

NBR NM 6892/2002

MATERIAIS METÁLICOS

Ensaio de tração à temperatura
ambiente

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

OBJETIVO:

Especifica o método de ensaio de tração em materiais metálicos e define as propriedades mecânicas que podem ser determinadas à temperatura ambiente.

O ensaio consiste em solicitar o corpo-de-prova com esforço de tração, geralmente até a ruptura, com o propósito de se determinar uma ou mais das propriedades mecânicas.

O ensaio deve ser realizado à temperatura ambiente, entre 10°C e 35°C, salvo se especificado fora desses limites.

DEFINIÇÕES:

1. **Comprimento de medida original (L_0):** Comprimento de medida antes da aplicação da força.
2. **Comprimento de medida final (L_u):** Comprimento de medida após a ruptura.
3. **Comprimento paralelo (L_c):** Parte paralela da seção reduzida do corpo-de-prova.

NOTA - O conceito de comprimento paralelo é substituído pelo conceito de distância entre garras em corpos-de-prova não usinados.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

DEFINIÇÕES:

4. **Alongamento:** Aumento no comprimento de medida original (L_0) em qualquer momento da realização do ensaio.
5. **Alongamento percentual:** Alongamento expresso como porcentagem do comprimento de medida original (L_0).
 - a. **Alongamento percentual permanente:** Aumento no comprimento de medida original do corpo-de-prova, após a remoção da tensão especificada, expresso em porcentagem do comprimento de medida original (L_0).
 - b. **Alongamento percentual após a ruptura (A):** Alongamento permanente do comprimento de medida original após a ruptura ($L_u - L_0$), expresso como uma porcentagem do comprimento de medida original (L_0).

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

DEFINIÇÕES:

No caso de corpo-de-prova proporcional, somente quando o comprimento de medida original (L_0) for diferente de $5,65 \sqrt{S_0}$, onde S_0 é a área da seção transversal do comprimento paralelo, o símbolo **A** deve ser complementado por um sufixo que indica o coeficiente de proporcionalidade usado, como, por exemplo:

$A_{11,3}$ = alongamento percentual do comprimento de medida (L_0) de $11,3 S_0$.

No caso de corpo-de-prova não proporcional, o símbolo **A** deve ser complementado por um sufixo que indica o comprimento de medida original, expresso em milímetros, como, por exemplo:

A_{80} = alongamento percentual do comprimento de medida original (L_0) de 80 mm.

DEFINIÇÕES:

5. **Comprimento de medida extensométrico ou base de medida (L_e):** comprimento da parte paralela do corpo-de-prova utilizado para medida de alongamento por meio de extensômetro.

É recomendado que para medições de tensões de escoamento e tensões limites convencionais seja utilizado o parâmetro $L_e \geq L_0 / 2$.

É também recomendado que para medições de parâmetros “sob” ou “após” a força máxima, L_e , seja aproximadamente igual a L_0 .

DEFINIÇÕES:

6. **Redução percentual da área ou estricção (Z):** Máxima mudança na área da seção transversal, que pode ter ocorrido durante o ensaio ($S_0 - S_u$), expressa como porcentagem da área da seção transversal original (S_0).
7. **Força máxima (F_m):** Maior força que o corpo-de-prova suporta durante o ensaio, uma vez ultrapassado o ponto de escoamento. Para materiais sem ponto de escoamento, é o valor máximo durante o ensaio.
8. **Tensão:** Força dividida pela área da seção transversal original (S_0) do corpo-de-prova, em qualquer momento do ensaio.
 - a. **resistência à tração (R_m):** Tensão correspondente à força máxima (F_m).

DEFINIÇÕES:

- b. tensão de escoamento:** Quando durante o ensaio o material metálico apresentar o fenômeno de escoamento, a deformação plástica ocorre sem nenhum incremento de força. Deve-se distinguir:
- **tensão de escoamento superior (R_{eH}):** Valor da tensão no instante em que o primeiro decréscimo de força é observado (ver *figura 1*).
 - **tensão de escoamento inferior (R_{eL}):** Menor valor da tensão durante o escoamento plástico, desconsiderando-se qualquer efeito transitório inicial (ver *figura 1*).

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

DEFINIÇÕES:

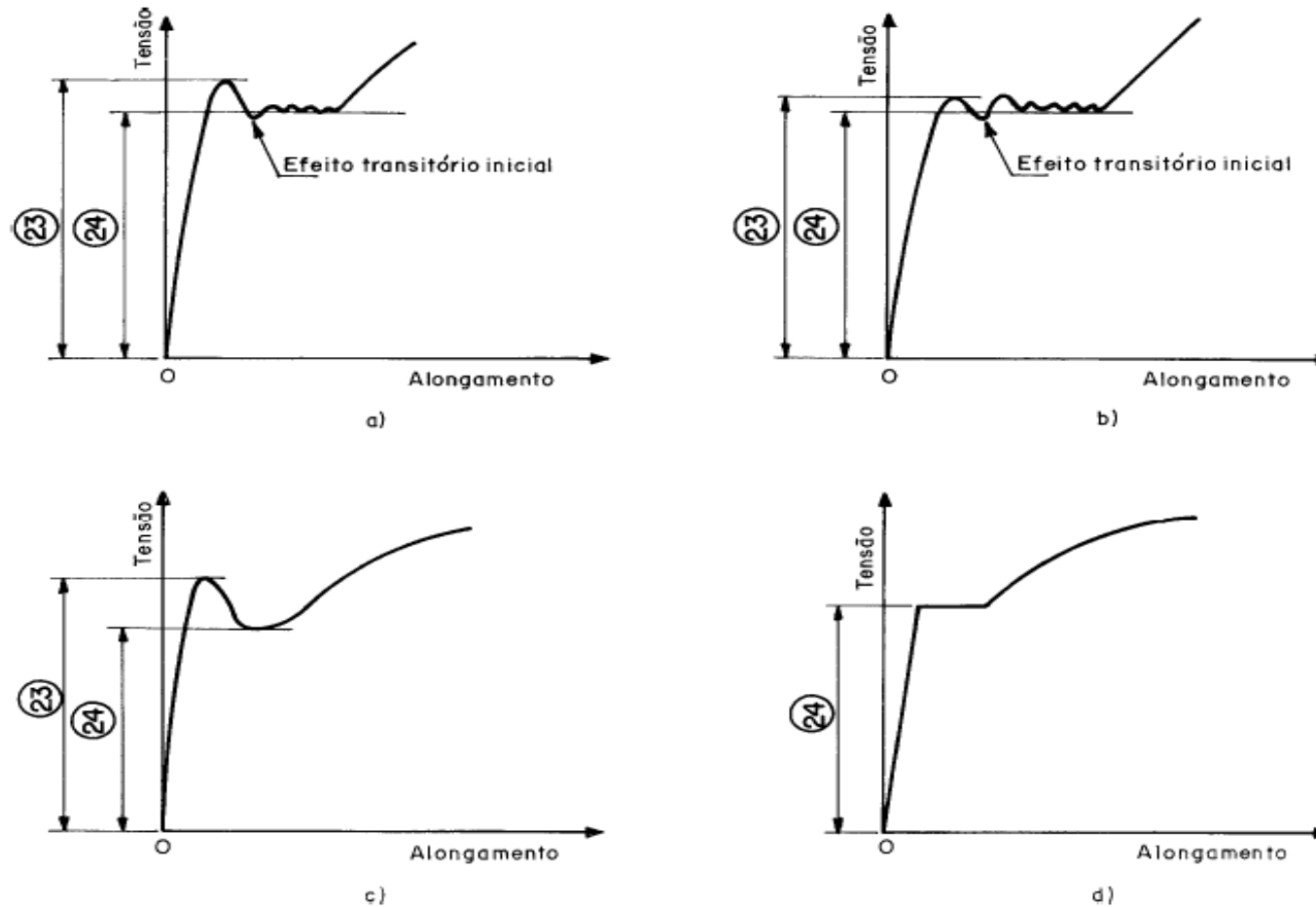


Figura 1 - Definição das tensões de escoamento superior e inferior para diferentes curvas (o significado das referências está na *Tabela 1*).

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES:

Número de referência ¹⁾	Símbolo	Unidade	Designação
			Corpo-de-prova
1	$a^{2)}$	mm	- Espessura de um corpo-de-prova plano ou espessura da parede de um tubo
2	b	mm	- Largura do comprimento paralelo do corpo-de-prova plano ou largura média da tira longitudinal tomada a partir de um tubo ou da largura de um fio chato
3	d	mm	- Diâmetro do comprimento paralelo do corpo-de-prova cilíndrico, de fio circular ou diâmetro interno de um tubo
4	D	mm	- Diâmetro externo de um tubo
5	L_0	mm	- Comprimento de medida original
-	L'_0	mm	- Comprimento de medida inicial para determinação de A_g
6	L_c	mm	- Comprimento paralelo
-	L_e	mm	- Comprimento de medida extensométrico
7	L_t	mm	- Comprimento total do corpo-de-prova

Tabela 1 – Símbolos e designações

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES:

Número de referência ¹⁾	Símbolo	Unidade	Designação
8	L_u	mm	- Comprimento de medida final após ruptura
-	L'_u	mm	- Comprimento de medida final para determinação de A_g
9	S_0	mm ²	- Área da seção transversal original do comprimento paralelo
10	S_u	mm ²	- Área da menor seção transversal após a ruptura
-	k	-	- Coeficiente de proporcionalidade
11	Z	%	- Redução percentual da área: $\frac{S_0 - S_f}{S_0} \times 100$
12	-	-	- Extremidades do corpo-de-prova
			Alongamento
13	-	mm	- Alongamento após a ruptura: $L_u - L_0$
14	$A^{3)}$	%	- Alongamento percentual após ruptura: $\frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$

Tabela 1 – Símbolos e designações (continuação)

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES:

Número de referência ¹⁾	Símbolo	Unidade	Designação
15	A_e	%	- Alongamento percentual no ponto de escoamento
-	ΔL_m	mm	- Alongamento extensométrico sob força máxima
16	A_g	%	- Alongamento não proporcional percentual sob força máxima F_m
17	A_{gt}	%	- Alongamento total percentual sob força máxima F_m
18	A_t	%	- Alongamento percentual total na ruptura
19	-	%	- Alongamento especificado não proporcional
20	-	%	- Alongamento percentual total
21	-	%	- Alongamento especificado
			Força
22	F_m	N	- Força máxima
			Tensão de escoamento - Tensão convencional - Resistência à tração
23	R_{eH}	N/mm ²	- Tensão de escoamento superior ⁴⁾

Tabela 1 – Símbolos e designações (continuação)

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

SÍMBOLOS E DESIGNAÇÕES:

Número de referência ¹⁾	Símbolo	Unidade	Designação
24	R_{eL}	N/mm ²	- Tensão de escoamento inferior
25	R_m	N/mm ²	- Resistência à tração
			Tensão de escoamento - Tensão convencional - Resistência à tração
26	R_p	N/mm ²	- Tensão convencional de alongamento não proporcional
27	R_r	N/mm ²	- Tensão convencional de alongamento especificado
28	R_t	N/mm ²	- Tensão convencional de alongamento total
-	E	N/mm ²	- Módulo de elasticidade

Tabela 1 – Símbolos e designações (conclusão)

CORPO-DE-PROVA:

1. Forma e dimensões

a. Geral

A forma e as dimensões dos corpos-de-prova dependem dos produtos metálicos dos quais os corpos-de-prova são retirados.

O corpo-de-prova é, usualmente, obtido pela usinagem de uma amostra do produto ou obtido por forjamento ou fundição. Entretanto, produtos de seção constante (barras, fios, etc.) e também corpos-de-prova fundidos (ferro fundido maleável, ferro fundido branco) podem ser ensaiados sem ser usinados.

A seção transversal do corpo-de-prova pode ser regular ou não.

São chamados corpos-de-prova proporcionais aqueles que têm o comprimento de medida original, relacionado à área da seção transversal através da equação $L_0 = k \sqrt{S_0}$, sendo o valor internacionalmente adotado para k de 5,65.

CORPO-DE-PROVA:

1. Forma e dimensões

a. Geral

O comprimento de medida original não deve ser menor que 20 mm. Quando a área da seção transversal do corpo-de-prova for muito pequena para que o comprimento de medida original seja determinado com $k = 5,65$, um valor maior (preferivelmente 11,3) ou um corpo-de-prova não proporcional pode ser usado.

Em caso de corpos-de-prova não proporcionais, o comprimento de medida original (L_0) utilizado é independente da área da seção transversal original (S_0).

Para barras e fios de aço para concreto armado, a base de medida L_0 é igual a 10 vezes a bitola ou dimensão nominal.

CORPO-DE-PROVA:

1. Forma e dimensões

b. Corpos-de-prova usinados

Corpos-de-prova usinados devem ter curva de concordância entre as extremidades e o comprimento paralelo, se estes tiverem dimensões diferentes. As dimensões dos raios de concordância podem ser importantes e recomenda-se que sejam definidas nas especificações do material, se as mesmas não forem dadas no anexo apropriado.

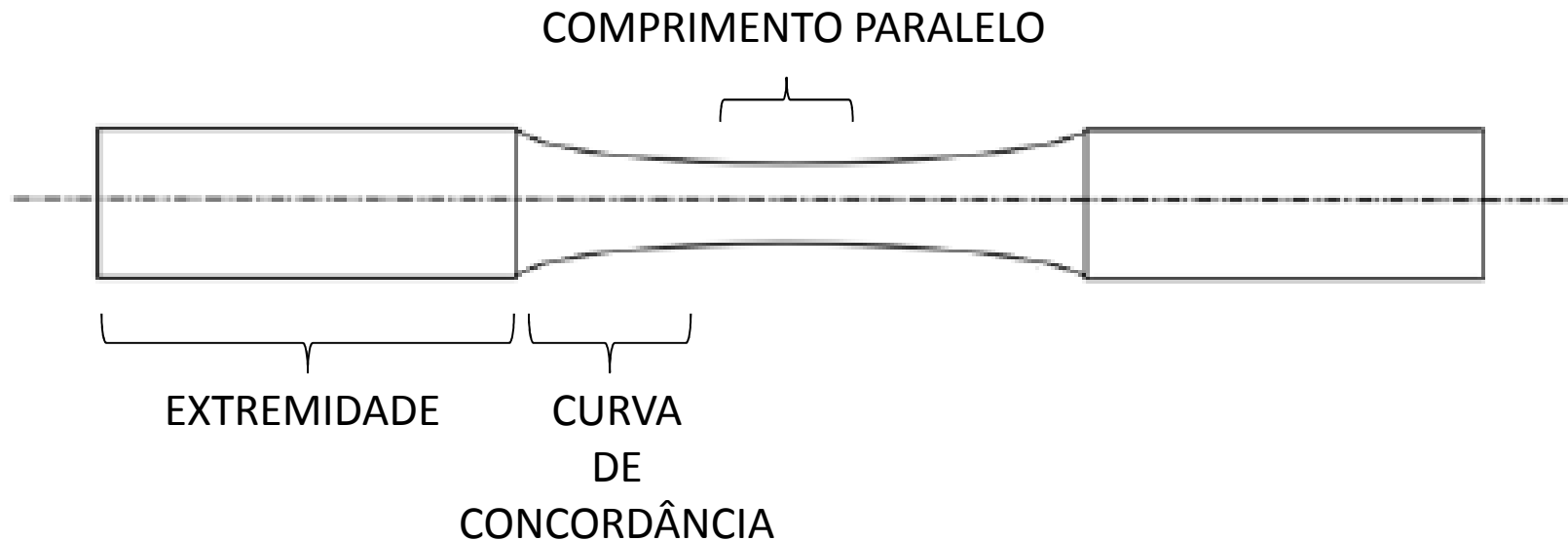
As extremidades do corpo-de-prova podem ser de qualquer forma, desde que sejam compatíveis com os dispositivos de fixação da máquina de ensaio. O eixo do corpo-de-prova deve coincidir ou ser paralelo ao eixo de aplicação da força.

CORPO-DE-PROVA:

1. Forma e dimensões

b. Corpos-de-prova usinados

O comprimento paralelo (L_c) ou, em casos onde o corpo-de-prova não tem curva de concordância, o comprimento livre entre os dispositivos de fixação deve ser sempre maior do que o comprimento de medida original (L_0).



CORPO-DE-PROVA:

1. Forma e dimensões

c. Corpos-de-prova não usinados

Se o corpo-de-prova consistir em uma parte não usinada do produto ou uma barra, o comprimento livre entre os dispositivos de fixação da máquina de ensaio deve ser suficiente para que as marcas de referência fiquem a uma distância razoável desses dispositivos (*anexos A e D*).

Os corpos-de-prova brutos de fundição devem possuir curvas de concordância entre as extremidades e o comprimento paralelo. As dimensões dos raios dessas concordâncias são importantes e é recomendável que sejam definidas na norma do produto. As extremidades podem ser de qualquer forma, desde que sejam compatíveis com os dispositivos de fixação da máquina de ensaio. O comprimento paralelo (L_c) deve ser sempre maior do que o comprimento de medida original (L_0).

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

CORPO-DE-PROVA:

2. Tipos



Tipo do produto		
<p>Folhas, chapas</p>  <p>com espessura em milímetros de</p>	<p>Fios, barras, perfis</p>  <p>com diâmetro ou lado em milímetros de</p>	Anexo correspondente
0,1 ≤ espessura < 3	-	A
-	< 4	B
≥ 3	≥ 4	C
Tubos		D

Tabela 2 - Principais tipos de corpos-de-prova

CORPO-DE-PROVA:

3. Preparação do corpo-de-prova

Os corpos-de-prova devem ser escolhidos e preparados de acordo com as determinações dos padrões internacionais para os diferentes tipos de materiais (ISO 377).

ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL:

A área da seção transversal original (S_0) deve ser calculada a partir das medições de dimensões apropriadas. A incerteza desse cálculo depende da natureza e do tipo do corpo-de-prova. É indicada nos **anexos A a D** para diferentes tipos de corpos-de-prova.

Para fios e barras de aço para concreto armado, a medida da seção transversal é determinada por meio da massa linear e da densidade do aço.

$$D = \frac{m}{V} = \frac{m}{A \times L} \rightarrow A = \frac{m}{L} \times \frac{1}{D}$$

Massa linear

Onde: D é a densidade do aço, dada por 7,85 t/m³.

MARCAÇÃO DO COMPRIMENTO DE MEDIDA ORIGINAL (L_0):

As extremidades do comprimento de medida original devem ser levemente marcadas com traços ou linhas, mas não com riscos que possam resultar em uma ruptura prematura.

Para corpos-de-prova proporcionais, o valor calculado do comprimento de medida original deve ser arredondado para um valor mais próximo do múltiplo de 5 mm, desde que a diferença entre o comprimento marcado e o calculado seja menor que 10% de L_0 . A norma completa contém um nomograma que permite a determinação do comprimento de medida original correspondente às dimensões do corpo-de-prova de seção retangular. O comprimento de medida original deve ser marcado com uma incerteza de $\pm 1\%$.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

MARCAÇÃO DO COMPRIMENTO DE MEDIDA ORIGINAL (L_0):

Quando o comprimento paralelo (L_c) for muito maior que o comprimento de medida original, como por exemplo em corpos-de-prova não usinados, devem ser traçados vários pares de traços ou linhas, limitando sucessivos comprimentos originais. Este é o caso de barras e fios de aço para concreto armado.

Em alguns casos pode ser útil riscar, na superfície do corpo-de-prova, uma linha paralela ao eixo longitudinal, ao longo da qual será marcado o comprimento de medida.

CONDIÇÕES DE ENSAIO - VELOCIDADE:

A menos que seja especificada na norma do produto, a velocidade do ensaio deve estar em conformidade com as seguintes condições, dependendo da natureza do material.

1. Tensão de escoamento ou tensão convencional

a. Tensão de escoamento superior (R_{eH})

Dentro da zona elástica e até a tensão de escoamento superior, a velocidade de separação dos cabeçotes da máquina deve ser mantida o mais constante possível e estar dentro dos limites correspondentes à velocidade de tensionamento fornecidos na tabela da página seguinte. Deve ser fixada regulando-se a velocidade de tensionamento na zona elástica e mantendo-se os controles da máquina nessa regulagem, até que o limite superior de escoamento seja atingido.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

CONDIÇÕES DE ENSAIO - VELOCIDADE:

Módulo de elasticidade do material (E)	Velocidade de tensionamento $\text{N/mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	
	mín.	máx.
$E < 150\,000$	2	10
$E \geq 150\,000$	6	30

Tabela 3 – Velocidade de Tensionamento

b. Tensão de escoamento inferior (R_{el})

Se somente a tensão de escoamento inferior estiver sendo determinada, a velocidade de deformação durante o escoamento do comprimento paralelo do corpo-de-prova deve ser menor que 0,2%/s. A velocidade de deformação do comprimento paralelo deve ser mantida o mais constante possível. Se esta velocidade não puder ser regulada diretamente, ela deverá ser fixada regulando-se a velocidade de tensionamento pouco antes do início do escoamento (e mantendo-a até o fim do escoamento).

CONDIÇÕES DE ENSAIO - VELOCIDADE:

b. Tensão de escoamento inferior (R_{eL})

Nunca a velocidade de tensionamento na zona elástica deve exceder as velocidades máximas indicadas na tabela anterior.

c. Tensões de escoamento superior e inferior (R_{eH} e R_{eL})

Se as duas tensões de escoamento forem determinadas durante o mesmo ensaio, as condições para determinação da tensão de escoamento inferior deverão ser mantidas.

d. Tensão convencional de alongamento não proporcional e tensão convencional de alongamento total (R_p e R_t)

A velocidade de tensionamento deve estar dentro dos limites indicados na tabela da página anterior.

Na fase plástica e até a tensão convencional de alongamento (não proporcional ou alongamento total), a velocidade de deformação não deve exceder 0,2 %/s.

CONDIÇÕES DE ENSAIO - VELOCIDADE:

e. Velocidade de separação

Se a máquina de ensaio não for capaz de medir ou controlar a velocidade de deformação, uma velocidade de separação dos cabeçotes, equivalente à velocidade de tensionamento dada na **Tabela 3**, deve ser utilizada até o término do escoamento.

2. Resistência à tração (R_m)

a. Na fase plástica

A velocidade de deformação do comprimento paralelo não deve exceder 0,8 %/s.

b. Na fase elástica

Se o ensaio não incluir a determinação da tensão de escoamento (ou tensão convencional), a velocidade da máquina pode atingir a máxima velocidade permitida na fase plástica.

CONDIÇÕES DE ENSAIO – MÉTODO DE FIXAÇÃO:

Os corpos-de-prova devem ser presos por meios adequados, como por exemplo, cunhas, extremidades roscadas ou ombreadas, etc. Devem ser fixados à máquina, de maneira que o esforço seja aplicado o mais axialmente possível. Isto é muito importante quando se ensaiam materiais frágeis ou quando se determina tensão convencional de alongamento não proporcional ou tensão convencional de alongamento total ou tensão de escoamento.

ALONGAMENTO PERCENTUAL APÓS A RUPTURA (**A**):

1. O alongamento percentual após a ruptura deve ser determinado de acordo com a definição dada anteriormente.

Para isso, as duas partes do corpo-de-prova rompido devem ser cuidadosamente colocadas juntas, de tal forma que seus eixos estejam coaxiais.

Cuidados especiais devem ser tomados para que se assegure o contato entre as duas partes do corpo-de-prova ao se medir o comprimento final, principalmente quando ele possui área de seção transversal reduzida ou com baixos valores de alongamento.

ALONGAMENTO PERCENTUAL APÓS A RUPTURA (**A**):

1. O alongamento após a ruptura ($L_u - L_o$) deve ser determinado com precisão de 0,1 mm, e o valor do alongamento percentual após a ruptura deve ser arredondado para 0,5%.

Essa medição é válida, em princípio, somente se a distância entre a ruptura e a marca mais próxima não for menor que $1/3$ do comprimento de medida original (L_o). Entretanto, a medição é válida, independentemente da posição da ruptura, se o alongamento percentual após a ruptura for igual ou maior que o valor especificado.

ALONGAMENTO PERCENTUAL APÓS A RUPTURA (**A**):

2. Para máquinas com capacidade de medir alongamento na ruptura usando extensômetro, não é necessário marcar os comprimentos de medidas. O alongamento medido é o alongamento total na ruptura e, portanto, é necessário deduzir-se o alongamento elástico para se obter o alongamento percentual após a ruptura.

Em princípio, a medição é válida somente se a ruptura ocorrer dentro do comprimento extensométrico (L_e). A medição é válida, independentemente da posição da ruptura, se o alongamento percentual após a ruptura for igual ou maior que o valor especificado.

ALONGAMENTO PERCENTUAL APÓS A RUPTURA (**A**):

NOTA - Se a norma do produto especificar a determinação do alongamento percentual após a ruptura para um determinado comprimento de medida, o comprimento de medida do extensômetro deve ser igual a este comprimento.

3. Se o alongamento for medido sobre um comprimento fixado, ele pode ser convertido para um comprimento proporcional, usando-se tabelas ou fórmulas de conversão, quando acordado antes do ensaio (por exemplo ISO 2566-1 ou ISO 2566-2).

ALONGAMENTO PERCENTUAL APÓS A RUPTURA (**A**):

NOTA - Somente é possível comparar valores de alongamentos percentuais quando os comprimentos de medida ou comprimentos extensométricos, as formas e as áreas da seção transversal forem iguais, ou quando o coeficiente de proporcionalidade (k) for o mesmo.

4. Para evitar rejeição de corpos-de-prova, nos quais a ruptura possa ocorrer fora dos limites especificados, o método baseado na subdivisão de L_0 em N partes iguais pode ser usado tal como descrito no **anexo G**.

ALONGAMENTO PERCENTUAL TOTAL SOB FORÇA MÁXIMA (A_{gt}):

O método consiste na determinação, no diagrama tensão-alongamento obtido com um extensômetro, do alongamento sob força máxima (ΔL_m).

Alguns materiais exibem um patamar na força máxima. Quando isso ocorrer, o alongamento percentual total sob força máxima é tomado no ponto central do patamar (*figura 1*).

O comprimento extensométrico deve ser fornecido no relatório de ensaio.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ALONGAMENTO PERCENTUAL TOTAL SOB FORÇA MÁXIMA (A_{gt}):

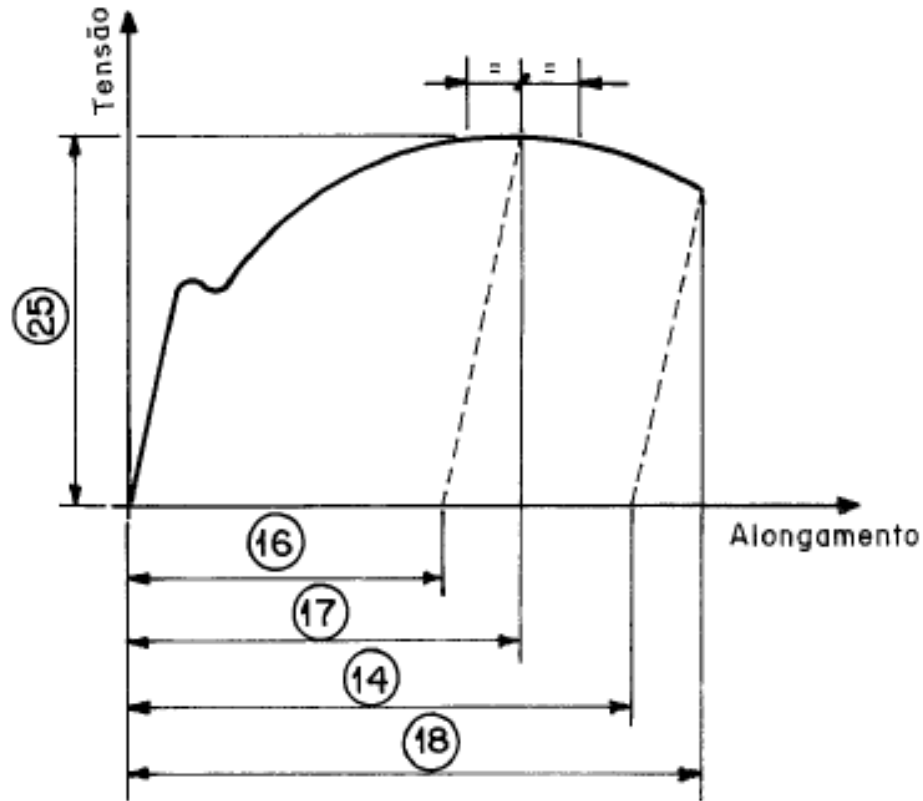


Figura 2 – Definição dos alongamentos (o significado das referências está na *Tabela 1*).

ALONGAMENTO PERCENTUAL TOTAL SOB FORÇA MÁXIMA (A_{gt}):

O alongamento percentual total sob força máxima é calculado pela seguinte equação:

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \times 100$$

Se o ensaio de tração for realizado em máquina controlada por computador com sistema de aquisição de dados, o alongamento é diretamente determinado na força máxima.

Como informação, o **anexo H** descreve um método manual.

TENSÃO CONVENCIONAL DE ALONGAMENTO NÃO PROPORCIONAL (R_p):

A tensão convencional de alongamento não proporcional (R_p) é determinada no diagrama *força x alongamento*, desenhando-se uma linha paralela à parte reta da curva e a uma distância equivalente à porcentagem não proporcional prescrita, por exemplo 0,2%. O ponto de intersecção desta linha com a curva fornece a força correspondente à tensão desejada. A tensão é obtida pela divisão da força encontrada pela área da seção transversal original do corpo-de-prova (S_0) (ver *Figura 3*).

Se a parte reta do diagrama não estiver bem definida, de modo a se traçar a linha paralela com exatidão, recomenda-se o procedimento que segue após a *Figura 3*.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

TENSÃO CONVENCIONAL DE ALONGAMENTO NÃO PROPORCIONAL (R_p):

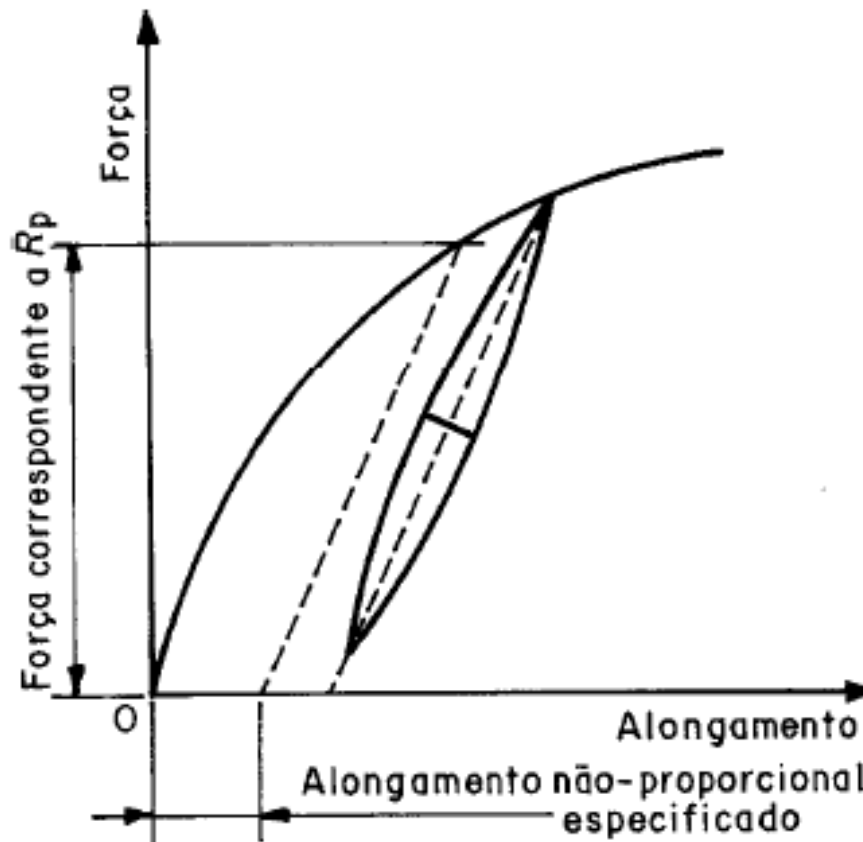


Figura 3 – Tensão convencional de alongamento não proporcional

TENSÃO CONVENCIONAL DE ALONGAMENTO NÃO PROPORCIONAL (R_p):

Após ultrapassar o valor previsto para a tensão convencional, a força é reduzida para um valor próximo a 10% da força atingida. Em seguida, a força é aumentada outra vez, até exceder o valor originalmente atingido. Para se determinar a tensão desejada, desenham-se, primeiro, uma reta unindo as extremidades do ciclo de histerese e, em seguida, uma reta paralela à primeira, que passe pela abscissa correspondente ao valor prescrito para o valor do alongamento não proporcional. A interseção desta reta com a curva *força x alongamento* fornece a força correspondente à tensão convencional de alongamento não proporcional. Esta tensão é obtida dividindo-se a força pela área da seção transversal original do corpo-de-prova (S_0) (ver *Figura 3*).

TENSÃO CONVENCIONAL DE ALONGAMENTO NÃO PROPORCIONAL (R_p):

NOTA - A correção da origem da curva pode ser feita por vários métodos. Geralmente é utilizado o seguinte método: traça-se uma linha paralela à linha definida pelas extremidades do ciclo de histerese, a qual cruza a zona elástica crescente do diagrama, cuja inclinação é próxima àquela do ciclo de histerese. O ponto de intersecção dessa linha com o eixo das abscissas fornece a origem correta da curva.

Esta propriedade pode ser obtida sem se traçar a curva *força x alongamento*, usando-se instrumentos automáticos (por exemplo, microprocessador).

TENSÃO CONVENCIONAL DE ALONGAMENTO TOTAL (R_t):

1. A tensão convencional de alongamento total é determinada no diagrama *força x alongamento*, desenhando-se uma reta paralela ao eixo das ordenadas (das forças) e a uma distância equivalente ao alongamento percentual total prescrito.

O ponto de interseção desta reta com a curva fornece a força correspondente à tensão desejada. Esta tensão é obtida dividindo-se a força pela área da seção transversal original (S_o) do corpo-de-prova (ver *Figura 4*).

2. Esta propriedade pode ser obtida sem se traçar a curva *força x alongamento*, usando-se instrumentos automáticos.

TENSÃO CONVENCIONAL DE ALONGAMENTO TOTAL (R_t):

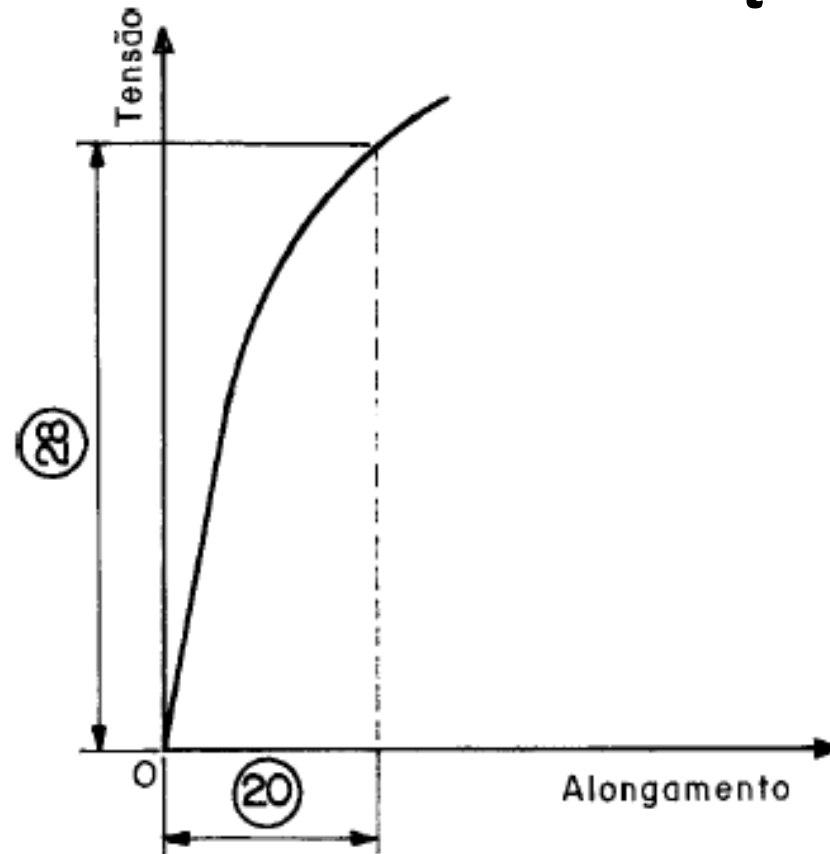


Figura 4 – Tensão convencional de alongamento total (o significado das referências está na *Tabela 1*, mencionada).

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

REDUÇÃO PERCENTUAL DE ÁREA (**Z**):

A percentagem de redução de área deverá ser determinada de acordo com a definição dada anteriormente.

As duas partes do corpo-de-prova rompido devem ser cuidadosamente colocadas juntas, de tal forma que seus eixos estejam coaxiais. A área da menor seção transversal após a ruptura (S_u) deve ser medida com uma incerteza de $\pm 2\%$ (**anexos A a D**). A diferença entre a área (S_u) e a área da seção transversal original (S_0) expressa como percentagem da área original fornece a redução percentual de área.

INCERTEZA DOS RESULTADOS

A incerteza dos resultados depende de vários parâmetros que podem ser separados em duas categorias:

- parâmetros metrológicos, tais como as classes da máquina de ensaios e do extensômetro e a incerteza das medições das dimensões do corpo-de-prova;
- parâmetros do material e do ensaio, tais como a natureza do material, a geometria e preparação do corpo-de-prova, velocidade do ensaio, temperatura, aquisição de dados e técnicas de análise.

RELATÓRIO DE ENSAIO

O relatório deve conter no mínimo as seguintes informações:

- a. referência a esta Norma (*ABNT NBR 6892*);
- b. identificação do corpo-de-prova;
- c. natureza do material ensaiado, se conhecida;
- d. tipo de corpo-de-prova;
- e. localização e orientação da retirada do corpo-de-prova;
- f. características medidas e respectivos resultados.

ANEXO A – CORPOS-DE-PROVA PARA PRODUTOS FINOS

São designados produtos finos as folhas, tiras e chapas com espessura entre 0,1 mm e 3 mm.

1. Formato do corpo-de-prova

Geralmente o corpo-de-prova tem extremidades mais largas do que o comprimento paralelo. O comprimento paralelo (L_c) é unido às extremidades do corpo-de-prova por meio de curvas de concordância, com raio mínimo de 20 mm. A largura destas extremidades deve ser no mínimo 20 mm e no máximo 40 mm.

2. Dimensões do corpo-de-prova

O comprimento paralelo não deve ser menor que $L_0 + b/2$. Em caso de divergência, será usado sempre o comprimento $L_0 + 2b$, a menos que o material seja insuficiente.

ANEXO A – CORPOS-DE-PROVA PARA PRODUTOS FINOS

2. Dimensões do corpo-de-prova (continuação)

Em corpos-de-prova de lados paralelos, de largura inferior a 20 mm, o comprimento de medida original (L_0) deve ser igual a 50 mm e a distância livre entre as garras da máquina deve ser $L_0 + 3b$.

No caso de corpos-de-prova cuja largura seja a mesma do produto, a área da seção transversal original (S_0) será calculada com base nas dimensões medidas no corpo-de-prova.

3. Preparação dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova são preparados de modo a não afetar as propriedades do metal. Qualquer área que tenha sido endurecida por cisalhamento ou esmagamento deve ser removida por usinagem.

ANEXO A – CORPOS-DE-PROVA PARA PRODUTOS FINOS

3. Preparação dos corpos-de-prova (continuação)

Para materiais muito finos, é recomendado que tiras de mesma largura sejam cortadas e colocadas em um feixe, com folhas de papel intermediárias e resistentes ao óleo de corte. É recomendável que cada pequeno feixe de tiras seja acomodado com tiras mais espessas de cada lado, antes da usinagem até a dimensão final do corpo-de-prova.

4. Determinação da área da seção transversal original (S_0)

A área da seção transversal original deve ser calculada a partir da medição das dimensões do corpo-de-prova.

O erro na determinação da área da seção transversal original (S_0) não deve exceder $\pm 2\%$.

ANEXO B – CORPOS-DE-PROVA PARA ESPESSURA MENOR QUE 4 mm

Incluem-se os corpos-de-prova a serem usados em fios, barras e perfis com diâmetro ou espessura menores que 4 mm

1. Forma do corpo-de-prova

O corpo-de-prova geralmente consiste em uma parte não usinada do produto (ver *Figura 5*).

2. Dimensões do corpo-de-prova

O comprimento de medida original (L_0) deve ser de (200 ± 2) mm ou (100 ± 1) mm. A distância entre os dispositivos de fixação da máquina de ensaio deve ser igual a pelo menos $L_0 + 50$ mm, isto é, 250 mm e 150 mm, respectivamente, exceto no caso de fios de pequeno diâmetro, onde essa distância pode ser igual a L_0 .

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO B – CORPOS-DE-PROVA PARA ESPESSURA MENOR QUE 4 mm

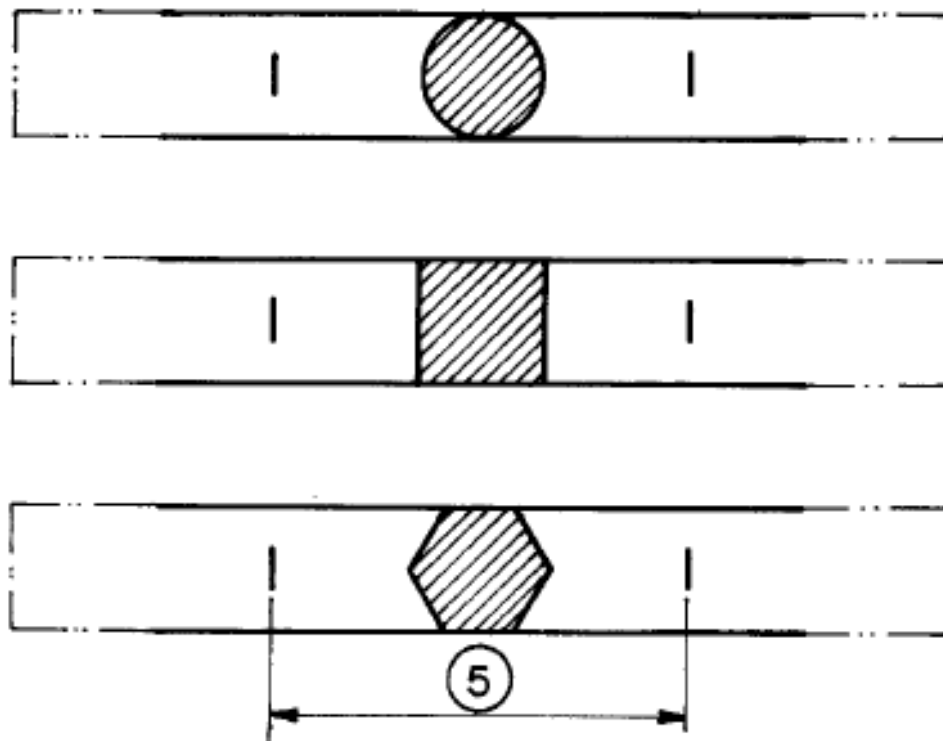


Figura 5 - Corpos-de-prova constituídos por segmento não usinado do produto (o significado das referências está na *Tabela 1*).

ANEXO B – CORPOS-DE-PROVA PARA ESPESSURA MENOR QUE 4 mm

3. Preparação de corpos-de-prova

Se o produto for fornecido em rolos, deve ser endireitado cuidadosamente.

4. Determinação da área da seção transversal original (S_0)

A área da seção transversal original (S_0) deve ser determinada com incerteza de $\pm 1\%$.

Para produtos de seção transversal circular, a área da seção transversal original pode ser calculada pela média aritmética de duas medidas, feitas em direções perpendiculares.

A área da seção transversal original pode ser determinada a partir da massa de um comprimento conhecido e de sua massa específica.

ANEXO C

Corpos-de-prova de folhas e chapas com espessura ≥ 3 mm, e fios, barras e perfis com diâmetro ou espessura ≥ 4 mm

1. Forma do corpo-de-prova

Em geral, o corpo-de-prova é usinado e as extremidades devem ter formas adequadas às garras da máquina de ensaios (ver *Figura 6*). O mínimo raio de concordância que une comprimento paralelo e extremidades deve ser de:

- $0,75 d$ (sendo d o diâmetro) para corpos-de-prova cilíndricos;
- 12 mm para os corpos-de-prova prismáticos.

A seção transversal do corpo-de-prova pode ser de várias formas.

Para corpos-de-prova de seção retangular é recomendado que não se ultrapasse a relação de 8:1 entre a largura e espessura do corpo-de-prova.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO C

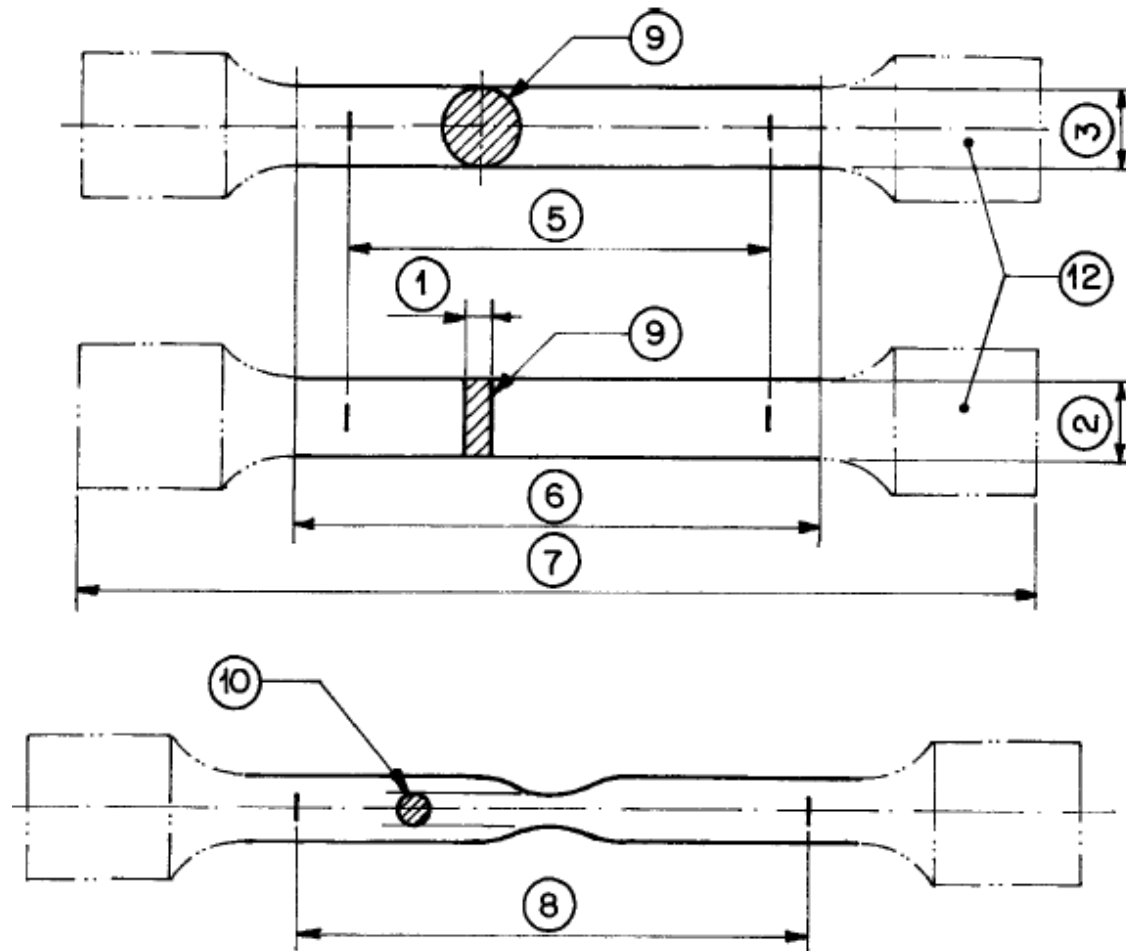


Figura 6 – Corpos-de-prova proporcionais (referências na *Tabela 1*).

ANEXO C

2. Dimensões do corpo-de-prova

a. Comprimento paralelo do corpo-de-prova usinado

O comprimento paralelo (L_c) deve ser igual ou maior que:

- $L_0 + d/2$, para corpos-de-prova de seção circular;
- $L_0 + 1,5 \sqrt{S_0}$, para corpos-de-prova de seção não circular;

Em caso de divergência, e dependendo do tipo de corpo-de-prova, deve ser usado o comprimento $L_0 + 2d$ ou $L_0 + 2 S_0$, salvo se ocorrer insuficiência de material.

b. Comprimento de corpo-de-prova não usinado

O comprimento livre entre garras da máquina será adequado às marcas de referência.

ANEXO C

2. Dimensões do corpo-de-prova (continuação)

c. Comprimento de medida original (L_0)

- **Corpos-de-prova proporcionais:** Como regra geral, corpos-de-prova proporcionais são usados onde o comprimento de medida original (L_0) é relacionado com a área original da seção transversal (S_0) pela equação:

$$L_0 = k \sqrt{S_0}$$

onde:

k é igual a 5,65.

Corpos-de-prova com seção transversal circular devem ter preferencialmente as dimensões fornecidas na **Tabela 2**.

- **Corpos-de-prova não proporcionais:** Podem ser usados se especificados pela norma de produtos.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO C

k	Diâmetro D mm	Área da seção transversal original S_0 mm ²	Comprimento original $L_0 = k \sqrt{S_0}$ mm	Comprimento paralelo mínimo L_c mm	Comprimento total L_t mm
	$20 \pm 0,15$	314	$100 \pm 1,0$	110	Depende do método de fixação do corpo-de-prova na máquina. Em princípio: $L_T > L_C + 2d$ ou $4d$
5,65	$10 \pm 0,075$	78,5	$50 \pm 0,5$	55	
	$5 \pm 0,040$	19,6	$25 \pm 0,25$	28	

Tabela 4 : Corpos-de-prova de seção transversal circular

3. Preparação dos corpos-de-prova

As tolerâncias nas dimensões transversais dos corpos-de-prova usinados são dadas no **anexo C** da norma completa.

ANEXO C

4. Determinação da área da seção transversal (S_0)

No caso de corpos-de-prova de seção circular, pode-se utilizar o diâmetro nominal para calcular a área da seção transversal original (S_0), desde que os mesmos satisfaçam as tolerâncias dadas na norma. No caso de qualquer outra forma de corpos-de-prova, a área da seção transversal original (S_0) deve ser calculada a partir das medidas das dimensões apropriadas, que devem ser determinadas com erro menor que $\pm 0,5\%$ de cada dimensão.

ANEXO D – CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DE TUBOS

1. Forma do corpo-de-prova

O corpo-de-prova consiste em um pedaço de tubo ou uma tira transversal ou longitudinal de tubo, que tenha a espessura total da parede do tubo (*ver figuras 7 e 8*), ou de um corpo-de-prova de seção circular usinada da parede do tubo.

Os corpos-de-prova transversais, longitudinais e de seção transversal circular obtidos por usinagem estão descritos no ***anexo A***, para espessura de parede de tubo menores que 3 mm, e no ***anexo C***, para espessuras iguais ou maiores que 3 mm. A tira longitudinal é geralmente usada para tubos com espessura de parede maior que 0,5 mm.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO D – CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DE TUBOS

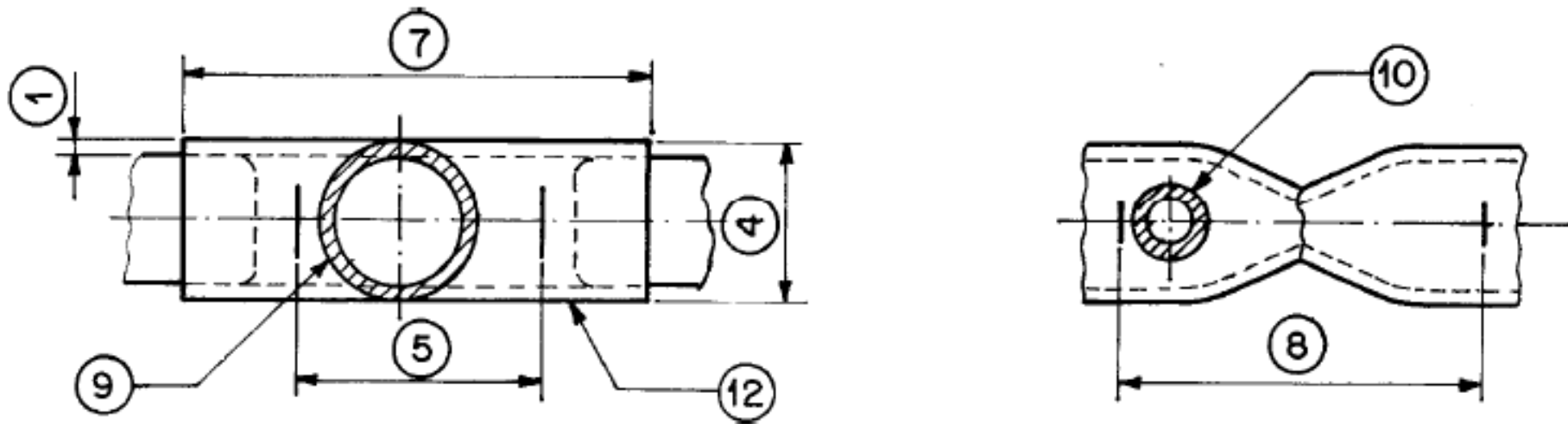


Figura 7 – Corpos-de-prova constituídos por segmento de tubo

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO D – CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DE TUBOS

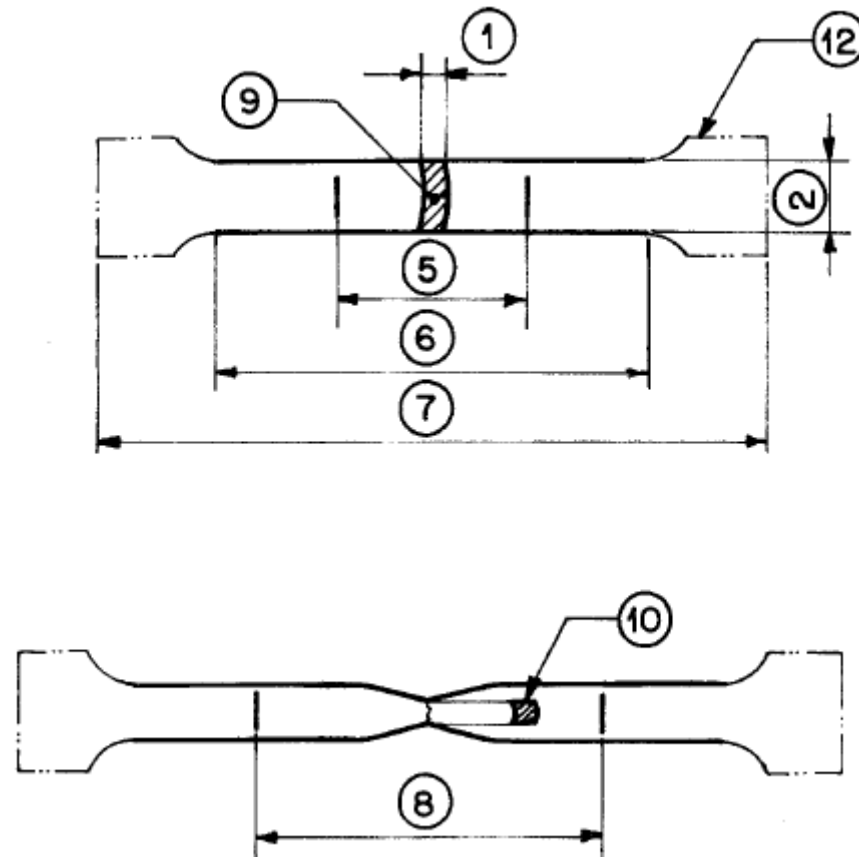


Figura 8 – Corpos-de-prova retirado do tubo

ANEXO D – CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DE TUBOS

2. Dimensões do corpo-de-prova

a. Segmento de tubo

O segmento de tubo deve ser fechado nas duas extremidades. O comprimento livre entre cada tampão e as marcas de medida mais próximas deve ser superior a $D/4$. Em casos de divergência, o valor D deve ser usado, quando houver material suficiente.

O comprimento do tampão, que se prolonga para além das garras da máquina na direção das marcas de medida não deve ser maior que D , e sua forma deve ser tal que não prejudique o alongamento do comprimento de medida.

ANEXO D – CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DE TUBOS

2. Dimensões do corpo-de-prova

b. Tira transversal ou longitudinal

O comprimento paralelo (L_c) das tiras longitudinais não deve ser achatado, mas as extremidades podem ser achatadas para a fixação nas garras da máquina de ensaio.

Cuidados especiais devem ser tomados quando do endireitamento de corpos-de-prova transversais.

c. Amostras de seção transversal circular usinadas da parede de tubo

As amostras de corpos-de-prova são especificadas nas normas do produto.

ANEXO D – CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DE TUBOS

3. Determinação da área da seção transversal original (S_0)

A área S_0 deve ser determinada com aproximação de $\pm 1\%$.

A área da seção transversal original (S_0) do corpo-de-prova constituído de um pedaço de tubo ou tira transversal ou longitudinal pode ser determinada a partir da massa do corpo-de-prova, de seu comprimento e de sua massa específica.

A área da seção transversal original (S_0) do corpo-de-prova constituído de uma tira transversal ou longitudinal pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$S_0 = \frac{b}{4} (D^2 - b^2)^{1/2} + \frac{D^2}{4} \arcsin \frac{b}{D} - \frac{b}{4} [(D - 2a)^2 - b^2]^{1/2} - \left(\frac{D - 2a}{2} \right)^2 \arcsin \frac{b}{D - 2a}$$

ANEXO D – CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DE TUBOS

Onde:

a é a espessura da parede do tubo;

b é a largura média da tira;

D é o diâmetro externo.

Para corpos-de-prova longitudinal ou transversal, as seguintes expressões simplificadas podem ser utilizadas:

$$S_0 = ab \left[1 + \frac{b^2}{6D(D-2a)} \right] \text{ quando } \frac{b}{D} < 0,25;$$

$$S_0 = ab \text{ quando } \frac{b}{D} < 0,17 .$$

No caso de corpo-de-prova constituído de um pedaço de tubo, a área da seção transversal pode ser calculada pela expressão:

$$S_0 = \pi a (D - a)$$

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO G – MEDIDA DO ALONGAMENTO POR SUB-DIVISÃO DO COMPRIMENTO ORIGINAL

Para evitar rejeição de corpos-de-prova, quando a localização da ruptura não satisfaz completamente as condições da norma, pode ser usado o seguinte método, havendo acordo entre as partes interessadas:

- a. antes do ensaio, subdividir o comprimento de medida original (L_0) em N partes iguais;
- b. após o ensaio, adotar o símbolo **X** para indicar a marca de referência na parte mais curta e o símbolo **Y** para indicar a marca de referência na parte mais longa do corpo-de-prova, para a subdivisão que está à mesma distância da fratura que a marca **X**.

Se n é o número de intervalos entre X e Y, o alongamento após ruptura é determinado como segue na página seguinte:

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO G – MEDIDA DO ALONGAMENTO POR SUB-DIVISÃO DO COMPRIMENTO ORIGINAL

1. Se $(N - n)$ for par (ver **Figura 9**), medem-se a distância entre **X** e **Y** e a distância entre Y e uma marca Z localizada a $\frac{N - n}{2}$ intervalos de Y.

Calcular o alongamento percentual após a ruptura usando a seguinte equação:

$$A = \frac{XY + 2YZ - L_0}{L_0} \times 100$$

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO G – MEDIDA DO ALONGAMENTO POR SUB-DIVISÃO DO COMPRIMENTO ORIGINAL

2. Se $N-n$ for ímpar, (ver **Figura 9**), medem-se a distância entre X e Y e a distância entre Y e marcas Z' e Z'' localizadas respectivamente à

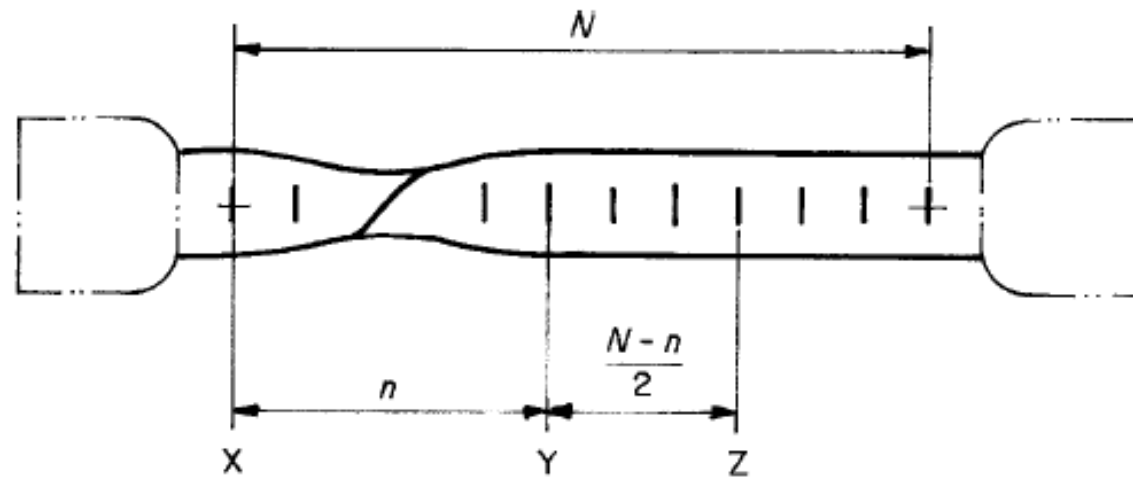
$$\frac{N - n - 1}{2} \quad \text{e} \quad \frac{N - n + 1}{2} \quad \text{intervalos de } Y.$$

Calcular o alongamento percentual após a ruptura usando a seguinte equação:

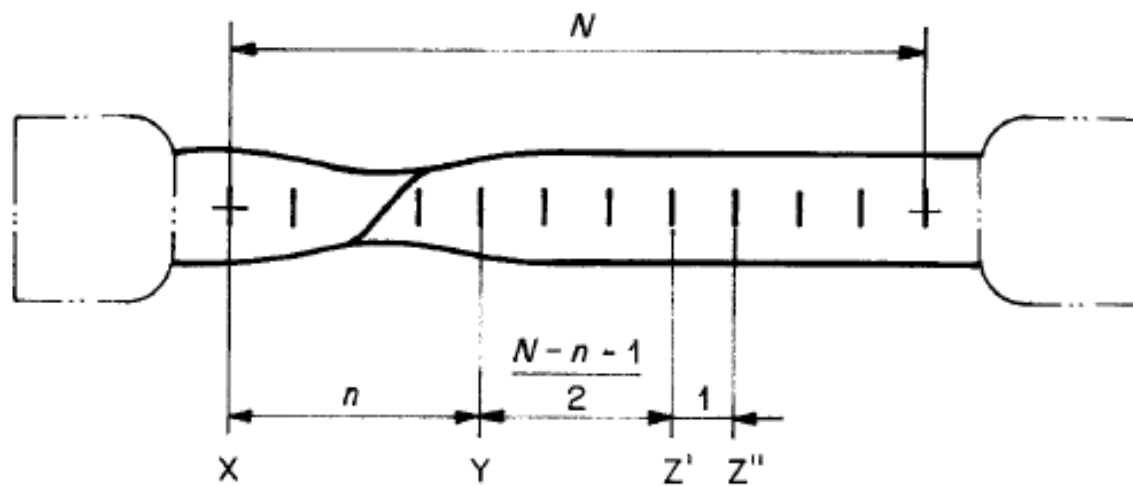
$$A = \frac{XY = YZ' = YZ'' - L_0}{L_0} \times 100$$

NOTA - A forma das extremidades do corpo-de-prova d figura da página a seguir (**Figura 9**) é dada somente como exemplo.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO



a)



b)

Figura 9 – Alongamento virtual

ANEXO H – MEDIDA DO A_{gt} PARA PRODUTOS DE GRANDE COMPRIMENTO

Para determinar o alongamento percentual total sob força máxima (A_{gt}) para barras, fios e hastes, é dado o seguinte método manual, em substituição ao método do extensômetro. No caso de divergência, deve ser utilizado o método do extensômetro.

O método consiste em medir o alongamento não proporcional na força máxima na parte mais longa do corpo-de-prova que foi submetido ao ensaio de tração, do qual é calculado o alongamento total.

Antes do ensaio, são feitas marcas equidistantes sobre o comprimento de medida. A distância entre duas marcas sucessivas deve ser igual a um submúltiplo do comprimento de medida inicial (L'_0). A marcação deve ser feita com incerteza de $\pm 0,5$ mm.

ANEXO H – MEDIDA DO A_{gt} PARA PRODUTOS DE GRANDE COMPRIMENTO

A medição do comprimento de medida final após a ruptura (L'_u) é feita na parte quebrada maior do corpo-de-prova e deve ser feita com incerteza de $\pm 0,5$ mm.

Para a medição ser válida, deverão ser obedecidas as duas condições seguintes:

- Os limites da zona de medição deverão estar localizados a pelo menos 5 d da seção rompida e a pelo menos 2,5 d da extremidade do corpo-de-prova;
- O comprimento de medida a ser medido deve ser pelo menos igual ao valor especificado na norma do produto.

MATERIAIS METÁLICOS - TRAÇÃO

ANEXO H – MEDIDA DO A_{gt} PARA PRODUTOS DE GRANDE COMPRIMENTO

O alongamento percentual não proporcional sob força máxima é calculado pela seguinte expressão:

$$A_g = \frac{L'_u - L'_o}{L'_o} \times 100$$

O alongamento percentual total à máxima força é calculado pela seguinte expressão:

$$A_{gt} = A_g + \frac{R_m}{E} \times 100$$