

ATIVIDADE DIRIGIDA DO LABORATÓRIO DE AÇO

INTRODUÇÃO

Esta atividade dirigida corresponde à continuidade do desenvolvimento da aula de laboratório de aço e deve ser entregue fazendo-se o up-load na página do e-disciplinas. As atividades previstas aqui têm como principal objetivo verificar o grau de assimilação dos conceitos fundamentais a respeito do comportamento mecânico dos metais e, em específico, do aço. Dessa forma, pede-se que os alunos respondam aos questionamentos a seguir.

PROCEDIMENTOS INICIAIS

Para o desenvolvimento do trabalho devem ser utilizados os dados de ensaio disponibilizados no e-disciplinas. As seguintes determinações iniciais devem ser realizadas

1. Determinar as massas lineares e seções efetivas de barras e fios de aço.
2. Determinar os diagramas $\sigma \times \epsilon$ de dois corpos de prova de aço, calculando-se a tensão de escoamento e a tensão de ruptura de cada um deles.
3. Determinar o alongamento após ruptura a partir da determinação do comprimento alongado em 10 diâmetros.
4. Verificar o atendimento dos critérios de aceitação desses materiais, de acordo com a norma NBR 7480: 2007.

CÁLCULO DA SEÇÃO EFETIVA DO CORPO DE PROVA (CP)

- **Calcular a massa linear efetiva, a seção e o diâmetro efetivo de cada CP**, utilizando a densidade do aço (7850 kg/m^3) e os dados da Tabela 1.

Tabela 1 – Massas por metro linear e seções efetivas dos CPs.

Corpo de prova (barra ou fio)	Diâmetro nominal <i>mm</i>	Massa total do corpo de prova (M) <i>kg</i>	Comprimento total do corpo de prova (C) <i>m</i>	Massa Linear Efetiva (MLE=M/C) <i>kg/m</i>	Seção efetiva <i>mm²</i>	Diâmetro efetivo <i>mm</i>
CP 1 (barra, CA50)	12,5	0,56271	0,607			
CP 2 (fio, CA60)	4,2	0,04999	0,450			

- **Comparar os resultados de massa linear efetiva** com as tolerâncias indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Tolerâncias admitidas nos valores de massa linear para barras e fios de aço (NBR 7480: 2007)

CA 50				CA 60			
Bitola (mm)	Massa Nominal (kg/m)	Tolerância (%)	Seção Nominal (mm ²)	Bitola (mm)	Massa Nominal (kg/m)	Tolerância (%)	Seção Nominal (mm ²)
6,3	0,245	± 7	31,2	4,2	0,109	± 6	13,9
8,0	0,395	± 7	50,3	5,0	0,154	± 6	19,6
10,0	0,617	± 6	78,5	6,0	0,222	± 6	28,3
12,5	0,963	± 6	122,7	7,0	0,302	± 6	38,5
16,0	1,578	± 5	201,1	8,0	0,395	± 6	50,3
20,0	2,466	± 5	314,2	9,5	0,558	± 6	70,9
25,0	3,853	± 4	490,9				
32,0	6,313	± 4	804,2				

MÓDULO DE ELASTICIDADE, TENSÃO DE ESCOAMENTO E DE RUPTURA

- **Determinar a tensão de ruptura (limite de resistência) de cada corpo de prova** (f_{st} , em MPa= N/mm^2), dividindo a carga de ruptura pela seção efetiva.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de tração.

Corpo de prova	Base de medida extensômetro (L_0) <i>mm</i>	Carga de ruptura <i>N</i>	Seção efetiva <i>mm²</i>	Tensão de ruptura <i>MPa</i>
CP 1 (barra, CA50)	50	89245		
CP 2 (fio, CA60)	25	11245		

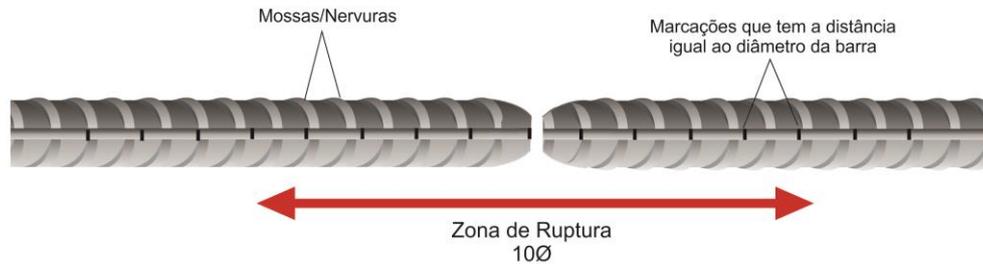
- **Construir os gráficos de tensão (σ) versus deformação específica (ϵ)¹ a partir dos resultados de carga por deformação total.** Os dados necessários à construção do gráfico σ x ϵ serão disponibilizados no moodle.²
- **Determinar a tensão de escoamento** (f_y , em MPa) de cada CP.
- **Determinar o módulo de elasticidade** (E, em GPa) de cada CP.

¹ Converter as leituras de deslocamento do extensômetro em deformação específica (mm/mm) do CP ($\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$), dividindo $l_1/L_0, l_2/L_0, \dots, l_n/L_0$. As dimensões da base de medida do extensômetro estão indicadas nas planilhas. Calcular os valores de tensão correspondentes a cada deformação específica, dividindo a respectiva carga pela seção efetiva do CP.

² Para o CP da barra CA 50 foi apresentado também o deslocamento da máquina de ensaio o que possibilita construir o gráfico de tensão por deformação até a ruptura. Lembrete: essa curva não é precisa, especialmente no trecho elástico, para o cálculo do módulo de elasticidade.

MEDIDA DE ALONGAMENTO APÓS A RUPTURA

- Por definição de norma, o alongamento é a deformação plástica total na região de ruptura do CP, medida em distância equivalente a dez diâmetros do CP (10ϕ).
- A Tabela 4 apresenta as medidas de cada CP para a distância equivalente a 10ϕ na região de ruptura.



- **Determinar o alongamento de cada CP** utilizando a Eq.1 e os dados da Tabela 4. Comparar com os limites especificados na Tabela 5.

$$AL(\%) = \frac{Cf - Ci}{Ci} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Tabela 4 – Resultados dos alongamentos após a ruptura.

Corpo de prova	Comprimento inicial C_i <i>mm</i>	Comprimento final C_f <i>mm</i>	Alongamento ΔL <i>mm</i>
CP 1 (barra, CA50)	125	145	
CP 2 (fio, CA60)	42	45	

Tabela 5 – Propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado (NBR 7480: 2007)

Categoria	Valores mínimos de tração				Ensaio de dobramento a 180°		Aderência	
	Resistência característica de escoamento ^a f_{yk} MPa ^e	Limite de resistência ^b f_{st} MPa ^e	Alongamento após ruptura em 10 ϕ ^c A %	Alongamento total na força máxima ^d A_{gt} %	Diâmetro do pino mm		Coeficiente de conformação superficial mínimo η	
					$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	$\phi < 10$ mm	$\phi \geq 10$ mm
CA-25	250	1,20 f_y	18	-	2 ϕ	4 ϕ	1,0	1,0
CA-50	500	1,08 f_y	8	5	3 ϕ	6 ϕ	1,0	1,5
CA-60	600	1,05 f_y ^f	5	-	5 ϕ	-	1,0	1,5

^a Valor característico do limite superior de escoamento f_{yk} da ABNT NBR 6118 obtido a partir do LE ou δ_e da ABNT NBR ISO 6892.
^b O mesmo que resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (LR ou δ_t da ABNT NBR ISO 6892).
^c ϕ é o diâmetro nominal, conforme 3.4.
^d O alongamento deve ser atendido através do critério de alongamento após ruptura (A) ou alongamento total na força máxima (A_{gt}).
^e Para efeitos práticos de aplicação desta Norma, pode-se admitir 1 MPa = 0,1 kgf/mm².
^f f_{st} mínimo de 660 MPa.

ALGUMAS QUESTÕES:

- Utilizando o gráfico de tensão por deformação até a ruptura (apenas para o CA50) identifique o comportamento do material, através das alterações em sua microestrutura, em cada um dos três trechos típicos do gráfico.
- Se este ensaio fosse realizado a uma temperatura de 400°C, qual seria a influência na tensão de escoamento e na tensão de ruptura do aço.
- Considerando que o coeficiente de Poisson do aço é 0,30, estime o nível de resistência real ao final do limite elástico para ambos os aços.
- Considerando que as deformações plásticas ocorrem no aço sem alteração de volume, estime o nível de tensão real do aço CA50 (CP1) ao final do trecho correspondente ao escoamento plástico do material.
- Se esses aços fossem carregados ciclicamente até um nível de tensão de 550 MPa (CP1) e 660 MPa (CP2) é possível prever que os corpos de prova poderiam romper com o passar do tempo por fadiga? Por que? Qual seria o nível de deformação dos corpos de prova após a ruptura?
- Se esses aços fossem carregados até um nível de tensão estática de 550 MPa (CP1) e 660 MPa (CP2) como seria o seu comportamento ao longo do tempo?