

2.º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

Lisboa • LNEC • 21 a 23 de novembro de 2016

EXTENSÃO TOTAL NA FORÇA MÁXIMA DE VARÕES DE AÇO COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE DIFERENTES MÉTODOS DE ENSAIO

Ana Sofia Louro

Doutorada, LNEC, analouro@lnec.pt

João Filipe

Mestre, LNEC, jfilipe@lnec.pt

Ricardo Mendes

Mestre, LNEC, rmendes@lnec.pt

António Manuel Baptista

Doutorado, LNEC, ambaptista@lnec.pt

Resumo

O presente artigo apresenta uma comparação entre resultados de extensão total na força máxima obtidos pelo LNEC e pelos fabricantes de produtos de aço para betão armado em ensaios de provetes de um mesmo lote, realizados no âmbito das ações de acompanhamento da certificação desses produtos. Posteriormente, as diferenças entre estes resultados são confrontadas com as obtidas no âmbito de um estudo realizado no LNEC, em que se avaliou a influência do método de determinação dos valores de extensão total na força máxima obtidos num mesmo provete através de dois métodos diferentes. Este estudo envolveu a realização de 310 ensaios de tração em varões de aço, de 5 classes de resistência e 9 diâmetros diferentes. Por fim, discute-se a origem das diferenças que sistematicamente se verificam em ensaios realizados em provetes com a mesma proveniência, e apresentam-se sugestões sobre uma possível revisão das normas de ensaio aplicáveis.

Palavras-chave: Varões de aço / Extensão total na força máxima / Medição manual / Medição por extensómetro

Introdução

A ductilidade dos elementos estruturais constitui um requisito básico para diversas metodologias de análise e dimensionamento de estruturas como sejam, por exemplo, a análise elástica com redistribuição de esforços e a análise plástica.

O conceito de ductilidade de um elemento define-se como sendo a capacidade do elemento dissipar energia de uma forma estável e controlada, de forma a explorar o regime elastoplástico do material, isto é, a capacidade do material para suportar grandes deformações sem perda de capacidade resistente, evitando-se assim uma rotura frágil (Pipa, M., 1993).

Ao longo da evolução dos regulamentos de estruturas e da normalização dos produtos de aço (Louro, A. *et al*, 2002) tem sido dada cada vez mais importância a este parâmetro. Além disso, satisfazendo o Eurocódigo 2 (NP EN 1992-1-1, 2012) e o Eurocódigo 8 (NP EN 1998-1, 2013), os varões passaram a ser também caracterizados em termos da sua ductilidade.

Relativamente aos projetos de estruturas verifica-se que a ductilidade permite (Pipa, M., 1993):

- o uso de análises lineares elásticas de estruturas, uma vez que este tipo de análise pressupõe que a estrutura possui um certo nível de ductilidade em determinadas zonas, pois num determinado elemento de betão armado a distribuição real de esforços difere da distribuição assumida no dimensionamento, por via da fendilhação e conseqüente mudança de rigidez, o que leva a redistribuições de forças internas;
- recorrer a análises elastoplásticas perfeitas que assumem que a estrutura tem um patamar plástico infinito;
- a deteção do deficiente comportamento em serviço de uma estrutura, através da exibição de grandes deslocamentos.

No caso das estruturas de betão armado, a sua capacidade de deformação em regime plástico depende em grande parte da ductilidade das armaduras de aço, sendo que os varões de aço para betão armado se caracterizam essencialmente em termos da sua resistência e ductilidade. Estas características estão associadas à composição química, ao processo de fabrico e aos tratamentos após laminação. Atualmente existem no mercado varões de alta resistência laminados a quente ou endurecidos a frio, de ductilidade baixa, normal ou especial, e ainda com características de aderência normal ou alta.

Em geral, os produtos de aço laminados a quente e sujeitos a tratamento térmico (tipo *Tempcore*) caracterizam-se por possuírem uma resistência inferior e uma ductilidade mais elevada, do que os materiais obtidos por endurecimento a frio.

Tal como para a generalidade dos produtos metálicos, a caracterização mecânica dos varões de aço para betão armado, é feita recorrendo a um ensaio destrutivo denominado ensaio de tração, que permite avaliar um conjunto de propriedades essenciais para caracterizar o desempenho dos varões de aço para betão armado, em particular os varões de aço de ductilidade especial, como sejam:

- tensão de rotura, R_m ;
- tensão de cedência superior (ou, caso esta não exista, a tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2 %), R_{eH} ;
- relação entre os valores da tensão de rotura e da tensão de cedência (R_m/R_{eH}), obtida em cada ensaio;
- relação entre os valores da tensão de cedência obtidos em cada ensaio (em MPa) e o valor especificado para o valor característico da tensão de cedência ($R_{eH}/400$ ou $R_{eH}/500$);
- extensão total na força máxima, A_{gt} ;

O ensaio de tração de provetes retirados dos produtos de aço em avaliação permite assim quantificar dois parâmetros críticos para assegurar a ductilidade das armaduras de aço: a extensão total na força máxima, A_{gt} , e o coeficiente de endurecimento, obtido através da relação entre a tensão de rotura à tração (R_m) e a tensão de cedência superior (R_{eH}).

De acordo com a experiência acumulada no LNEC em mais de duas décadas de acompanhamento da certificação destes produtos, sabe-se que a extensão total na força máxima é, de entre as grandezas avaliadas no ensaio de tração, aquela que apresenta uma maior variabilidade, podendo o seu valor ser obtido por diferentes métodos previstos nos documentos normativos existentes.

Desta forma, o presente artigo apresenta uma comparação entre resultados de extensão total na força máxima obtidos pelo LNEC e pelos fabricantes de produtos de aço para betão armado em ensaios de provetes de um mesmo lote, realizados no âmbito das ações de acompanhamento da certificação desses produtos.

Posteriormente, as diferenças entre estes resultados são confrontadas com as obtidas no âmbito de um estudo realizado no LNEC, em que se avaliou a influência do método de determinação dos valores de A_{gt} obtidos num mesmo provete através de dois métodos diferentes (Mendes, R, 2016). Este estudo envolveu a realização de um total de 310 ensaios de tração em varões de aço, de 5 classes de resistência e 9 diâmetros diferentes.

Por fim, discute-se a origem das diferenças que sistematicamente se verificam em ensaios realizados em provetes com a mesma proveniência, e apresentam-se sugestões sobre uma possível revisão das normas de ensaio aplicáveis.

Métodos de determinação da extensão total na força máxima

Tendo em conta que não existe norma europeia harmonizada que permita a marcação CE dos varões de aço e que a Norma Europeia EN 10080 se encontra em desenvolvimento há mais de 20 anos, o LNEC iniciou em 1998 a preparação de documentos nacionais para cada tipo de produto de aço para betão estrutural (Louro, A. *et al*, 2002). As Especificações LNEC vieram então definir as exigências aplicáveis em Portugal a cada um dos tipos de armaduras a classificar e passaram também a servir como documentos de referência para a certificação destes produtos.

Estas Especificações definem que o ensaio de tração de produtos de aço para betão armado deve ser realizado de acordo com a Norma Internacional ISO 15630-1. Por sua vez, esta norma indica que a determinação da extensão total na força máxima deve ser efetuada segundo a Norma Internacional ISO 6892-1, através de um dos seguintes métodos:

- Determinação através da medição da deformação do provete após a sua rotura (método manual);
- Determinação através do diagrama tensão-extensão (método automático).

O primeiro método previsto baseia-se na medição manual da deformação permanente sofrida pelo provete durante o ensaio num determinado comprimento de referência, definido por marcas traçadas na superfície do provete antes de se iniciar o ensaio.

No segundo caso, a determinação da extensão total na força máxima é feita de forma automática a partir do registo força-deformação, obtido ao longo do ensaio com recurso a um extensómetro colocado sobre o provete.

Embora em caso de disputa, a extensão total na força máxima deva ser determinada a partir da determinação manual da extensão após rotura, de acordo com os documentos normativos aplicáveis, as visitas às fábricas efetuadas pelo LNEC permitem constatar que os fabricantes, no âmbito dos ensaios de rotina para o controlo interno da produção dos varões de aço, recorrem frequentemente ao cálculo automático desta grandeza, através do diagrama tensão-extensão.

Método manual

A norma ISO 6892-1 faz referência no seu Anexo I à possibilidade de se determinar a extensão na força máxima através do método manual. Este método consiste em medir, na parte mais longa do provete fraturado num ensaio de tração, a extensão permanente na força máxima A_g , a partir da qual é calculada a extensão total na força máxima A_{gt} .

Para que tal seja possível, antes de se realizar o ensaio efetuam-se, através da utilização de equipamento adequado (Figura 1), marcações equidistantes ao longo da zona útil do provete, devendo a distância entre duas marcas consecutivas ser igual a um submúltiplo do comprimento inicial entre referências (L'_0).

A marcação dos comprimentos entre referências deverá ser feita com uma tolerância de $\pm 0,5$ mm. O comprimento entre referências (L'_0) é função do valor da extensão total e , no caso de varões para betão armado, deve ser igual a 100 mm.

Para medição do comprimento final após rotura (L'_u) recorre-se à utilização de um paquímetro, sendo a medição feita na parte mais longa do provete fraturado e com uma tolerância de $\pm 0,5$ mm, conforme se apresenta na Figura 2. Para que a medição possa ser considerada válida de acordo com o disposto na norma (ISO 6892-1, 2009), é necessário que os limites da zona de medição se encontrem localizados a uma distância de pelo menos 50 mm ou $2d$ da secção de rotura, e a uma distância de pelo menos 20 mm ou d da garra mais próxima.



Figura 1: Máquina de marcação equidistante ao longo da zona útil dos provetes



Figura 2: Medição do comprimento final após rotura recorrendo à utilização de um paquímetro

Desta forma, a extensão permanente na força máxima, A_g , expressa em percentagem, é calculada através da seguinte equação:

$$A_g = \frac{L'_u - L'_0}{L'_0} \times 100 \quad (1)$$

em que:

A_g representa a extensão permanente na força máxima;

L'_u representa o comprimento final entre referências para a determinação do A_g ;

L'_0 representa o comprimento inicial entre referências para a determinação do A_g .

Portanto, para se obter a extensão total na força máxima, A_{gt} , expressa em percentagem, é necessário adicionar a extensão elástica, pelo que se recorre à seguinte equação:

$$A_{gt} = A_g + \frac{R_m}{E} \times 100 \quad (2)$$

em que:

A_{gt} representa a extensão total na força máxima;

R_m representa a tensão máxima registada no decorrer do ensaio, em MPa;

E , representa o módulo de elasticidade do material: 200 GPa no caso de varões para betão armado.

Método automático

A determinação da extensão total na força máxima através deste método consiste no registo do diagrama tensão-extensão ao longo de todo o ensaio, e na posterior leitura, neste diagrama, da deformação correspondente à força máxima. O registo do diagrama tensão-extensão pode ser efetuado analogicamente ou através de um sistema de aquisição de dados, com posterior tratamento, através de um *software* de cálculo, da informação recolhida.

Ao recorrer-se à utilização de um extensómetro manual ou automático (Figura 3) para o cálculo da extensão total na força máxima, este deve possuir um comprimento de base de pelo menos 100 mm para varões de aço para betão armado e existem diferentes modos de obter a extensão total na força máxima, sendo que cada um deles pode conduzir a valores bastante diferentes de A_{gt} , conforme se descreve detalhadamente no artigo de Baptista *et al*, 2016.

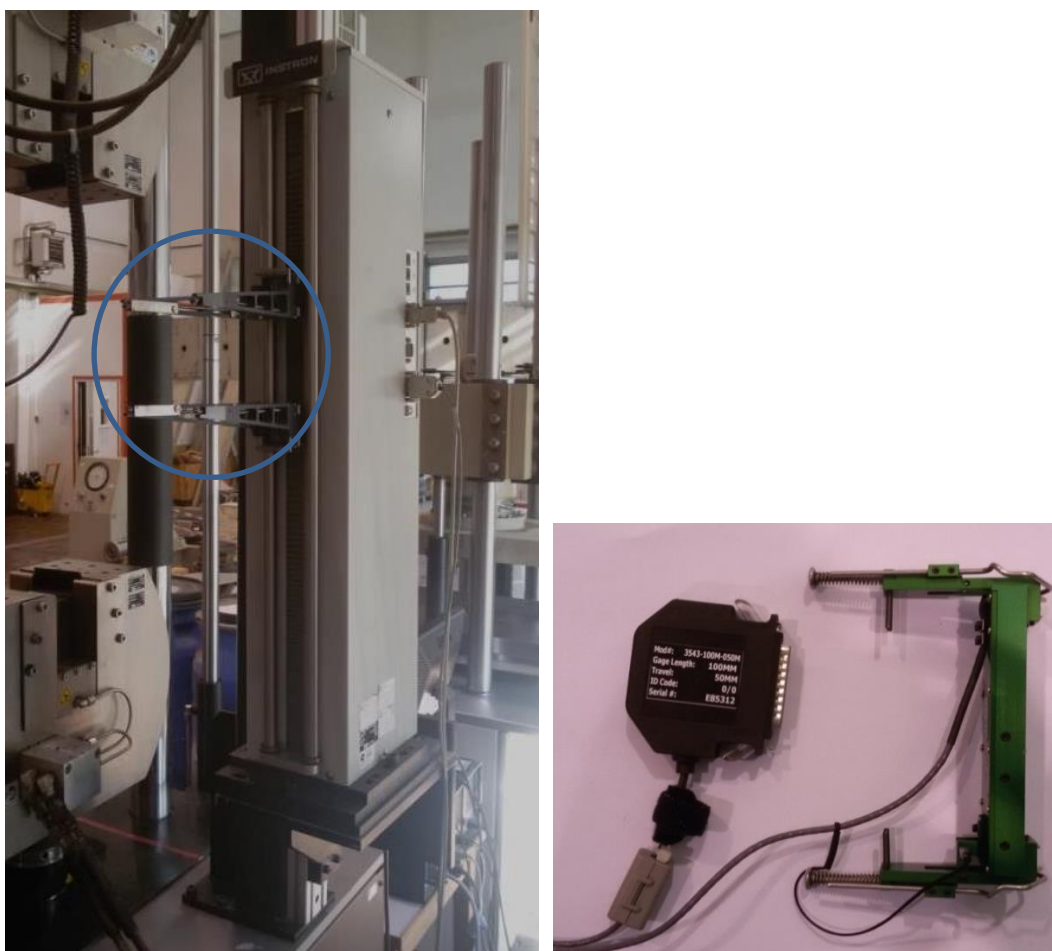


Figura 3: Extensómetro automático M300 (à esquerda) e extensómetro manual EQ50 (à direita)

Apresentação e análise dos resultados obtidos

Tendo em vista a caracterização do nível de diferença entre os valores de A_{gt} que frequentemente se verificam através dos dois métodos referidos, apresenta-se nos pontos seguintes a análise dos resultados obtidos, pelo LNEC e pelos fabricantes, durante as ações de acompanhamento da certificação de varões de aço das classes A400 NR SD e A500 NR SD.

Analisam-se também os resultados obtidos em 210 ensaios de varões de aço das classes A400 NR SD e A500 NR SD, no âmbito de um trabalho experimental desenvolvido no LNEC, com o objetivo de verificar se uma parte das diferenças que sistematicamente se registam poderão estar associadas ao método de ensaio.

Origem dos resultados do estudo

Resultados obtidos pelo LNEC e pelos fabricantes

Para a análise da relação entre os valores da extensão total na força máxima (A_{gt}) obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC para varões de aço da classe A400 NR SD, foi utilizado um total de 4748 resultados de ensaios de tração, incluindo 2374 resultados de ensaios obtidos pelos fabricantes e 2374 resultados de ensaios obtidos pelo LNEC. No caso dos varões A500 NR SD, foi utilizado um total de 4434 resultados de ensaios de tração, incluindo 2217 resultados de ensaios obtidos pelos fabricantes e 2217 resultados de ensaios obtidos pelo LNEC.

Assinala-se ainda que os resultados utilizados nesta análise são provenientes de varões produzidos por 6 fabricantes de varões de aço da classe A400 NR SD, e por 7 fabricantes de varões de aço da classe A500 NR SD; os resultados obtidos para os varões de aço das duas classes de resistência dizem respeito a varões com diâmetros entre 6 mm e 40 mm (com exceção de varões com 14 mm de diâmetro), embora no estudo apenas se apresentem as distribuições de resultados para alguns destes diâmetros, para cada uma das duas classes de resistência dos varões.

Resultados obtidos pelo LNEC através da medição manual e da medição por extensómetro

Para a análise da relação entre os valores da extensão total na força máxima (A_{gt}) obtidos pelo LNEC para varões de aço da classe A400 NR SD, através da utilização de um extensómetro e através da determinação manual desta característica, foi utilizado um total de 281 resultados de ensaios de tração válidos, que incluem 94 resultados obtidos, num conjunto de 100 provetes, através do extensómetro M300 (Figura 3), 93 resultados obtidos, no mesmo conjunto de 100 provetes, através do extensómetro EQ50 (Figura 3), e 94 resultados obtidos nesses 100 provetes através da determinação manual de A_{gt} . No caso dos varões A500 NR SD, foi utilizado um total de 312 resultados de ensaios de tração válidos realizados pelo LNEC, que incluem 104 resultados obtidos através do extensómetro M300, num conjunto de 110 provetes, 104 resultados obtidos através do extensómetro EQ50, no mesmo conjunto de 100 provetes, e 104 resultados obtidos nesses 110 provetes através da determinação manual da extensão total na força máxima (A_{gt}).

Refere-se ainda que os resultados utilizados nesta última análise são provenientes de varões produzidos por 5 fabricantes de varões de aço da classe A400 NR SD, com diâmetros de 10 mm, 12 mm, 16 mm, 20 mm e 25 mm, e por 6 fabricantes de varões de aço da classe A500 NR SD, com diâmetros de 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm e 25 mm.

Resultados obtidos

Nas figuras 4 a 21 apresentam-se as distribuições dos resultados da relação entre a extensão total na força máxima obtida pelos fabricantes e pelo LNEC ($A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$) para provetes retirados de um mesmo varão, bem como as distribuições de resultados da relação entre a extensão total na força máxima obtida pelo método automático (extensómetro) e pelo método manual ($A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$).

Os valores do desvio-padrão obtidos para os resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ apresentam algum nível de variação, situando-se entre cerca de 0,034 e 0,127. O facto de alguns destes valores do desvio-padrão terem sido calculados para amostras de resultados relativamente pequenas, pode ter levado a que os valores obtidos tenham alguma variação; no caso das amostras com uma menor quantidade de resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, os valores obtidos para o desvio-padrão são menores que os valores obtidos para as distribuições em que se consideraram um maior número de resultados.

Verifica-se também que os valores médios e do desvio-padrão das distribuições de resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ para os varões de aço das classes A400 NR SD (Figura 5) e A500 NR SD (Figura 17) são praticamente idênticos entre si (média: $\approx 0,92$ e $\approx 0,91$; desvio-padrão: $\approx 0,103$ e $\approx 0,100$), o que parece indicar que independentemente da classe dos varões, a determinação de A_{gt} através de um extensómetro é, em termos médios, inferior em cerca de 10% do valor de A_{gt} determinado através da medição manual da deformação do provete.

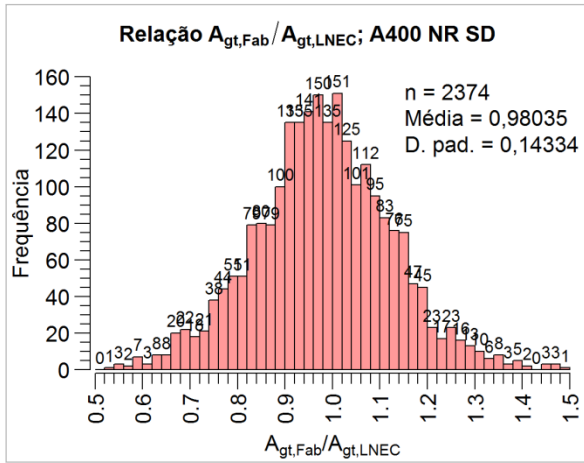


Figura 4: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A400 NR SD

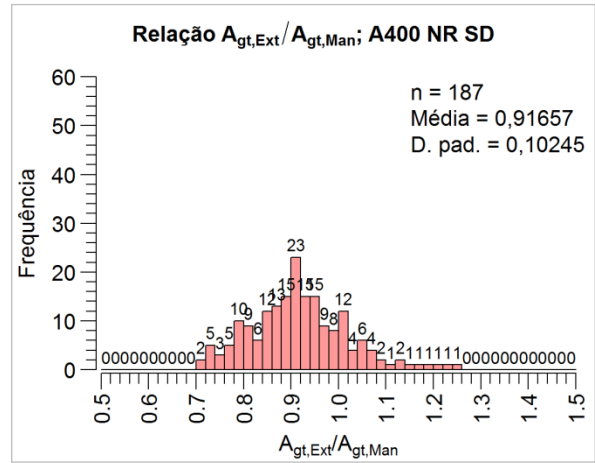


Figura 5: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A400 NR SD

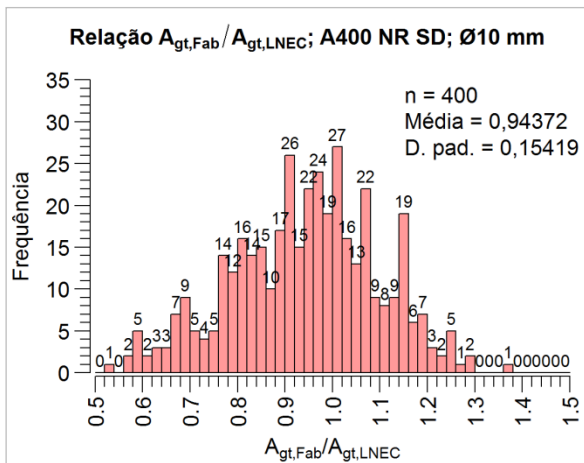


Figura 6: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 10 mm de diâmetro

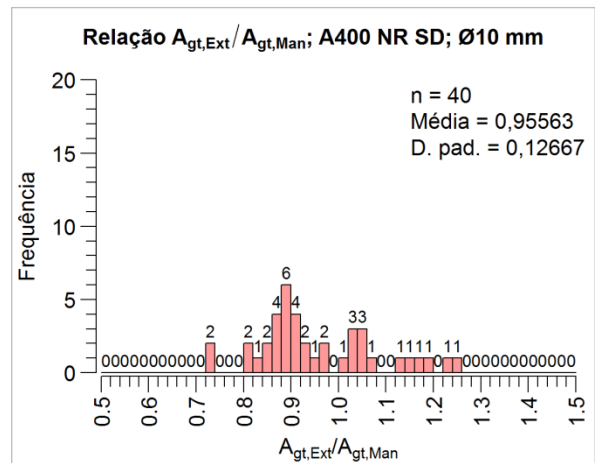


Figura 7: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 10 mm de diâmetro

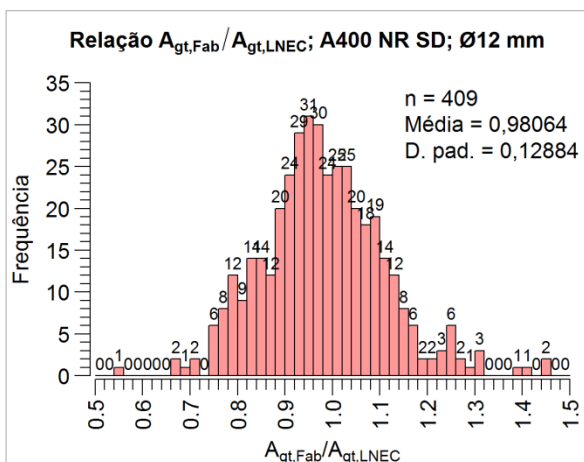


Figura 8: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 12 mm de diâmetro

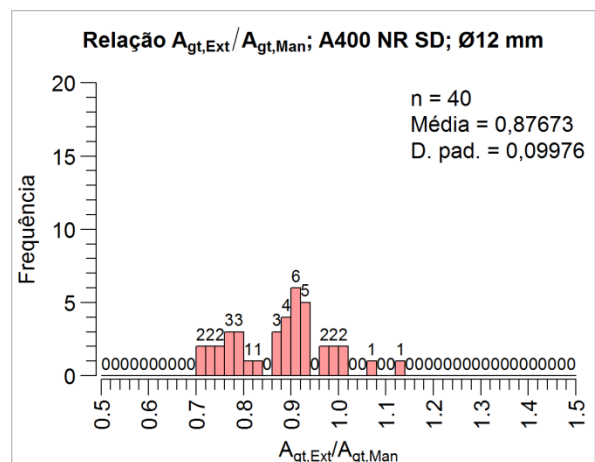


Figura 9: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 12 mm de diâmetro

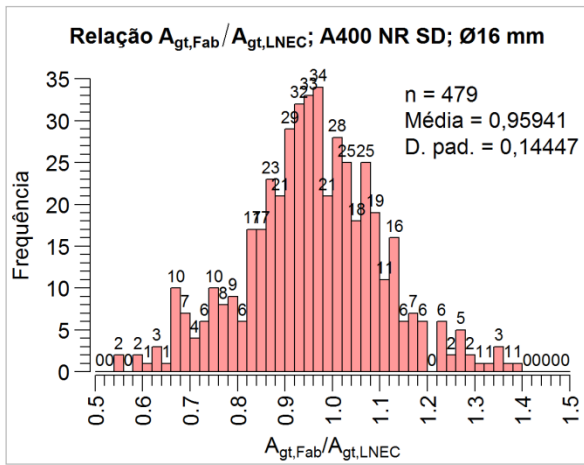


Figura 10: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 16 mm de diâmetro

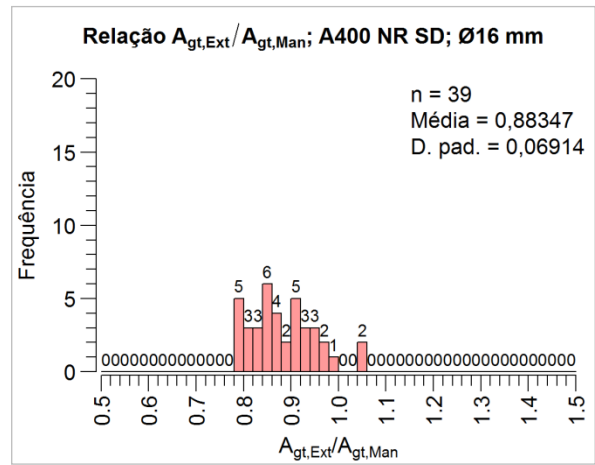


Figura 11: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 16 mm de diâmetro

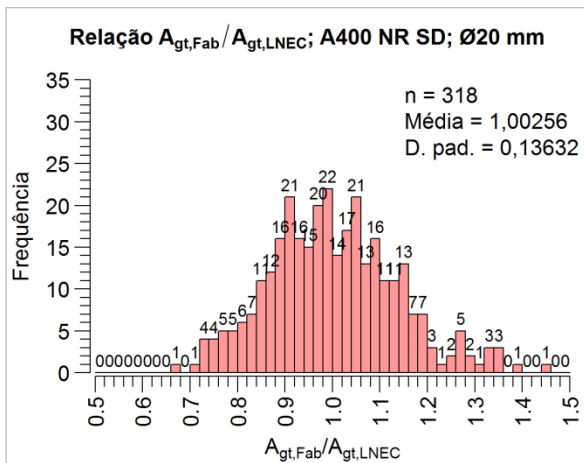


Figura 12: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 20 mm de diâmetro

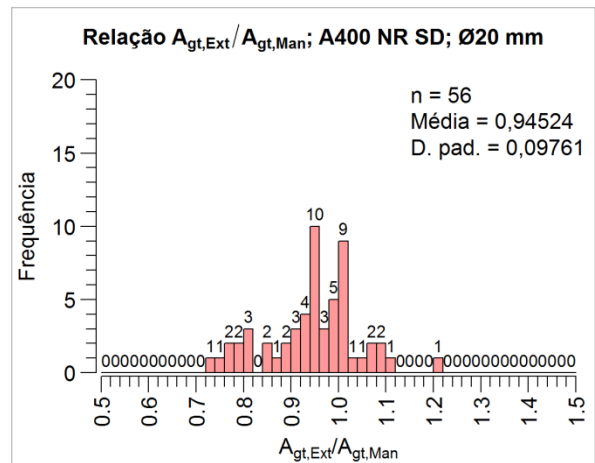


Figura 13: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 20 mm de diâmetro

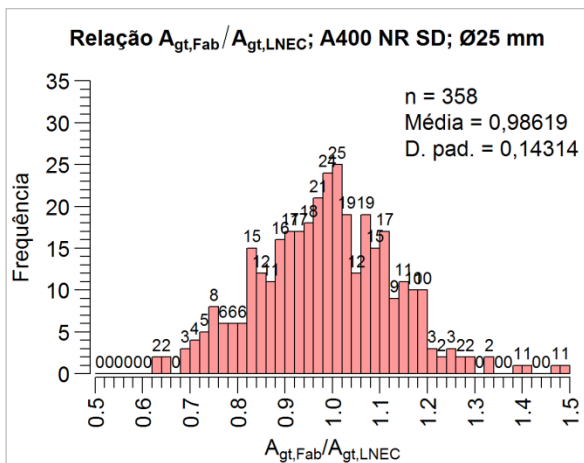


Figura 14: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 25 mm de diâmetro

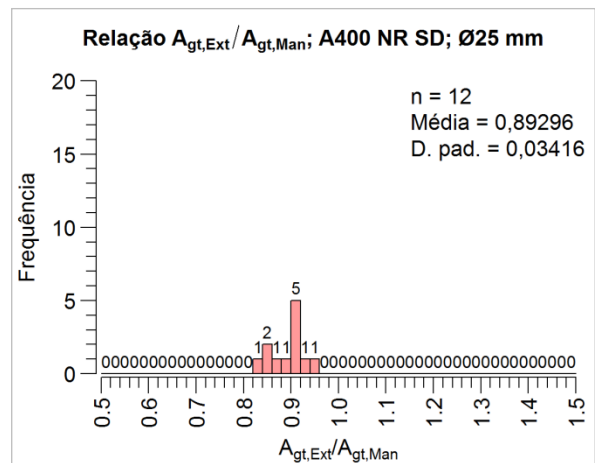


Figura 15: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A400 NR SD, com 25 mm de diâmetro

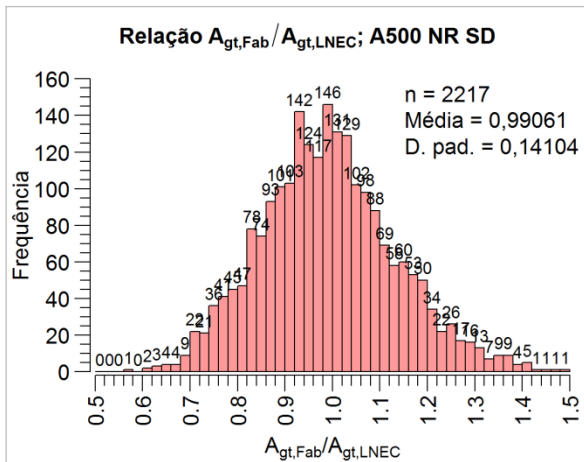


Figura 16: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A500 NR SD

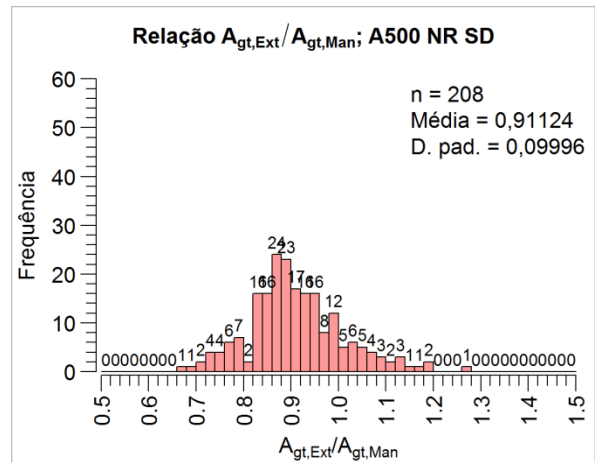


Figura 17: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A500 NR SD

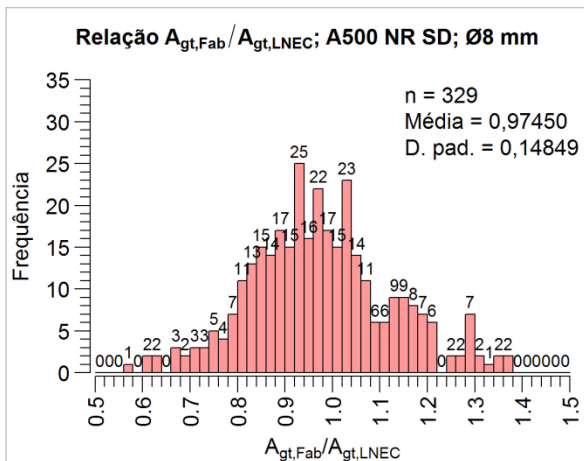


Figura 18: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 8 mm de diâmetro

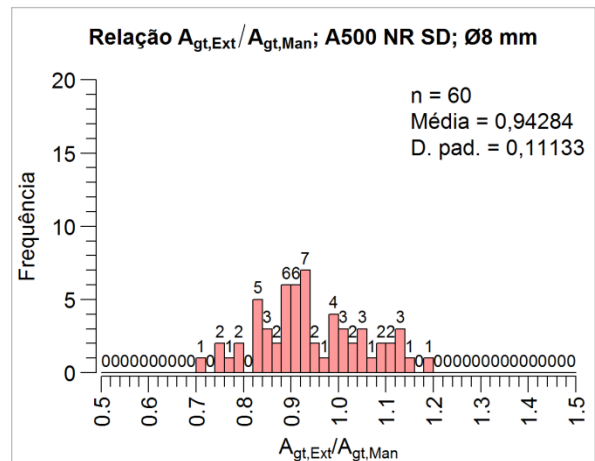


Figura 19: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 8 mm de diâmetro

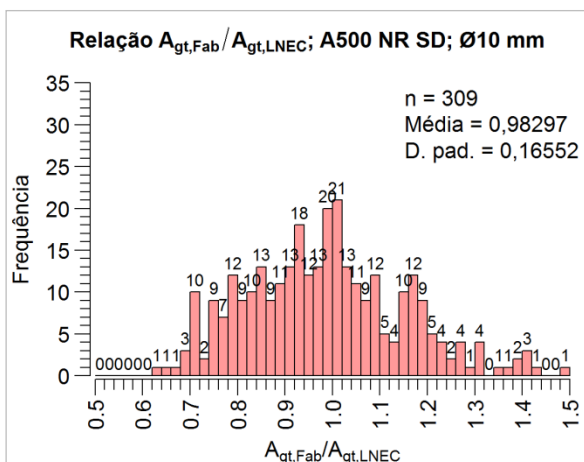


Figura 20: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 10 mm de diâmetro

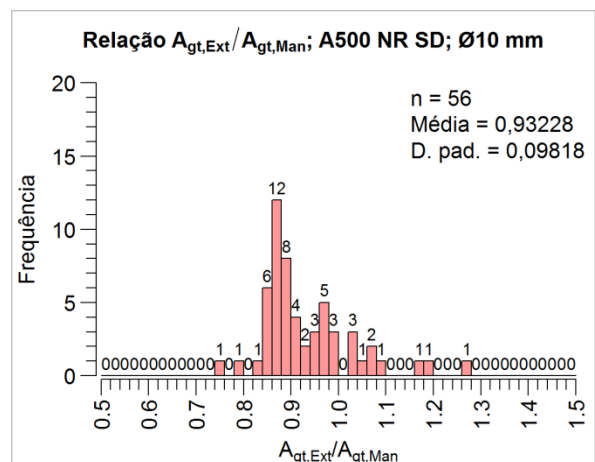


Figura 21: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 10 mm de diâmetro

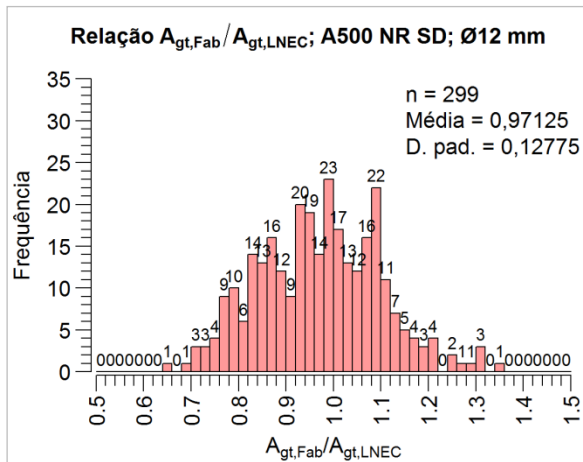


Figura 22: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 12 mm de diâmetro

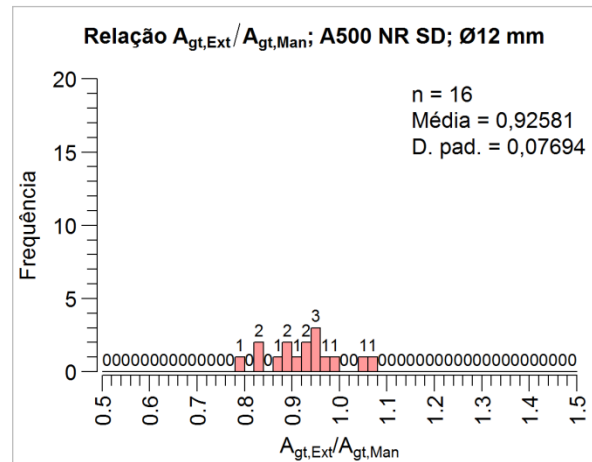


Figura 23: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 12 mm de diâmetro

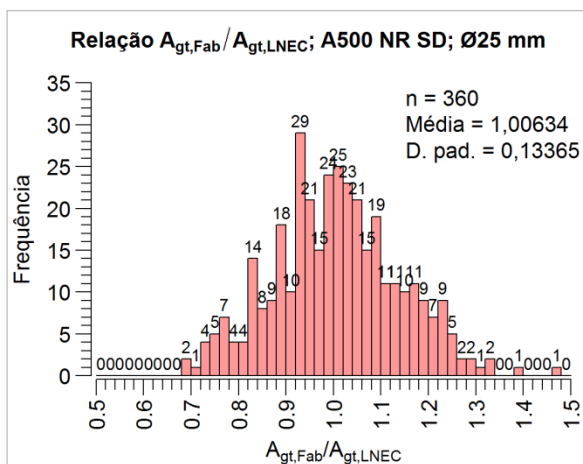


Figura 24: Valores de $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 25 mm de diâmetro

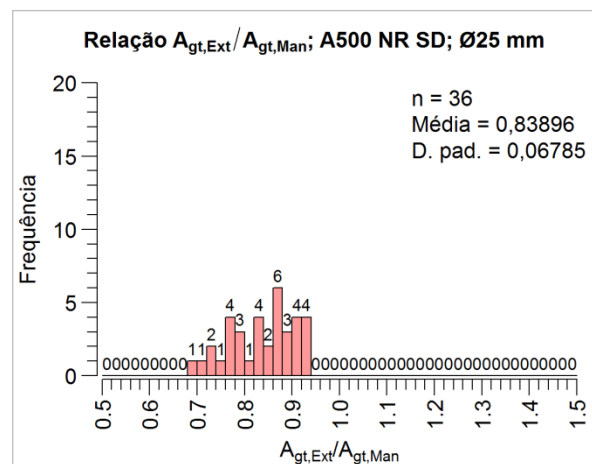


Figura 25: Valores de $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, obtidos para varões A500 NR SD, com 25 mm de diâmetro

Os valores médios de todas as distribuições dos resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, compreendidos entre cerca de 0,84 e 0,96, situam-se abaixo do valor unitário, o que significa que o valor da extensão total na força máxima, A_{gt} , obtido através da medição manual da deformação do provete é, na maioria dos casos considerados, superior ao valor dessa propriedade mecânica (A_{gt}) obtido para o mesmo provete, com recurso à utilização de um extensómetro.

É o caso de aproximadamente 80% dos resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ obtidos para os varões de aço da classe A400 NR SD (Figura 5), e o caso de cerca de 85% dos resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ obtidos para os varões de aço da classe A500 NR SD (Figura 17). No caso das distribuições de resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ obtidos para varões de apenas um diâmetro (da mesma classe de resistência), a quantidade de resultados desta relação que se situa abaixo do valor unitário, encontra-se entre os 65% e os 100%.

No caso da variação dos resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ em função do diâmetro dos varões, este parâmetro parece ter alguma influência devido à dispersão de resultados (valores médios entre 0,84 e 0,96), embora não se consiga estabelecer qualquer relação entre os dois métodos de determinação da extensão total na força máxima, A_{gt} ; uma vez mais, para este facto poderá ter contribuído a pequena dimensão das amostras de resultados consideradas para as distribuições dos valores de A_{gt} em função do diâmetro do varão, para qualquer uma das duas classes de resistência (amostras entre 12 a 60 resultados).

No que se refere aos resultados obtidos para a relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, verifica-se que os valores médios das distribuições destes valores, entre cerca de 0,97 e 1,01, em função da classe de resistência ou do diâmetro dos varões, se situam novamente, na quase totalidade dos casos, abaixo do valor unitário, o que confirma que os valores de A_{gt} obtidos pelo LNEC (através da medição manual da deformação do provete são, em geral, superiores aos valores de A_{gt} obtidos pelos fabricantes (habitualmente através da medição por um extensómetro); apenas no caso das distribuições de resultados obtidos para os varões de aço A400 NR SD com 20 mm de diâmetro e para os varões de aço A500 NR SD com 25 mm de diâmetro, os valores médios da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ se situam ligeiramente acima do valor unitário ($\approx 1,00$ e $\approx 1,01$). Entretanto, o facto de se estarem a considerar distribuições de maiores quantidades de resultados parece fazer convergir o valor médio de cada distribuição de resultados da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ para o valor unitário.

Ao contrário das distribuições de resultados obtidos para a relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, as quantidades de resultados da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ que se situam abaixo do valor unitário são mais baixas, encontrando-se entre aproximadamente 49% e 63% do total de resultados da respetiva distribuição; as quantidades de resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, abaixo do valor unitário encontram-se entre os 65% e os 100% do total de resultados considerados para cada distribuição.

Por sua vez, os valores obtidos para o desvio-padrão das diferentes distribuições de resultados da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, encontram-se entre 0,128 e 0,166, aproximadamente. Por um lado, este intervalo de variação dos valores do desvio-padrão é menor em comparação com o intervalo de resultados do desvio-padrão obtido para as distribuições de valores da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ (entre 0,034 e 0,127); por outro lado, os valores do desvio-padrão obtidos para as distribuições de resultados da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ são bastante superiores aos valores do desvio-padrão obtidos para as distribuições de resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$.

Porém, neste caso há que considerar o facto de existir uma dúvida muito maior na comparação dos resultados obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, devido à maior quantidade de incertezas associadas à determinação de A_{gt} (Baptista *et al*, 2016) por cada uma das diferentes entidades (diferentes equipamentos, diferentes procedimentos de ensaio, etc).

Verifica-se também que, à semelhança do que acontece com a relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$, o valor médio da distribuição de resultados da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ obtidos para os varões de aço A400 NR SD (Figura 4), de cerca de 0,98, é quase igual ao valor médio da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ obtido para os varões de aço A500 NR SD (Figura 16), de aproximadamente 0,99, o que indicia uma vez mais que não se verifica qualquer diferença entre estas duas classes de varões de aço.

No caso da distribuição de resultados da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ em função do diâmetro, uma vez mais este parâmetro parece ter alguma influência, como no caso dos resultados da relação $A_{gt,Ext}/A_{gt,Man}$ (valores médios entre 0,84 e 0,96). Os valores médios desta relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$ situam-se entre aproximadamente 0,94 e 1,01, embora também não se consiga estabelecer uma relação entre as diferenças no método de determinação em função do diâmetro do varão.

Porém, assinala-se que os maiores valores médios das distribuições de resultados da relação $A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$, foram obtidos para os varões de aço com diâmetros superiores; entre 0,99 e 1,01 para varões com diâmetros de 20 mm e 25 mm, e entre 0,94 e 0,98 para varões com diâmetros compreendidos entre 8 mm e 16 mm. Este facto parece indicar que a escolha do método de determinação da extensão total na força máxima, A_{gt} , (medição manual ou por extensómetro) tem maior influência no caso dos varões com diâmetros pequenos, em relação aos varões com maiores diâmetros.

Conclusões

A comparação de resultados obtidos pelo LNEC e pelos fabricantes permite concluir que, de um modo geral, existe a mesma tendência encontrada no estudo desenvolvido pelo LNEC para avaliar a influência do método de ensaio. Importa salientar que, na análise dos resultados obtidos pelo LNEC e pelos fabricantes, existem mais fontes de incerteza do que no estudo controlado (Baptista *et al*, 2016), pelo que é natural que, em algumas circunstâncias, a influência do método de ensaio não seja tão evidente.

A clarificação da influência do método, bem como da influência de outras variáveis, como por exemplo o diâmetro, é fundamental para a validação do controlo interno feito pelos fabricantes. Tal só é possível através da caracterização/conhecimento das diferenças aceitáveis e imputáveis à heterogeneidade do produto, tendo em vista a definição de critérios que permitam controlar cada vez mais e melhor a produção.

Desta forma, este estudo reforça a necessidade de se fazer convergir as duas metodologias de determinação da extensão total na força máxima previstas nas normas de referência, considerando-se extremamente útil e necessário o desenvolvimento de estudos que permitam aproximar os resultados obtidos pelos dois métodos, tais como os que se descrevem no artigo (Baptista *et al*, 2016).

Referências bibliográficas

- BAPTISTA, A.M., *et al*, 2016 – **Extensão total na força máxima de varões de aço, Alteração do método da sua determinação através de um extensómetro**, QIC2016 – 2º Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, Lisboa, LNEC, 12 p.
- E 460:2010 – **Varões de aço A500 NR SD de ductilidade especial para armaduras de betão armado, Características, ensaios e marcação**, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- EN 10080:2005 - **Steel for the reinforcement of concrete – Weldable reinforcing steel**, Comité Européen de Normalisation (CEN), 74 p.
- EN ISO 6892-1:2009 – **Metallic materials, Tensile testing, Part 1: Method of test at room temperature**, Comité Européen de Normalisation (CEN), 70 p.
- FILIFE, J., *et al*, 2014 – **Influência do método de ensaio nos valores da extensão total na força máxima em varões de aço para betão armado**, JPEE 2014 – 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Lisboa, LNEC, 15 p.
- LOURO, A. *et al*, 2002 – **Qualidade dos aços para betão em Portugal. Normalização e Certificação**, ESTRUTURAS 2002 - Congresso Nacional da Engenharia de Estruturas - Os Novos Desafios na Qualidade das Obras, Lisboa, LNEC, 10 p.
- MENDES, R., 2016 – **Ductilidade das Armaduras de Aço para Betão Armado – Influência do Método de Ensaio na Determinação da Extensão Total na Força Máxima**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Especialidade de Estruturas, submetida no Instituto Politécnico de Setúbal.
- NP EN 1992-1-1:2010 – **Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios**, 259 p.
- NP EN 1998-1:2013 – **Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos; Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios**; 230 p.
- NP EN ISO 15630-1:2012 – **Aços para armaduras de betão armado e pré-esforçado; Métodos de ensaio; Parte 1: Varões, fio máquina e fio para betão armado**, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 27 p.
- NP EN ISO 6892-1:2009 – **Materiais metálicos, Ensaio de tracção, Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente**, Instituto Português da Qualidade (IPQ), 75 p.
- PIPA, M., 1993 – **Ductilidade de elementos de betão armado sujeitos a ações cíclicas. Influência das características mecânicas das armaduras**, Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa.