

Ensaio de tração – Uma avaliação dos procedimentos experimentais

Jesualdo L. Rossi
Roberto V. Alegria
Arnaldo H.P. Andrade
P. Iris Ferreira

A Garantia da Qualidade na indústria em geral (e em particular na indústria nuclear) é baseada na determinação das propriedades de materiais e componentes com elevado grau de confiabilidade. Na obtenção de parâmetros mecânicos por intermédio de ensaios de tração uniaxial, vários procedimentos experimentais são rotineiramente utilizados, embora em geral não se faça uma menção explícita aos detalhes de execução do ensaio e ao grau de precisão dos resultados. Com o intuito de analisar mais aprofundadamente estes aspectos, foram efetuados ensaios de tração em uma liga comercial de alumínio (ABNT 2011) utilizando diferentes técnicas de medida de deformação (longitudinal e transversal): (i) indiretamente, através da sincronização do deslocamento de ponte com o avanço do papel do registrador; (ii) diretamente, com auxílio de extensômetros pertencentes a diferentes graus de precisão; (iii) diretamente, no corpo-de-prova com auxílio de instrumentos de precisão. Os parâmetros seguintes foram medidos: constantes elásticas E e ν ; limite elástico; os parâmetros de resistência mecânica e os parâmetros de ductilidade. Os resultados obtidos foram então analisados e comparados entre si.

1. INTRODUÇÃO

A Garantia da Qualidade na indústria em geral (e em particular na indústria nuclear) é baseada na determinação das propriedades de materiais e componentes com elevado grau de confiabilidade.

O ensaio de tração convencional da engenharia é o ensaio mais utilizado na prática para a determinação das propriedades mecânicas básicas⁽¹⁾.

No ensaio de tração, um corpo-de-prova é submetido a uma força de tração uniaxial continuamente crescente, enquanto que observações simultâneas são realizadas no alongamento do corpo-de-prova.

A análise dos resultados do ensaio fornece dados que são utilizados no controle da qualidade da produção; para estabelecer o desempenho de materiais estruturais; para avaliar novos metais e ligas e para tratar com necessidade de resistência mecânica em projetos.

Diversos componentes e peças são projetados para serem construídos de materiais que não sejam solicitados além do limite de elasticidade convencional. Tais componentes podem ser carregados e retornarão às suas formas e dimensões originais quando a carga for removida. Portanto, além dos parâmetros de resistência mecânica (escoamento e resistência máxima) e de ductilidade (alongamento e redução em área de estrição) determinados no ensaio de tração, também é importante a medida de parâmetros elásticos, tais como o módulo de elasticidade (E), a razão de Poisson (ν) e

o limite de elasticidade (σ_E)⁽²⁾.

Entretanto, os manuais e folhas de especificações sobre propriedades mecânicas de materiais estruturais geralmente fornecem somente o valor de alguns dos parâmetros já descritos sem qualquer informação adicional. Estes valores são aceitos como precisos e confiáveis.

O tecnólogo com experiência sabe, contudo, que uma descrição detalhada do material de ensaio, do modo de preparação do corpo-de-prova, do arranjo experimental utilizado e dos procedimentos de ensaio é necessária para avaliar a confiabilidade e utilidade de tais dados. Este trabalho é o primeiro de uma série, com diferentes tipos de materiais, que objetiva investigar as "variáveis" acima e seus efeitos nos resultados do ensaio de tração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Material Usado

O material utilizado foi uma liga de alumínio tipo ABNT-2011 (5,5 Cu – 0,4 Pb – 0,4 Bi), fornecida na forma de barras extrudadas, com diâmetro nominal de 11,7 mm e dureza média de 50 HRB. Este material foi escolhido para o presente trabalho por apresentar uma transição contínua da zona elástica para a plástica.

Jesualdo Luiz Rossi – Membro da ABM. Engenheiro de Materiais, pesquisador do IPEN-CNEN/SP.

Roberto V. Alegria – Engenheiro Metalúrgico, M.Sc.; pesquisador do IPEN-CNEN/SP.

Arnaldo H.P. Andrade – Membro da ABM. Físico, Ph.D.; Professor de Pós-Graduação USP-IPEN; pesquisador do IPEN-CNEN/SP.

Paulo Iris Ferreira – Físico, Ph.D.; Professor de Pós-Graduação USP-CNEN/SP.

Contribuição Técnica nº 2023, apresentada ao 41º Congresso Anual da ABM, São Paulo, novembro de 1986.

Elaboração dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova com extremidades rosqueadas foram confeccionados em uma fresa de alta rotação, que minimiza os esforços aplicados ao material durante a usinagem, nas dimensões nominais de 6,25 mm de diâmetro e 32 mm de comprimento útil.

Equipamentos Utilizados

Os ensaios de tração uniaxial foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos com acionamento por parafuso, com velocidade de deformação de $2,6 \cdot 10^{-4} s^{-1}$.

Para as medidas de deformação longitudinal diretamente no corpo-de-prova, utilizou-se dois modelos de extensômetros, que em suas escalas mais sensíveis atingem a ASTM classe B₁ e classe B₂⁽³⁾.

Para as medidas de deformação transversal, utilizou-se um extensômetro transversal classe B₁.

Procedimentos Experimentais

Na execução de um ensaio de tração, ou ensaio de carga versus alongamento, vários procedimentos podem ser usados, relacionando-se a força que atua no corpo-de-prova e seu alongamento a cada instante.

O primeiro procedimento (procedimento 1) utilizado, figu-

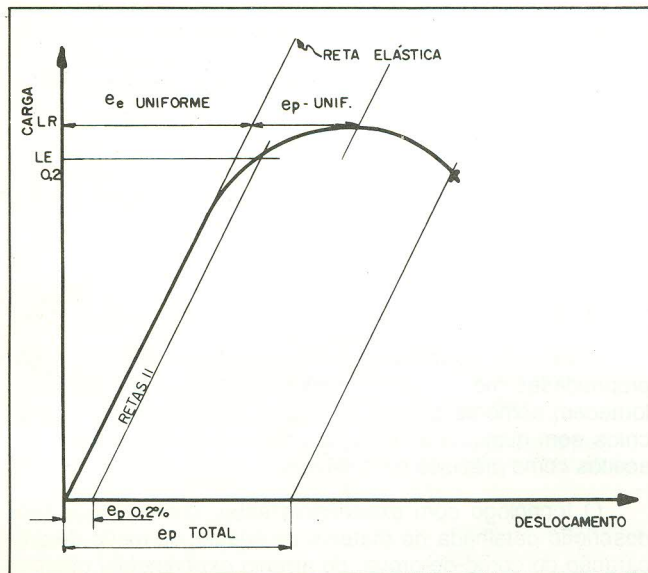


Fig.1 - Diagrama carga (tensão) em função do deslocamento da ponte (alongamento). Procedimento 1.

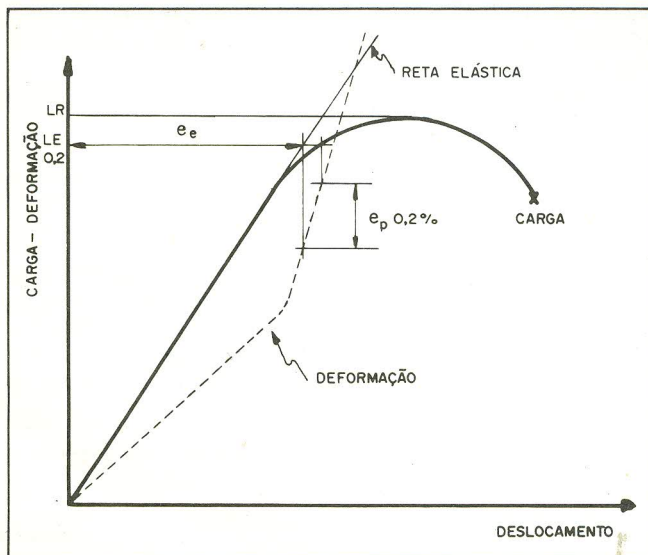


Fig.2 - Diagrama simultâneo de carga (tensão) - deformação em função do deslocamento da ponte. Procedimento 2.

ra 1, consistiu em relacionar-se a força medida por uma célula de carga com uma medida indireta da deformação do corpo-de-prova, através da sincronização do deslocamento da ponte com o avanço do papel do registrador.

Para a medida direta de deformação com o auxílio de extensômetros, utilizou-se dois procedimentos distintos.

Um dos procedimentos (procedimento 2), consistiu em registrar-se simultaneamente a sincronização do deslocamento da ponte-avanço do papel versus carga com a deformação fornecida pelo extensômetro, (figura 2).

Um outro procedimento possível (procedimento 3), executado, foi fazer com que o deslocamento do extensômetro longitudinal ou transversal comandasse o avanço do papel, tendo-se então diretamente uma medida simultânea da carga e da deformação, sem a interferência de fatores e deformações outras que não a do corpo-de-prova, (figura 3).

Combinando-se este último procedimento com sucessivos carregamentos e descarregamento, numa faixa de tensão próxima ao limite de escoamento, numa faixa de tensão próxima ao limite de escoamento convencional, pôde-se determinar o limite de elasticidade do material, que é a tensão na qual pode-se observar, com uma boa precisão, uma deformação permanente, (figura 4).

Para determinação do módulo de Poisson ν que é uma relação entre a contração transversal e o alongamento longitudinal, mediu-se a deformação longitudinal e transversal a vários níveis de carga, utilizando-se o procedimento 3 em um mesmo corpo-de-prova. Com esses resultados, construiu-se

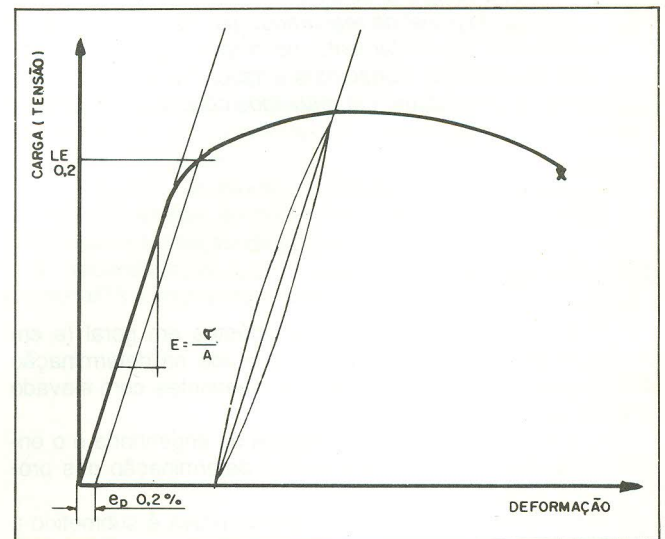


Fig.3 - Diagrama esquemático tensão-deformação longitudinal do material ensaiado e histerese mecânica.

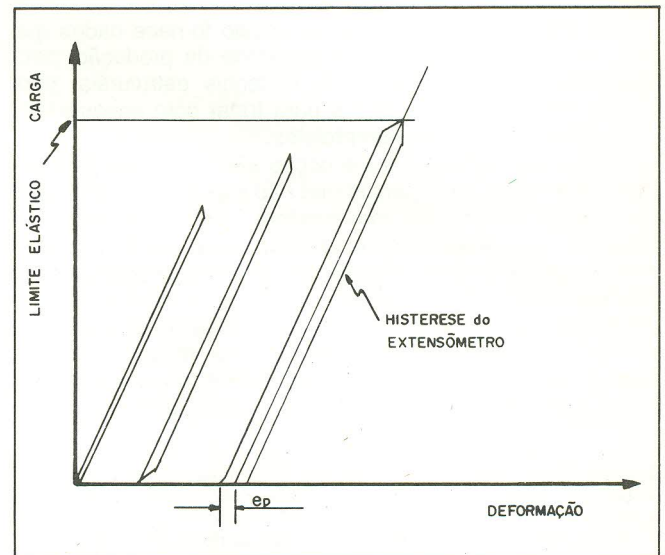


Fig.4 - Determinação do limite elástico e histerese devido ao extensômetro. Procedimento 4.

um gráfico ⁽⁴⁾ esquematizado na figura 5, onde foram determinadas retas por regressão linear de deformação longitudinal e transversal versus carga, sendo que a divisão da inclinação dessas retas determina o módulo de Poisson.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das medidas de deformação, utilizando-se diferentes procedimentos e sua influência na determinação de parâmetros mecânicos como limite de escoamento

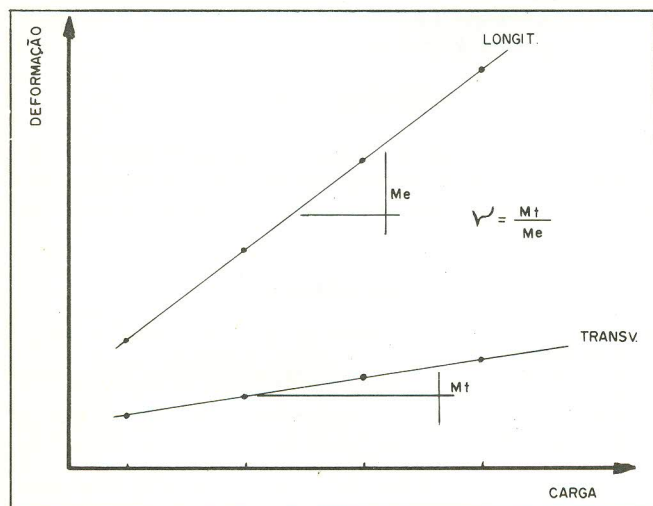


Fig. 5 - Determinação esquemática do módulo de Poisson ν .

Tabela 1 - Propriedades mecânicas medidas utilizando-se o procedimento 01. C_N : coeficiente de variação obtido pela divisão do desvio padrão pela média ⁽⁵⁾

Nº CP	Prop. Mec.	LE _{0,2} (MPa)	LR (MPa)	e plástico total registrador (%)	e plástico uniforme registrador (%)	A em AD (%)	Z (%)
02		213	325	15,6	10,8	19,7	43,6
04		234	352	14,5	9,8	18,5	36,2
13		225	341	15,6	10,8	19,8	39,8
07		231	341	15,0	10,3	18,5	41,4
16		227	341	15,7	10,8	19,7	38,2
14		222	344	16,3	11,9	21,0	39,5
X		225	341	15,5	10,7	19,4	39,8
S		7	9	0,6	0,7	1,0	2,6
C_N		0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	0,06

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas medidas utilizando-se o procedimento 2

Prop. Mec. Nº CP	Extens. classe e faixa de utiliz.	LE _{0,2} (MPa)	LR (MPa)	e plástico total	e plástico uniforme	A em AD (%)	Z (%)	E MPa
07	B ₂ 25%	229	341	17,0	10,6	18,5	41,4	66.900
16	B ₂ 25%	225	341	18,0	11,7	19,7	38,2	70.082
13	B ₁ 10%	221	341	-	-	18,9	39,8	67.102
14	B ₁ 10%	226	344	-	-	21,0	39,5	68.580
X	-	225	342	17,5	11,2	19,5	39,7	68.166
S	-	3	2	0,7	0,8	1,1	1,3	1.481
C_N	-	0,01	0,004	0,04	0,07	0,06	0,03	0,02

(0,2%), deformação plástica total, deformação uniforme, são apresentados nas tabelas 1 a 3. Em adição, são apresentados também o alongamento total após a ruptura e a estricção ou redução em área.

A não homogeneidade inerente aos metais e ligas faz com que suas características variem de ensaio a ensaio, independentemente da precisão com que as medidas tenham sido efetuadas, mesmo no caso de condições semelhantes. Para avaliar-se a reprodutibilidade dos resultados, é interessante comparar-se o coeficiente de variação (desvio padrão e valor médio) que deve variar entre 0,03 a 0,07, (tabela 5) ⁽⁵⁾.

Pelo exame dos coeficientes de variação obtidos, nota-se que o grau de reprodutibilidade e confiabilidade está dentro de faixa estipulada para ensaios mecânicos (C_N entre 0,03 a 0,07).

O limite de escoamento (0,27%) pôde ser obtido pelos três métodos com variações insignificantes; apesar de o primeiro procedimento não utilizar um extensômetro, verificou-se que a contribuição na medida do alongamento, devido à deflexão da máquina e a acomplamentos, conduz a medidas que caem na faixa de dispersão dos dados.

Na determinação do módulo de elasticidade, o procedimento mais confiável é aquele em que o extensômetro comanda o avanço do papel por intermédio de um servo mecanismo, dando um menor coeficiente de variação e fornecendo

Tabela 3 - Propriedades Mecânicas medidas utilizando-se o procedimento 3

Prop. Mec. Nº CP	Extens. classe e faixa de utiliz.	LE _{0,2}	LR	e plástico total	e plástico uniforme	A em AD (%)	Z (%)	E MPa
01	B ₂ 25%	238	348	18,1	12,0	19,6	39,0	70.259
15	B ₂ 25%	226	343	18,2	12,0	19,6	36,1	68.837
09	B ₁ 10%	219	345	-	-	21,4	39,9	68.837
10	B ₁ 10%	226	345	-	-	18,4	37,0	68.327
X	-	225	345	18,2	12,0	19,8	38,0	69.065
S	-	4	2	0,1	0	1,2	1,8	831
C_N	-	0,02	0,01	0,004	0	0,06	0,05	0,01

Tabela 4 - Propriedades Mecânicas (elásticas).

Prop. Mec. Nº CP	Extensômetro classe e faixa de utilização	E (MPa)	ν	Limite Elástico (MPa)
05	B ₁ 10%	68.180	0,32	190
12	B ₁ 10%	68.376	0,30	195

Tabela 5 - Coeficientes de variação para propriedades mecânicas.

Propriedade Mecânica	Coeficiente de variação C_N (a)
Módulo de Elasticidade	0,03
Limite de Resistência	0,05
Dureza Brinell	0,05
Limite de escoamento	0,07
Tenacidade a Fratura	0,07

(a) Coeficiente de variação c_N é o desvio padrão dividido pelo valor médio.

um valor próximo ao tabelado para o módulo de elasticidade do alumínio, que é de 70.000 Mpa. Recomenda-se, na determinação da reta elástica, uma acomodação mecânica muito boa do extensômetro, que é obtida por uma vibração nos acoplamentos e a execução de vários laços de histerese, utilizando-se a média das medidas.

O alongamento plástico total medido pelo procedimento 3 difere dos valores medidos no corpo-de-prova, devido à diferença entre comprimentos iniciais, existindo um aumento no alongamento com o decréscimo no comprimento entre marcas. Os valores mais próximos são obtidos pelo uso de extensômetros, sendo que deve ser levado em conta, que, quando medimos o alongamento diretamente no corpo-de-prova, após a ruptura, existe um erro no ajuste das partes fraturadas, que leva a valores maiores de alongamento.

A tabela 4 apresenta os valores das propriedades elásticas do material, observando-se que estes valores encontram-se próximos aos valores tabelados de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Por outro lado, o limite de elasticidade encontrado depende da classe de extensômetro utilizada; com outra classe de extensômetro, estes valores podem diferir. Com um extensômetro cuja magnitude erro fosse menor que a utilizada, o valor do limite de elasticidade seria menor, devido à própria definição de limite de elasticidade.

4. CONCLUSÕES

1. Para ligas de alumínio semelhantes às do presente trabalho e para corpos-de-prova de cabeça rosqueada, não há

necessidade de utilização de extensômetros na determinação do limite de escoamento convencional.

2. Na determinação do módulo de elasticidade, o procedimento 3 apresenta-se como mais confiável em relação ao procedimento 2, recomendando-se fazer múltiplas histereses e retirar uma média dos módulos assim determinados.
3. A medida do alongamento total plástico, utilizando-se extensômetros, é o mais próximo ao alongamento obtido pela medida direta do corpo-de-prova. Esta prática não é recomendada devido aos riscos de danificar-se o extensômetro.
4. O procedimento 3 é indicado especialmente para as medidas das propriedades elásticas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Dr. Angelo Fernando Padilha pelo fornecimento da liga de alumínio aos técnicos Leonel Soares e Mariano Castagnet pela usinagem e controle dimensional dos corpos-de-prova.

BIBLIOGRAFIA

1. DIETER, G. – Mechanical Metallurgy, 2nd. Edition, MacGraw Hill, N. York, 1976.
2. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, vol. 03.01, ASTM, Philadelphia, 1984.
3. ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, "Standards Test Methods for Poisson's Ratio at Room Temperature", E 132, vol. 03.01, ASTM, Philadelphia, 1984, p. 280-282.
4. ASM METALS HANDBOOK, Vol. 8, 9th Edition, ASM, Metals Park, Ohio, 1985, p. 32.

Empresa compra cadinhos

A Shadid Brothers, do Paquistão, está interessada em comprar cadinhos fabricados no Brasil, bem como máquinas de segunda mão utilizadas em sua manufatura. Os interessados devem enviar as informações necessárias (dimensões dos cadinhos, expectativa de vida em termos de calor e especificações das máquinas, bem como seus respectivos preços) para o Sr. Maqbool Ahmad, Shadid Brothers, 41: Brandreth Road, Lahore. Paquistão.

Marcos Históricos Brasileiros

A American Society for Metals – ASM – comemora, em 1988, seu 75º aniversário e para marcá-lo a entidade pretende reconhecer diversos locais, no mundo, como marcos históricos. Serão perto de 20 locais e no concurso entram metais e outros materiais.

A ASM International solicitou a colaboração da ABM no sentido de indicar marcos históricos brasileiros com pelo menos 50 anos de idade.

A indicação deve ser apresentada pela ABM até 1º de julho de 1987, acompanhada de documentação relacionando assunto, data, fotografias, etc... Seria interessante que o Brasil tivesse um marco histórico reconhecido por essa sociedade. Na América Latina, o México conta com três marcos: fundidora Monterrey, planta de ferro-esponja, também em Monterrey, e o Palácio da Mineração, localizado na cidade do México. Nos Estados Unidos, o marco mais proeminente é a estátua da Liberdade.

Informações adicionais podem ser solicitadas à Secretaria da ABM, que estará recebendo sugestões a respeito até 1º de maio.

