

INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE ENSAIO NA DETERMINAÇÃO DA EXTENSÃO TOTAL NA FORÇA MÁXIMA DE VARÕES DE AÇO PARA BETÃO ARMADO

INFLUENCE OF THE TEST METHOD IN THE DETERMINATION OF THE TOTAL ELONGATION AT MAXIMUM FORCE

Ana Sofia Louro
Departamento de Estruturas, LNEC

Ricardo Mendes
Centro de Instrumentação Científica, LNEC



RESUMO

Neste artigo é descrito o processo de determinação da extensão total na força máxima obtida através do ensaio de tração de varões de aço para betão armado. Considerando que a norma de referência permite que a grandeza extensão total na força máxima possa ser determinada através de dois métodos de medição distintos (manual e automático) e que os mesmos conduzem à obtenção de valores díspares, neste artigo são apresentados os resultados de um estudo desenvolvido para avaliar a influência do método de ensaio. O estudo envolveu a realização de ensaios de tração em 310 varões de aço, de 5 classes de resistência e de 9 diâmetros diferentes, em que foram usados, em simultâneo, os dois métodos de determinação da extensão total na força máxima preconizados na norma de referência.

A realização destes ensaios permitiu esclarecer que a principal razão para a existência de uma diferença significativa de valores reside no facto da extensão total na força máxima ser determinada em diferentes estádios de deformação do provete de aço.

Palavras-chave: Ensaio de tração / varões de aço / extensão total na força máxima / método manual / método automático

ABSTRACT

This paper describes the process of determination of the total elongation at maximum force obtained through tensile tests performed in steel bars for reinforced concrete.

Considering that the reference testing standards allows the determination of the total elongation at maximum force by two different measurement methods (manual and automatic) and that they lead to disparate values, this paper presents the results of a study developed to evaluate the influence of the test method. In this study, tensile tests on 310 steel rods, 5 strength classes and 9 different diameters were performed using, simultaneously, the two measurement methods recommended in the reference standard, to evaluate the total extension at maximum force.

The results showed that the main reason for the existence of a significant difference in values is that the total extension at maximum force is determined at different stages of deformation of the steel specimen.

Keywords: Tensile test / rebars / total elongation at maximum force / manual method / automatic method

1. INTRODUÇÃO

No contexto do dimensionamento de estruturas de betão armado, sobretudo no que respeita à resistência a ações sísmicas, é relevante um conhecimento rigoroso dos parâmetros que controlam a ductilidade das estruturas, nomeadamente as propriedades das armaduras de aço utilizadas na construção deste tipo de estruturas. Em particular, a determinação experimental da grandeza extensão total na força máxima é um importante contributo para a caracterização mecânica das armaduras para betão, motivando a realização de ensaios de tração normalizados (ISO 6892-1:2009 e ISO 15630-1:2010) de varões de aço para betão armado.

De acordo com as normas de referência (ISO 6892-1:2009 e ISO 15630-1:2010) podem aplicar-se dois métodos de medição para a determinação da extensão total na força: (i) o método manual, onde se efetua a medição da deformação do provete após rotura; (ii) e o método automático, em que se recorre ao registo de medição proveniente de um extensómetro instalado no provete de ensaio. A presente comunicação promove uma análise comparativa dos resultados obtidos em ambos os métodos de medição, para a

avaliação da ductilidade do aço do varão, tendo em conta o enquadramento normativo em vigor, e as exigências definidas nas Especificações Técnicas do LNEC aplicáveis a este tipo de produtos.

2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA EXTENSÃO TOTAL NA FORÇA MÁXIMA

No método manual, a medição da extensão total na força máxima resulta da existência de um conjunto de marcações equidistantes na zona útil do provete, efetuadas em dispositivo dedicado (*vide* Fig. 1) previamente à realização do ensaio de tração, as quais materializam o comprimento inicial entre marcações. Após a fratura do provete, efetua-se a medição do comprimento final entre marcações no segmento mais longo do provete, respeitando as indicações normativas relativamente à localização da zona de medição. Esta medição é efetuada de forma manual com recurso a um paquímetro, conforme se ilustra na Fig. 2.

Neste método, a grandeza de interesse – extensão total na força máxima, A_{gt} – é calculada através da Eq. (1):

$$A_{gt} = A_g + \frac{R_m}{E} \times 100, \quad (1)$$

onde A_g representa a extensão permanente na força máxima (expressa em valor percentual), R_m a tensão máxima registada no ensaio (em MPa) e E corresponde ao módulo de elasticidade do material (sendo que a norma ISO 15630-1:2010 considera que, para o caso de varões de aço para betão armado, se adote 200 GPa para esta grandeza). Por sua vez, a extensão permanente na força máxima é determinada com base na Eq. (2):

$$A_g = \frac{L'_u - L'_0}{L'_0} \times 100, \quad (2)$$

onde L'_u e L'_0 representam, respetivamente, o comprimento final e inicial entre as marcações no provete, enquanto que a tensão máxima é obtida pelo quociente entre a força máxima, F , medida através de cadeia de medição que integra a máquina de ensaio mecânico e a área nominal da secção transversal do provete, $S_{0\text{ nom}}$.

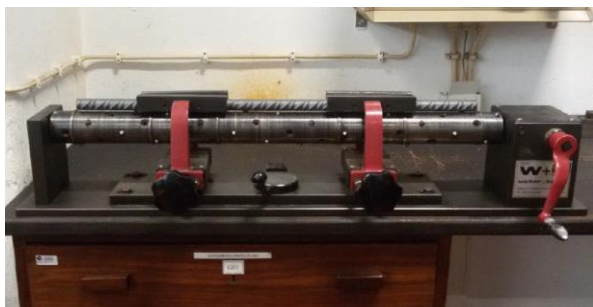


Fig. 1 – Máquina de marcação equidistante

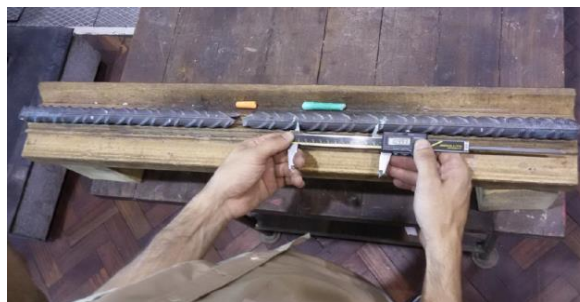


Fig. 2 – Medição do comprimento final

No método automático, como o próprio nome indica, a determinação da extensão total na força máxima é obtida a partir da instalação prévia de um extensómetro elétrico (*vide* Fig. 3 e 4) na região central do provete a ensaiar, de onde resulta um valor percentual da extensão total na força máxima obtido pela expressão:

$$A_{gt} = \frac{L_{def} - L_{base}}{L_{base}} \times 100, \quad (3)$$

onde L_{def} corresponde ao comprimento medido entre garras do extensómetro no momento de aplicação da força máxima ao provete e em que L_{base} representa o comprimento inicial (base) do extensómetro na condição de ausência de solicitações.



Fig. 3 – Extensómetro Instron utilizado pelo LNEC no método automático

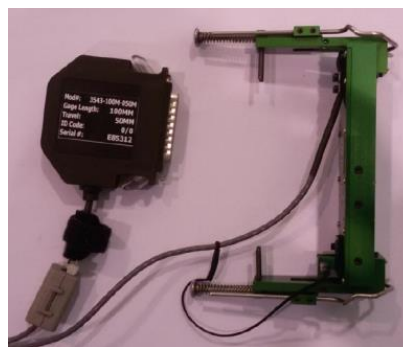


Fig. 4 – Extensómetro Epsilon utilizado pelo LNEC no método automático

3. CAMPANHA EXPERIMENTAL

A campanha experimental desenvolvida neste trabalho consistiu na realização de 310 ensaios de tração em provetes de aço para betão armado. Os ensaios foram realizados na Unidade de Produtos Metálicos (UPM), do Laboratório de Ensaios e Metrologia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC-EM).

O estudo global para analisar a influência do método de ensaio para a determinação da extensão total na força máxima, A_{gt} , envolveu cinco tipos diferentes de varões de aço para betão armado: A500 ER, A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A500 NR SD, provenientes das ações de acompanhamento da certificação da produção de varões de aço para armaduras de betão armado. O material ensaiado pertence a nove fabricantes diferentes, foi ensaiado sob condições ambientais controladas: $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ e os provetes possuíam um comprimento de $800\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$.

Neste artigo apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados nos varões da gama média (12, 14, 16 e 20 mm de diâmetro) que correspondem a um total de 140 ensaios de quatro diâmetros e quatro classes diferentes.

Tendo em vista os objetivos do estudo e o esclarecimento das diferenças existentes entre a medição automática e manual, numa primeira fase foram realizados ensaios de tração recorrendo à utilização simultânea de dois extensómetros na zona central do provete. Assim, os dois extensómetros foram instalados de acordo com o representado na Fig. 5.

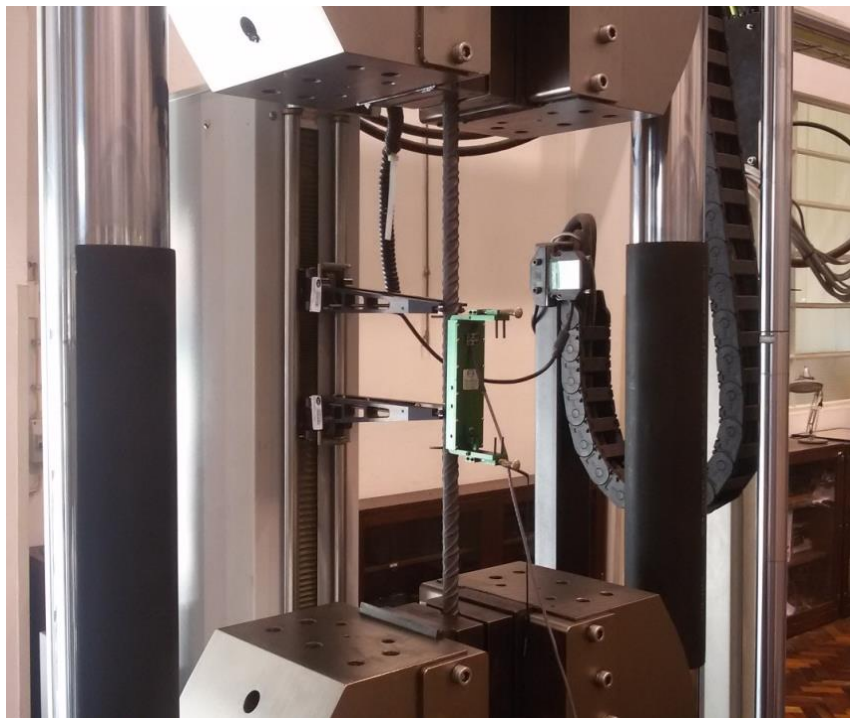


Fig. 5 – Extensómetros instalados no centro do provete

Após ter sido garantida a existência de resultados similares entre os dois extensómetros, avançou-se para a instalação destes dois equipamentos em zonas distintas do provete, tendo em vista avaliar se os resultados obtidos estavam ou não associados à heterogeneidade do material ensaiado ao longo do comprimento útil (Fig. 6).

assegurados os afastamentos à zona de amarração e à zona de rotura especificados na norma de ensaio (Fig. 8).



Fig. 8 – Identificação das zonas de medição da extensão permanente na força máxima

Para esclarecer a origem das diferenças que vinham sendo encontradas nos resultados obtidos através dos dois métodos (automático e manual) foi, ainda, determinada, pelos dois métodos, a extensão total na força máxima de forma simultânea. Isto é, no decorrer do ensaio, quando o provete se encontra na força máxima de ensaio e conseqüentemente na deformação correspondente, é então determinado o valor da extensão total na força máxima através dos extensómetros (INSTRON e EPSILON) que se encontram instalados no centro do provete de forma paralela, e em simultâneo, é também efetuada a medição do valor da extensão permanente na força máxima, para posteriormente ser calculada a correspondente extensão total na força máxima do provete.

A medição da extensão permanente na força máxima é efetuada, precisamente, na mesma zona onde os extensómetros se encontram instalados no provete, conforme ilustrado na Fig. 9. Esta medição é efetuada no instante em que se atinge a força máxima de ensaio, e assegurando que a máquina mantém a força instalada, para que seja possível determinar, por recurso ao paquímetro, o valor da extensão permanente na força máxima A_g .

A realização destas medições teve como principal objetivo a obtenção de resultados para apoiar a análise do comportamento dos provetes ao nível da deformação em regime elastoplástico.



Fig. 9 – Medição com paquímetro da extensão permanente na força máxima de ensaio

4. RESULTADOS OBTIDOS

Na Tabela 1 são apresentados os resultados relativos à extensão total na força máxima obtidos através da instalação dos extensómetros no centro do provete e através da medição manual.

Tabela 1 – Extensómetros na zona central: valor médio dos resultados obtidos para a extensão total na força máxima dos varões de aço da gama média

Tipo de aço	Diâmetro (mm)	A_{gt} Manual ⁽¹⁾ (%)	A_{gt} M300 ⁽²⁾ (%)	A_{gt} EQ 50 ⁽³⁾ (%)
A400 NR	12	17,5	15,9	15,9
	16	16,3	13,2	13,1
A400 NR SD	12	17,4	14,6	15,9
	16	15,4	13,3	13,3
	20	14,3	13,3	13,8
A500 NR SD	12	9,7	8,5	8,9
	14	10,6	9,6	9,9

⁽¹⁾ Extensão total na força máxima - método manual

⁽²⁾ Extensómetro INSTRON M300 - método automático

⁽³⁾ Extensómetro EPSILON - método automático

Por sua vez, na Tabela 2 são apresentados os resultados relativos à extensão total na força máxima obtidos através da instalação dos extensómetros em duas zonas diferentes do provete e através da medição manual.

Tabela 2 – Extensómetros em zonas distintas: valor médio dos resultados obtidos para a extensão total na força máxima dos varões de aço da gama média

Tipo de aço	Diâmetro (mm)	A_{gt} Manual ⁽¹⁾ (%)	A_{gt} M300 ⁽²⁾ (%)	A_{gt} EQ 50 ⁽³⁾ (%)
A400 NR	12	14,2	13,8	14,7
A500 NR	12	9,0	9,6	9,1
A400 NR SD	12	18,7	16,1	16,1

⁽¹⁾ Extensão total na força máxima - método manual

⁽²⁾ Extensómetro INSTRON M300 - método automático

⁽³⁾ Extensómetro EPSILON - método automático

A Tabela 3 menciona os resultados relativos à extensão total na força máxima obtidos através da medição em quatro zonas diferentes ao longo do provete e através da medição manual.

Tabela 3 – Valores obtidos para a deformação do provete nas quatro zonas de medição: varão de aço A400 NR SD com 20 mm

Localização	L'_u (mm)	A_{gt} Manual ⁽¹⁾ (%)
L1G	110,77	11,0
L1R	116,71	17,0
L2R	113,07	13,3
L2G	111,69	12,0

⁽¹⁾ Extensão total na força máxima - método manual

Por último, e para se tentar esclarecer definitivamente a origem das diferenças registadas entre os métodos manual e automático, procedeu-se à medição da deformação do provete na força máxima de ensaio por recurso a um paquímetro, em paralelo com a medição automática através dos dois extensómetros.

Os resultados obtidos para as diferentes hipóteses de determinação da extensão total na força máxima são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Medição com paquímetro na força máxima: valor médio dos resultados obtidos para a extensão total na força máxima em varão de aço A400 NR SD

Tipo de aço	Diâmetro (mm)	A_{gt} Manual ⁽¹⁾ (%)	A_{gt} M300 ⁽²⁾ (%)	A_{gt} EQ 50 ⁽³⁾ (%)	A_{gt} $F_{máx}$ ⁽⁴⁾ (%)
A400 NR SD	16	15,2	13,4	13,4	13,4
	20	14,7	13,4	13,6	13,4

⁽¹⁾ Extensão total na força máxima - método manual

⁽²⁾ Extensómetro INSTRON M300 - método automático

⁽³⁾ Extensómetro EPSILON - método automático

⁽⁴⁾ Extensão na força máxima de ensaio - método manual

5. CONCLUSÕES

O estudo realizado permitiu avaliar a influência associada aos métodos de medição manual e automático da grandeza extensão total na força máxima no ensaio de tração de varões de aço para betão armado, condição que é particularmente relevante para o processo de classificação da ductilidade destes materiais estruturais, em particular, no contexto de avaliação da conformidade, sobretudo, quando são obtidos valores que se situam na proximidade dos limites de transição entre classes, definidas nas Especificações Técnicas do Produto.

A análise dos resultados obtidos a partir da determinação da extensão total na força máxima com a instalação dos extensómetros no centro do provete permite concluir que os valores obtidos pelo método manual são, de modo geral, sempre superiores aos valores obtidos pelo método automático. A realização destes ensaios permitiu esclarecer que a principal razão para a existência desta diferença significativa de valores é o facto da extensão total na força máxima ser determinada em diferentes estádios de deformação do provete de aço.

No que respeita à determinação da extensão total na força máxima através da medição da deformação do provete de aço na força máxima de ensaio de tração, os resultados obtidos demonstram que existe uma boa concordância entre a medição automática e a medição manual. Tal sucede porque a extensão total na força máxima é determinada no instante em que o provete tem imposta a mesma deformação.

A determinação, em paralelo, da extensão total na força máxima através dos dois métodos previstos na norma de referência permitiu ainda concluir que existe uma menor dispersão dos valores da extensão total na força máxima obtidos quando a medição é feita de forma automática. Para além do esclarecimento da origem das diferenças associadas ao método de ensaio, este estudo, ao recorrer a ambos os métodos de medição (automática e manual), garante ainda, de forma robusta, a validação dos dois equipamentos de medição automática (EPSILON e INSTRON) usados tendo em vista a sua incorporação no Sistema de Gestão da Qualidade da Unidade de Produtos Metálicos do LNEC-EM.

Constatou-se também, em face dos resultados obtidos para as medições efetuadas em diferentes zonas dos provetes, que a deformação dos provetes não é uniforme ao longo da sua zona útil, devido a possíveis heterogeneidades do material e da geometria do varão de aço ao longo do seu comprimento, o que se traduz num aumento da incerteza associada à estimativa da extensão total na força máxima.

Salienta-se ainda, que a campanha experimental deste estudo, visou essencialmente contribuir para a justificação das discordâncias atualmente existentes entre métodos de uma mesma norma de referência. Desta forma, considera-se que este estudo poderá promover a harmonização dos documentos normativos existentes sobre esta matéria e ainda apoiar outros estudos com vista à melhoria dos critérios de controlo utilizados no âmbito da certificação dos varões de aço para betão armado.

6. REFERÊNCIAS

- ISO 6892-1: International Organization for Standardization. 2009. Metallic materials – Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature.
- ISO 15630-1: International Organization for Standardization. 2010. Steel for the reinforcement and prestressing of concrete – Test methods – Part 1: Reinforcing bars, wire rod and wire.
- Especificação E 449. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2010. Varões de aço A400 NR para armaduras de betão armado – Características, ensaios e marcação.
- Especificação E 450. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2010. Varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado – Características, ensaios e marcação.
- Especificação E 455. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2010. Varões de aço A400 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado – Características, ensaios e marcação.
- Especificação E 456. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2011. Varões de aço A500 ER para armaduras de betão armado – Características, ensaios e marcação.
- Especificação E 460. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2010. Varões de aço A500 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado – Características, ensaios e marcação.