

CAPÍTULO 3 - AULA 1

ENSAIOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO

8 de setembro de 2026

Objetivos do capítulo

- Após discutirmos os conceitos básicos de tensão e deformação, neste capítulo mostraremos como a tensão pode ser relacionada à deformação por meio de métodos experimentais para determinar o diagrama tensão-deformação de um material específico. Outras propriedades mecânicas e ensaios relevantes para o nosso estudo da resistência dos materiais também serão abordados.

O ensaio de tração e compressão

- A resistência de um material depende de sua capacidade de suportar um carregamento sem sofrer deformações excessivas ou ruptura. Essa resistência é uma propriedade intrínseca do material e deve ser determinada experimentalmente. Um dos ensaios mais importantes para essa finalidade é o **ensaio de tração ou de compressão**. A partir desse ensaio, é possível determinar a relação entre a **tensão normal média** e a **deformação normal média** em diversos materiais de engenharia, como metais, cerâmicas, polímeros e materiais compósitos.

O ensaio de tração e compressão

- Para realizar um **ensaio de tração ou de compressão**, utiliza-se um corpo de prova padronizado, conforme ilustrado na Fig. 3–1. Esse corpo de prova possui uma seção transversal constante na região central e extremidades alargadas, de modo que a ruptura ocorra preferencialmente nessa região.
- Antes do ensaio, são determinados a **área inicial da seção transversal**, A_0 , e o **comprimento de referência** (ou comprimento de medição), L_0 , definido pela distância entre duas marcas de referência feitas na região uniforme do corpo de prova.
- Em ensaios de tração de materiais metálicos, é comum utilizar corpos de prova com diâmetro inicial $d_0 = 13 \text{ mm}$, e comprimento de referência $L_0 = 51 \text{ mm}$.

O ensaio de tração e compressão

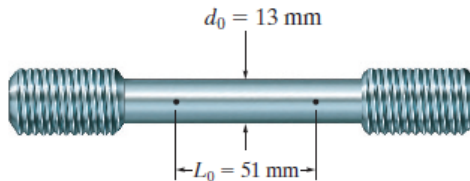


Figura: Amostra típica de aço na parte superior e, na parte inferior, a mesma com extensômetros acoplados.

O ensaio de tração e compressão

- Uma máquina de ensaio, como a mostrada na Fig. 3-2, é então utilizada para tracionar o corpo de prova a uma velocidade constante e muito baixa até a sua ruptura. A máquina é projetada para registrar a carga necessária para manter esse alongamento uniforme.

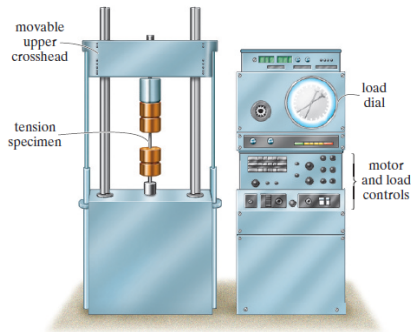
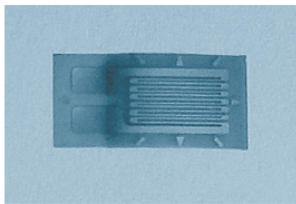
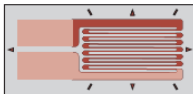


Figura: Fig. 3-2 - Máquina de ensaios.

O ensaio de tração e compressão

- Em intervalos frequentes, são registrados os dados da carga aplicada P . Além disso, o alongamento $d = L - L_0$ entre as marcas no corpo de prova pode ser medido com um paquímetro ou com um dispositivo mecânico ou óptico denominado extensômetro. Em vez de realizar essa medição e, em seguida, calcular a deformação, também é possível obter a deformação normal diretamente no corpo de prova utilizando um extensômetro elétrico de resistência (*strain gage*), apresentado na Fig. 3-3.

O ensaio de tração e compressão



Electrical-resistance
strain gage

Figura: Fig. 3-3 - Extensômetros.

O ensaio de tração e compressão

- O extensômetro é colado ao corpo de prova ao longo de todo o seu comprimento, tornando-se parte integrante deste. Quando o corpo de prova é submetido a uma deformação na direção do extensômetro, tanto o fio quanto o corpo de prova sofrem a mesma deformação. Ao medir a variação da resistência elétrica do fio, o extensômetro pode ser calibrado para realizar a leitura direta da deformação normal no corpo de prova.

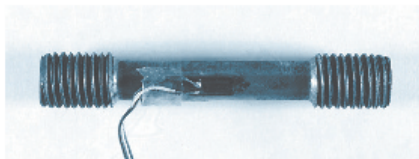


Figura: Fig. 3-3 - Extensômetros.

O diagrama tensão-deformação

- Uma vez obtidos os dados de tensão e deformação do ensaio, os resultados podem ser plotados para gerar uma curva denominada diagrama tensão-deformação. Esse diagrama é muito útil, pois se aplica a um corpo de prova do material de qualquer dimensão. Existem duas maneiras pelas quais o diagrama tensão-deformação é normalmente descrito.

O diagrama tensão-deformação

Diagrama tensão-deformação convencional

- A tensão nominal, ou tensão de engenharia, é determinada dividindo-se a carga aplicada P pela área original da seção transversal do corpo de prova A_0 . Esse cálculo considera que a tensão é constante ao longo da seção transversal e ao longo de todo o comprimento de medição. Assim,

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

- Da mesma forma, a deformação nominal ou deformação de engenharia é obtida diretamente a partir da leitura do extensômetro, ou pela razão entre a variação do comprimento útil do corpo de prova, δ , e o comprimento útil original do corpo de prova L_0 . Portanto,

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

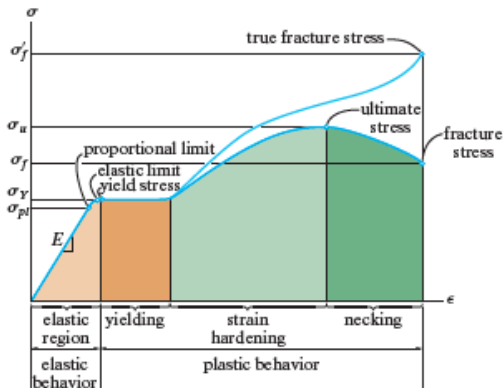
O diagrama tensão-deformação

Diagrama tensão-deformação convencional

- Quando esses valores de σ e ε são representados graficamente, com o eixo vertical correspondendo à tensão e o eixo horizontal correspondendo à deformação, a curva resultante é denominada **diagrama convencional tensão-deformação**.
- Um exemplo típico dessa curva é apresentado na Fig. 3–4. Entretanto, deve-se observar que dois diagramas tensão-deformação obtidos para um determinado material serão bastante semelhantes, mas nunca serão exatamente iguais.

O ensaio de tração e compressão

Diagrama tensão-deformação convencional



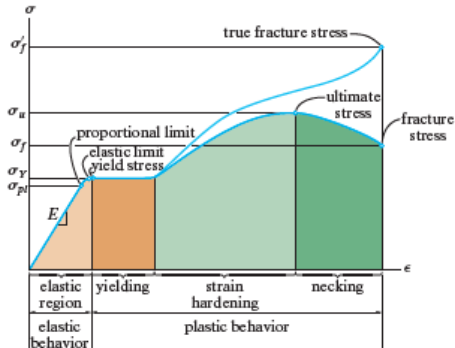
Conventional and true stress-strain diagram
for ductile material (steel) (not to scale)

Figura: Fig. 3-4 - Diagrama tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Diagrama tensão-deformação convencional

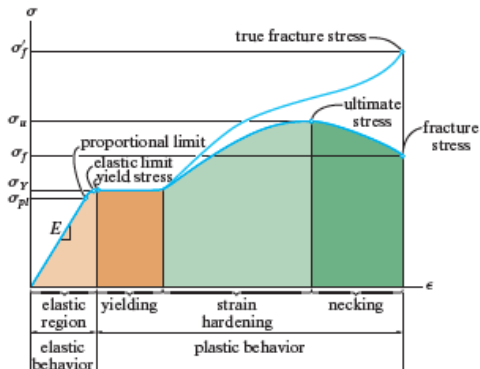
- Com base na curva apresentada na Fig. 3–4, podem ser identificadas **quatro regiões** distintas, nas quais o material apresenta diferentes comportamentos mecânicos, de acordo com o nível de deformação imposto ao corpo de prova.



Conventional and true stress-strain diagram for ductile material (steel) (not to scale)

O ensaio de tração e compressão

Comportamento elástico



Conventional and true stress-strain diagram
for ductile material (steel) (not to scale)

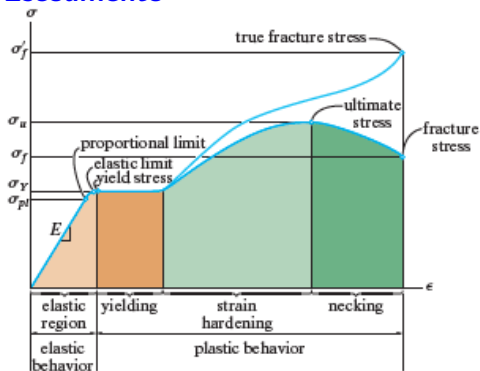
A tensão é proporcional à deformação.

O material é **linearmente elástico**.

Figura: Fig. 3-4 - Diagrama
tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Escoamento



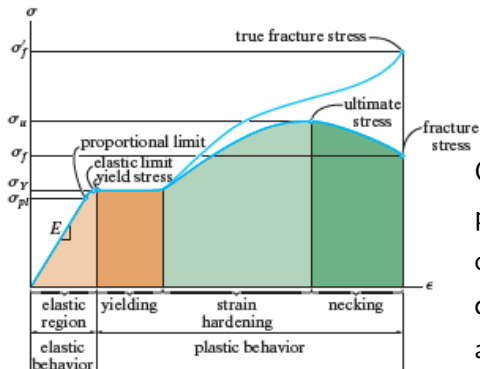
Conventional and true stress-strain diagram for ductile material (steel) (not to scale)

Um pequeno aumento na tensão acima do limite de elasticidade resultará no colapso do material e em **deformação permanente**.

Figura: Fig. 3-4 - Diagrama tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Endurecimento por deformação



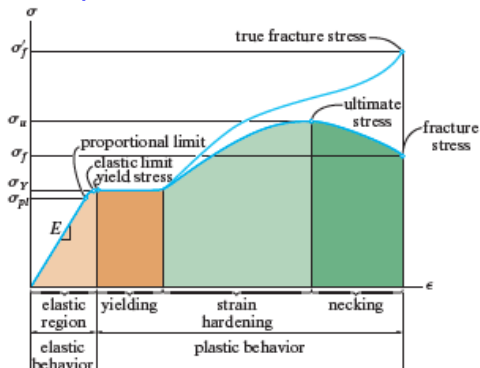
Conventional and true stress-strain diagram for ductile material (steel) (not to scale)

Quando o escoamento tiver terminado, pode-se aplicar uma carga adicional ao corpo de prova, o que resulta em uma curva que cresce continuamente, mas se torna mais achatada até atingir uma tensão máxima, denominada **limite de resistência**.

Figura: Fig. 3-4 - Diagrama tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Estricção



Conventional and true stress-strain diagram for ductile material (steel) (not to scale)

No limite de resistência, a área da seção transversal começa a diminuir em uma região localizada do corpo de prova.

O corpo de prova quebra quando atinge a **tensão de ruptura**.

Figura: Fig. 3-4 - Diagrama tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Diagrama tensão-deformação convencional

- A Fig. 3-5(a) mostra a estricção e a A Fig. 3-5(b) a fratura do corpo de prova.

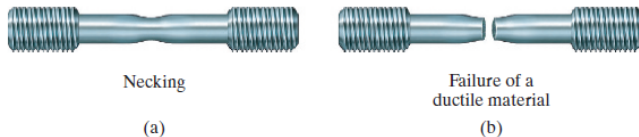


Figura: Fig. 3-6 - Estricção e fratura do corpo de prova.

O ensaio de tração e compressão

Diagrama tensão-deformação convencional

- Padrão típico de estrição observado nesta amostra de aço logo antes da fratura, à esquerda.
- A amostra de aço, à direita, apresenta claramente a estrição ocorrida logo antes da falha do corpo de prova. Isso resultou na formação de uma configuração do tipo “copo e cone” no local da fratura, o que é característico de materiais dúcteis.

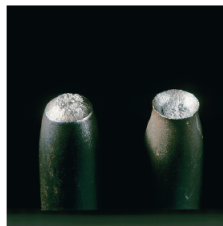


Figura: Exemplos de amostras de corpos de prova.

O ensaio de tração e compressão

Diagrama tensão-deformação real

- Um diagrama típico e convencional de tensão-deformação para um corpo de prova de aço de baixo carbono é apresentado na Fig. 3-6.

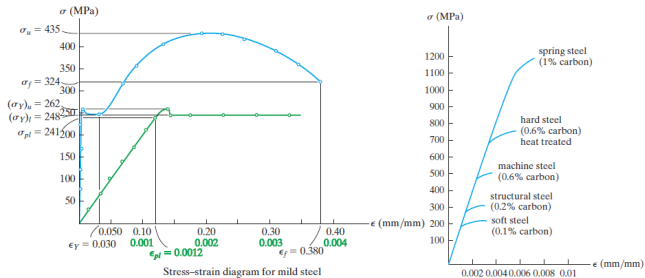


Figura: Fig. 3-6 e Fig 3-7 - Diagrama tensão-deformação real .

O ensaio de tração e compressão

Diagrama tensão-deformação real

- Embora as ligas de aço apresentem teores de carbono distintos, a maioria dos tipos de aço — desde o aço laminado mais macio até o aço para ferramentas mais duro — possui praticamente o mesmo módulo de elasticidade, conforme ilustrado na Fig. 3–7.

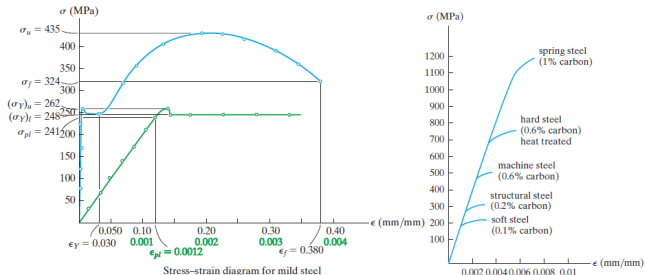


Figura: Fig. 3-6 e Fig 3-7 - Diagrama tensão-deformação real .

O ensaio de tração e compressão

O comportamento da tensão–deformação de materiais dúcteis e frágeis

Materiais dúcteis

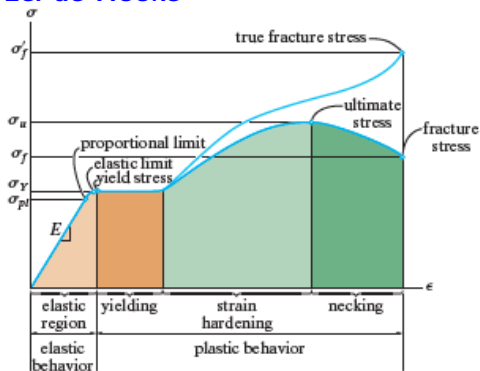
Materiais que podem ser submetidos a grandes deformações antes de sofrer ruptura é denominado dúctil.

Materiais frágeis

Materiais que exibem pouco ou nenhum escoamento antes da falha são denominados frágeis.

O ensaio de tração e compressão

Lei de Hooke



A lei de Hooke define a relação linear entre tensão e deformação dentro da região elástica.

A tangente do ângulo da inclinação da curva da região elástica é denominada

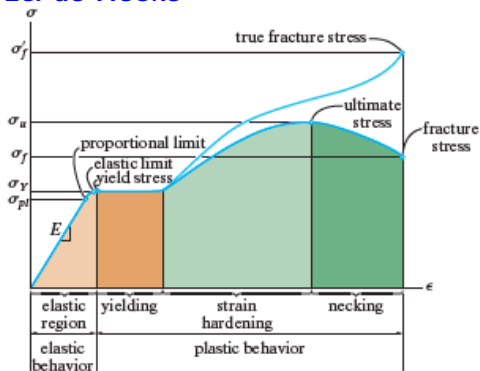
**MÓDULO DE ELASTICIDADE
LONGITUDINAL** ou
MODULO DE YOUNG

Figura: Fig. 3-4 - Diagrama tensão-deformação convencional.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

O ensaio de tração e compressão

Lei de Hooke



Conventional and true stress-strain diagram for ductile material (steel) (not to scale)

ESTA RELAÇÃO SÓ PODE SER USADA
NO REGIME ELÁSTICO-LINEAR

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Figura: Fig. 3-4 - Diagrama
tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Endurecimento por deformação

- Se um corpo de prova de material dúctil for carregado na região plástica e, então, descarregado, a deformação elástica é recuperada.
- Entretanto, a deformação plástica persiste, e o resultado é que o material fica submetido a uma **deformação permanente**.

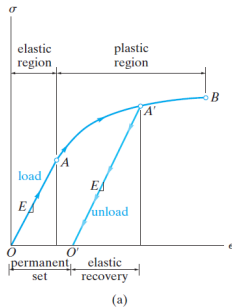


Figura: Fig. 3-14(a) - Diagrama tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Endurecimento por deformação

- Se um corpo de prova de material dúctil for carregado na região plástica e, então, descarregado, a deformação elástica é recuperada.
- Entretanto, a deformação plástica persiste, e o resultado é que o material fica submetido a uma **deformação permanente**.

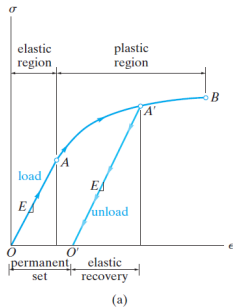


Figura: Fig. 3-14(a) - Diagrama tensão-deformação convencional.

O ensaio de tração e compressão

Coeficiente de Poisson

- Quando um corpo deformável é submetido à ação de uma força, ele não apenas se alonga, mas também sofre uma contração lateral. Como exemplo, considere a barra apresentada na Fig. 3–21, que possui raio original r e comprimento L e está submetida à força de tração P . Essa força provoca um alongamento da barra de magnitude δ e uma contração de seu raio de magnitude δ' . As deformações nas direções longitudinal (ou axial) e lateral (ou radial) são, respectivamente,

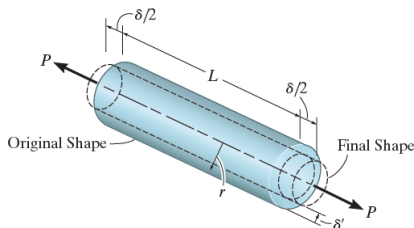


Figura: Fig. 3-21 - Barra submetida a uma força de tração.

O ensaio de tração e compressão

Coeficiente de Poisson

- As deformações nas direções longitudinal (ou axial) e lateral (ou radial) são, respectivamente,

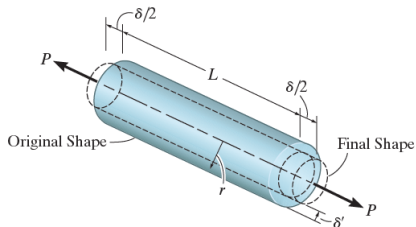


Figura: Fig. 3-21 - Barra submetida a uma força de tração.

$$\epsilon_{\text{long}} = \frac{\delta}{L} \quad \text{e} \quad \epsilon_{\text{lat}} = \frac{\delta'}{r}.$$

O ensaio de tração e compressão

Coeficiente de Poisson

- No início do século XIX, o cientista francês S. D. Poisson observou que, dentro do regime elástico, a razão entre essas deformações permanece constante, uma vez que os deslocamentos δ e δ' são proporcionais à mesma força aplicada. Essa razão é denominada **coeficiente de Poisson**, ν (letra grega *nu*), e possui um valor numérico característico para cada material homogêneo e isotrópico. Matematicamente, essa relação é expressa por

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{\text{lat}}}{\varepsilon_{\text{long}}}$$

O ensaio de tração e compressão

Coeficiente de Poisson

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{\text{lat}}}{\varepsilon_{\text{long}}}$$

- O sinal negativo é incluído porque um alongamento longitudinal (deformação positiva) provoca uma contração lateral (deformação negativa), e vice-versa. Deve-se observar que essas deformações são causadas exclusivamente pela ação da força axial ou longitudinal P ; isto é, nenhuma força atua na direção lateral para produzir deformação no material nessa direção.
- O coeficiente de Poisson é uma grandeza adimensional. Seu valor máximo teoricamente possível é 0,5, de modo que

$$0 \leq \nu \leq 0.5.$$

- Para a maioria dos sólidos não porosos, seu valor situa-se, em geral, entre 0,25 e 0,35. Valores típicos do coeficiente de Poisson para materiais de engenharia comumente utilizados encontram-se apresentados no apêndice deste livro.

O ensaio de tração e compressão

Informações adicionais sobre ensaios de materiais, como as listadas a seguir, podem ser obtidas no livro-texto

- Comportamento de materiais dúcteis e frágeis;
- Energia de deformação;
- Aplicações.