

LABORATÓRIO DE AÇO

INTRODUÇÃO

Esta atividade corresponde à aula de laboratório de aço e deve ser desenvolvida após o aluno ter assistido o vídeo disponibilizado na página do e-disciplinas. Lá são demonstrados os procedimentos do ensaio e como o mesmo é realizado. É fundamental entender a origem de cada um dos dados para realizar as determinações solicitadas neste exercício. As atividades previstas aqui têm como principal objetivo verificar as condições de atendimentos às exigências da norma do aço para concreto armado referentes a vergalhões e fios (NBR 7480:2007). Dessa forma, pede-se que os alunos sigam o roteiro aqui estabelecido para as determinações.

OBJETIVOS

O objetivo principal desta atividade é expor os alunos a conceitos fundamentais de caracterização dos fios e barras de aço para concreto armado previamente à discussão da aula EaD. Para isso, as seguintes determinações 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/mm²), 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		

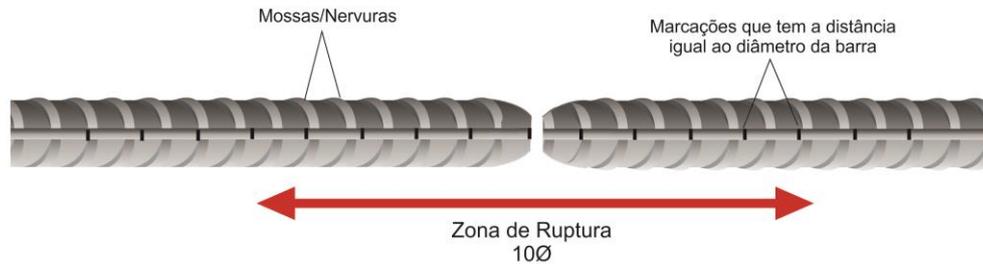
- **Construir os gráficos de tensão (σ) versus deformação específica (ϵ)¹ a partir dos resultados de carga por deformação total.** Os dados necessários à construção do gráfico σ x ϵ serão disponibilizados no moodle.²
- **Determinar a tensão de escoamento** (f_y , em MPa) de cada CP.
- **Determinar o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

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

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_s 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.