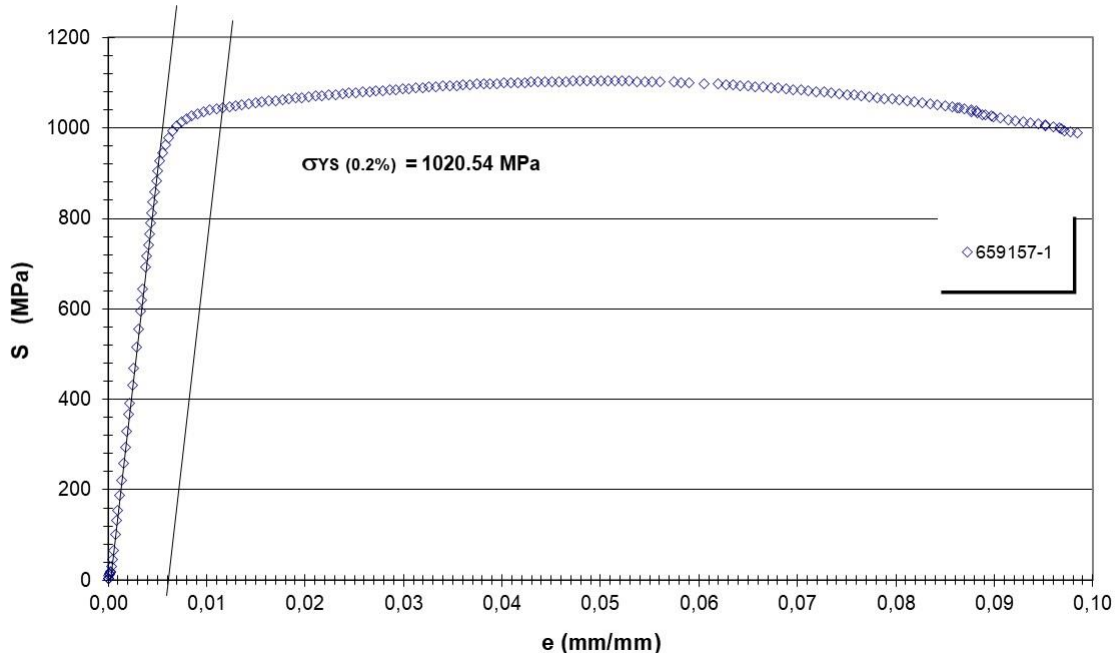
Para fazer o gráfico  $\sigma \times \epsilon$ , precisa encontrar a área inicial do corpo de prova, já que  $\sigma = \frac{\text{Carga}}{A_0}$

$$A_0 = \pi r^2$$

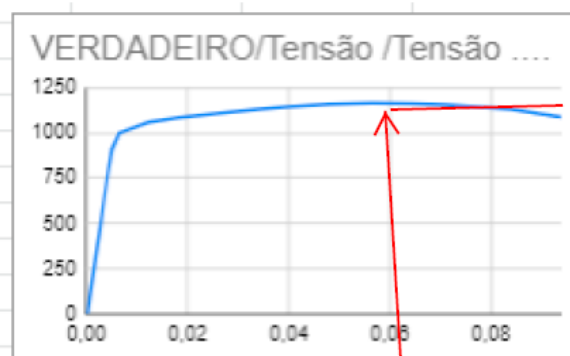
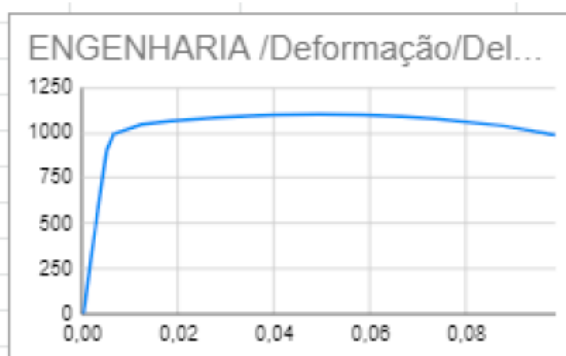
$$A_0 = 3,1416 \cdot \left(\frac{6,42}{2}\right)^2 = 3,1416 \cdot 10,3041 = \boxed{32,37 \text{ mm}^2}$$

- Como mostra na tabela abaixo; o valor de P(N) é dividido pela  $A_0$  em todos os pontos, dando os respectivos valores do  $\sigma$ .
- Para o cálculo de  $\epsilon$ ; a variação do comprimento é dividido pelo comprimento inicial ( $\epsilon_c = \frac{\Delta L}{L_0}$ ), dando os respectivos pontos de plotagem, sabendo que  $L_0 = 35 \cdot L$ .
- Para o cálculo da tensão verdadeira ( $\sigma_R$ ) é utilizada a fórmula  $\sigma_R = \sigma_c (1 + \epsilon_c)$ .
- Para o cálculo da deformação verdadeira ( $\epsilon_R$ ) é utilizada a fórmula  $\epsilon_R = \ln(1 + \epsilon_c)$ .

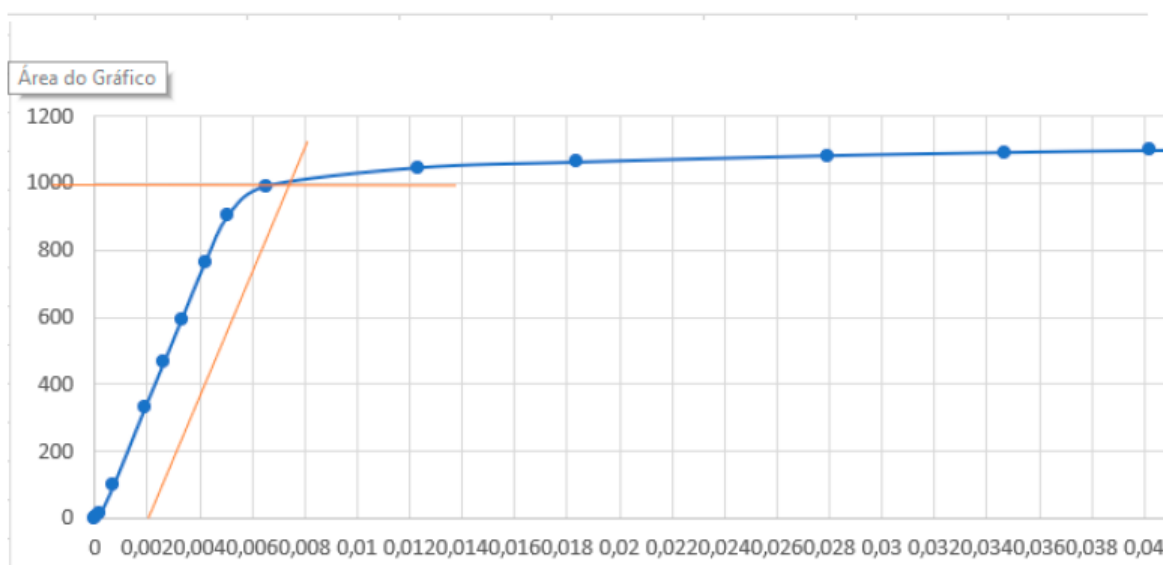
Stress vs. Strain - AISI 4330 Modified - TS 659157-1



DADOS JÁ FORNECIDOS			ENGENHARIA		VERDADEIRO		
P(N)	Delta(mm)	Comprimento final	Deformação	Tensão	1+EC	Tensão	Deformação
Enunciado	Enunciado	Delta + 25	Delta/comprimento inicial	P/A	1+Deformação	Tensão . (1+EC)	ln(1+EC)
0	0	25	0	0	1	0	0
143,43	0,000916	25,000916	0,00003664	4,430778716	1,00003664	4,43094106	0,00003663932877
523,38	0,005035	25,005035	0,0002014	16,16803294	1,0002014	16,17128918	0,0002013797217
3265,38	0,0177	25,0177	0,000708	100,8727338	1,000708	100,9441517	0,0007077494862
10693,36	0,047455	25,047455	0,0018982	330,3347409	1,0018982	330,9617823	0,001896400695
15162,36	0,065765	25,065765	0,0026306	468,3891932	1,0026306	469,6213378	0,002627146028
19253,54	0,082397	25,082397	0,00329588	594,7721902	1,00329588	596,732488	0,003290460492
24763,49	0,104828	25,104828	0,00419312	764,9832283	1,00419312	768,1908947	0,00418435337
29299,93	0,126648	25,126648	0,00506592	905,1210084	1,00506592	909,706279	0,0050531314
32136,54	0,162811	25,162811	0,00651244	992,7483612	1,00651244	999,2135753	0,006491325684
33911,13	0,307465	25,307465	0,0122986	1047,568243	1,0122986	1060,451865	0,0122358663
34458,92	0,458679	25,458679	0,01834716	1064,490339	1,01834716	1084,020714	0,0181808816
35070,8	0,697632	25,697632	0,02790528	1083,392276	1,02790528	1113,624641	0,02752302271
35386,66	0,866852	25,866852	0,03467408	1093,149689	1,03467408	1131,053649	0,03408647858
35578,92	1,004944	26,004944	0,04019776	1099,088904	1,04019776	1143,269816	0,03941084892
35743,71	1,234131	26,234131	0,04936524	1104,179527	1,04936524	1158,687614	0,04818544803
35629,27	1,455841	26,455841	0,05823364	1100,644295	1,05823364	1164,738818	0,05860114081
35299,68	1,663666	26,663666	0,06654664	1090,46274	1,06654664	1163,029372	0,06442598981
34875,49	1,83609	26,83609	0,0734436	1077,358843	1,0734436	1156,483955	0,07087179853
33647,16	2,19162	27,19162	0,0876648	1039,413793	1,0876648	1130,533796	0,08403301273
32034,3	2,462463	27,462463	0,09849852	989,5900065	1,09849852	1087,063158	0,09394426555



equação valida ate a carga maxima



b) (0,5) Calcular os dois parâmetros que permitem visualizar a ductilidade do material. O material apresenta comportamento frágil ou dúctil?



$$b) \% \Delta L = \left( \frac{L_f - L_i}{L_i} \right) \times 100 = \left( \frac{27,46 - 25}{25} \right) \times 100 = 9,84\%$$

$$= \left( \frac{(25 + 2,462463) - 25}{25} \right) \times 100 = 9,8498\%$$

$$R.A = \left( \frac{D_0^2 - D^2}{D_0^2} \right) \times 100$$

$$= \left( \frac{6,42^2 - 5,98^2}{6,42^2} \right) \times 100 = 13,2374\%$$

O material é dúctil

Ou

$$B) \% A_l = 100 \cdot \frac{(L_f - L_0)}{L_0} = 100 \cdot \frac{(27,46 - 25)}{25}$$

$$\% A_l = 9,84\%$$

$$L_f = (\epsilon_c \cdot L_0) + L_0$$

$$L_f = (0,0985 \cdot 25) + 25 = 27,46 \text{ mm}$$

$$\% R.A = 100 \cdot \frac{(A_0 - A_f)}{A_f} = 100 \cdot \frac{(32,37 - 28,09)}{28,09} = 15,24\%$$

$$A_f = \pi \cdot \left( \frac{D_f}{2} \right)^2 = 3,142 \left( \frac{5,98}{2} \right)^2 = 28,09 \text{ mm}^2$$

- c) (1,0) Calcular o limite de resistência (MPa), o limite de escoamento (MPa) e o módulo de elasticidade (GPa).

1,0/1,0

c) O limite de Resistência a tração é 1104,223 MPa, ok  
 o limite de escoamento é, aproximadamente, 1005 MPa, ok  
 módulo de elasticidade é, aproximadamente, 177,482 GPa, ok

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{905,1569 - 0}{0,0051 - 0} = 177,482 \text{ MPa} \approx 177,482 \text{ GPa}$$

d) (1,0) Calcular a resiliência (resposta em N.m/m³)

1,0/1,0

$$d) U_R = \frac{\sigma_{LP}^2}{2E} = \frac{(1005)^2}{2 \cdot 177482} = \frac{1.010.025}{354.964} = 2,84 \frac{\text{N.m}}{\text{m}^3}$$

e) (1,0) Calcular a Tenacidade (resposta em N.m/m³)

e)  $U_T = (\sigma_{ESC} + \sigma_{LRT})/2 \cdot \epsilon_{fratura}$   
 $U_T = \frac{(1.104,17 + 1005)}{2} \cdot 0,09849 = 104,35 \text{ Nmm/mm}^3$

f) (1,0) Calcular o expoente n de encruamento e K de resistência e montar a expressão que correlaciona tensão e deformação no regime plástico.

f)  $\sigma_R = K \epsilon_R^n$   $\left. \begin{array}{l} 1104,2 = K \cdot 0,0494^n \\ 1099,1 = K \cdot 0,0402^n \end{array} \right\} \text{Regime plástico}$

$$\log 1104,2 = \log K + n \log 0,0494$$

$$\ominus \log 1099,1 = \log K + n \log 0,0402$$

$$\log 1104,2 - \log 1099,1 = n \log 0,0494 - n \log 0,0402$$

$$3,04304 - 3,04103 = n(-1,30627 + 1,39577)$$

$$n = \frac{0,00201}{0,0895} \approx 0,0224$$

calculo do K:

$$1104,2 = K \cdot 0,0494^{0,0224}$$

$$K = \frac{1104,2}{0,9348} = 1181,2 \text{ MPa}$$

logo:  $n \approx 0,0224$  e  $K = 1181,2 \text{ MPa}$  ok ok

**2) (5,0) O gráfico (a) abaixo exemplifica a curva de tensão vida de um corpo de prova retirado de um eixo fraturado (b) ensaiado por fadiga rotativa de uma empresa renomada no Brasil. Trata-se de um aço com a composição química descrita em (c).**

**a) (2,5) De que aço se trata? Denominação SAE. Pq a presença do Mn?**

Resposta: Aço SAE 1045 por não ter microligantes fora o Fe e C, com exceção do manganês presente em todo o aço para melhorar sua ductilidade além de aumentar a sua resistência por solução sólida naturalmente.

**b) (2,5) Qual o nome do patamar circulado em azul e do ponto escolhido em tracejado vermelho? Qual a diferença entre eles?**

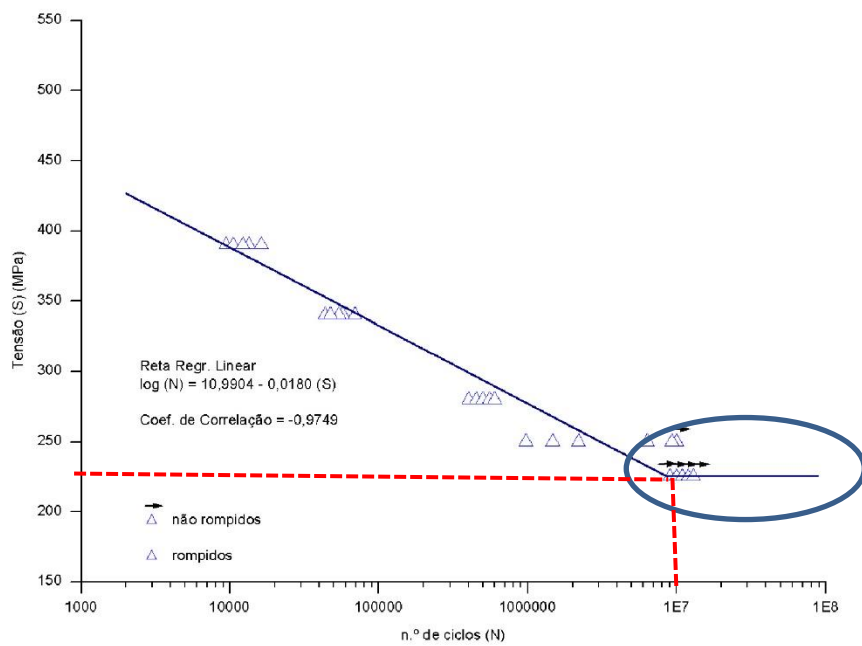
Respostas:

Patamar circulado em azul: Limite de fadiga

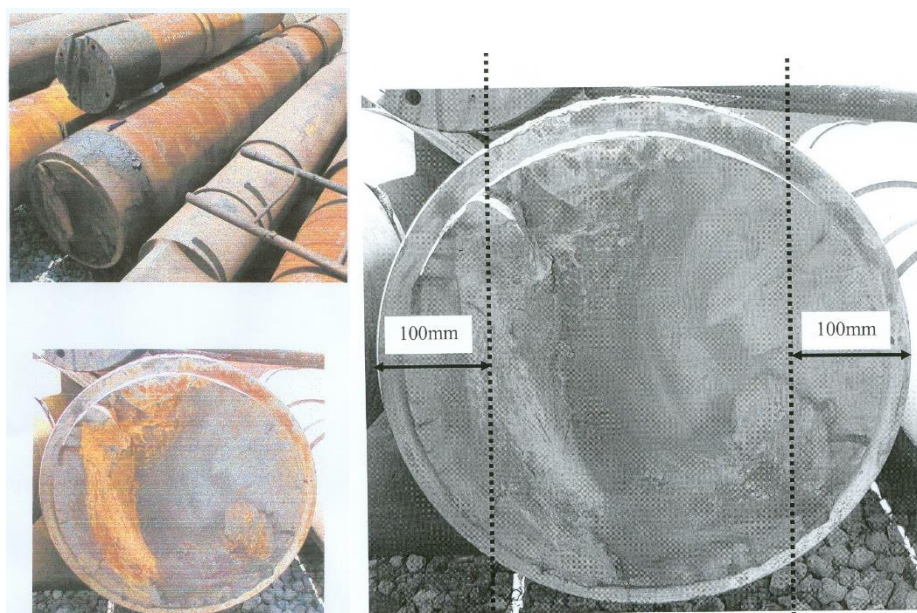
Tracejado em vermelho: Resistência a fadiga

A diferença é que a resistência a fadiga é um critério de falha para materiais que não exibem o limite de fadiga (patamar) naturalmente, Já o limite de fadiga é exibido em muitos aços e ligas ferrosas e é possível observar um patamar onde abaixo deste nível de tensão o material não sofrerá por danos de fadiga.





(a)



(b)

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
% em peso	0,45	0,20	0,64	0,013	0,012	0,02	0,01	0,006	0,004	0,043

(c)

### Fórmulas:

$$U_R = \frac{\sigma_e^2}{2E}$$

$$E_{trans} = \left( \frac{E_{\max} + E_{\min}}{2} \right) + E_{\min}$$

$$\sigma_t = K \varepsilon_t^n$$

$$\varepsilon_v = \ln(L_f/L_0)$$

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$e = \varepsilon_c$$

$$U_t = (\sigma_{\text{esc}} + \sigma_{\text{LRT}})/2 \cdot \varepsilon_{\text{fratura}} \text{ em N.m/m}^3$$

Mat. Dúcteis

$$U_t = 2/3 \cdot \sigma_{\text{LRT}} \cdot \varepsilon_{\text{fratura}} \text{ em N.m/m}^3$$

Mat. Frágeis

$$\sigma_v = \sigma_{eng} (1 + e)$$

$$R_A = \frac{D_0^2 - D^2}{D_0^2}$$

$$\% \Delta L = \frac{L_f - L_i}{L_i}$$



250

200

150

100

50

0

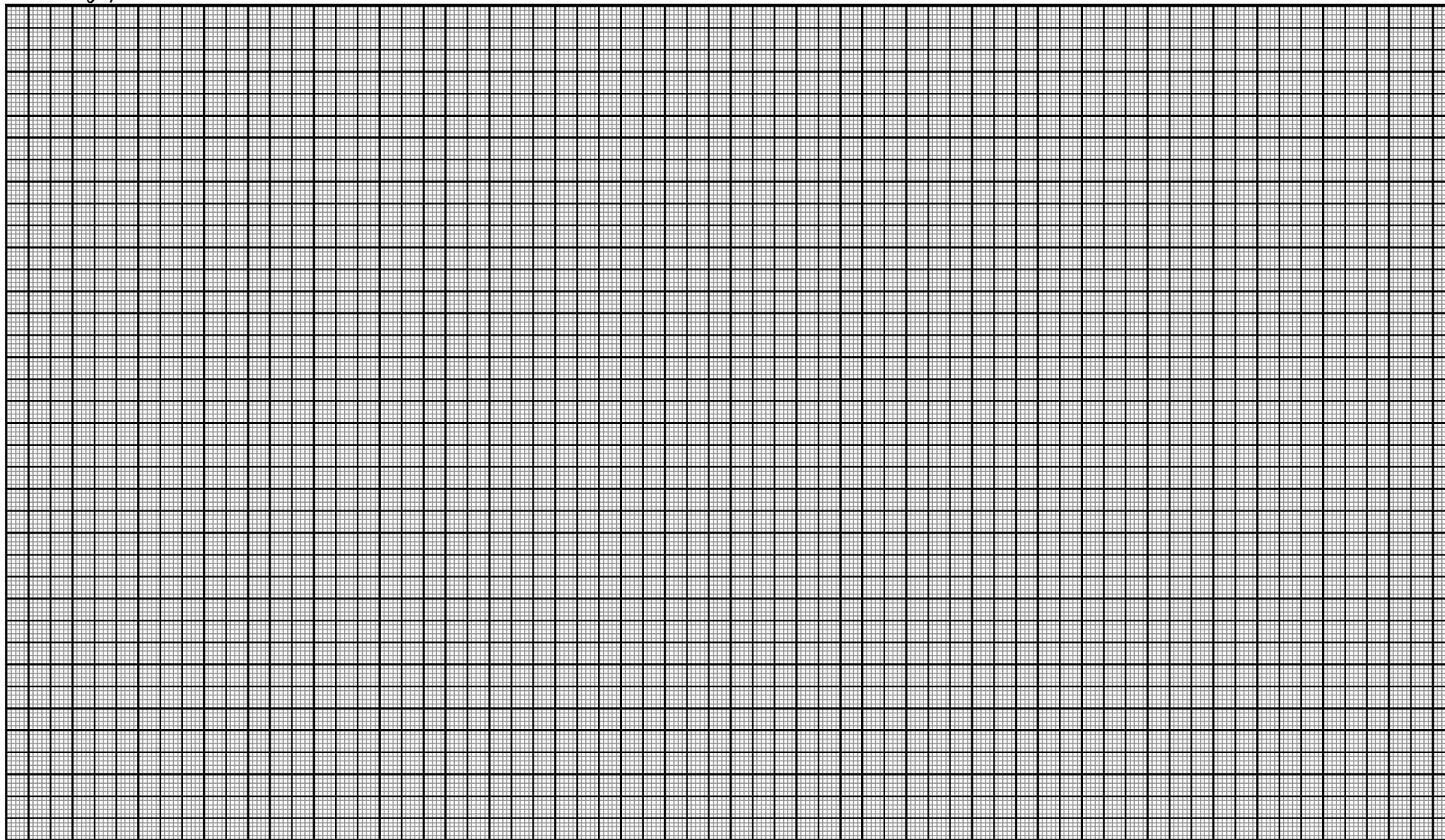
0

50

100

150





**Obs1.** Se o aluno porventura acreditar que está faltando algum dado necessário na execução do exercício favor supor que eu analisarei durante a correção.

**Obs2.** A prova pode ser realizada a lápis e com letra legível, sendo que a resposta final (quando for cálculo) grafada a caneta **OBRIGATORIAMENTE**.

**Obs3.** Os gráficos podem ser realizados por planilhas eletrônicas como Excel ou origin;

**Obs4.** Não esqueça de nomear a prova, colocar o número USP e também nas folhas de execução.

**Obs7.** Pode utilizar calculadora científica na execução dos cálculos matemáticos.

**BOA PROVA !!!!!!!**