

Distribuição estatística da área da secção transversal dos varões A500 NR para armaduras de betão armado em Portugal

Statistical distribution of the cross-sectional area of A500 NR steel bars for reinforced concrete in Portugal

António Manuel Baptista
João Filipe

Resumo

A área da secção transversal dos varões de aço constitui um dos parâmetros necessários à verificação da segurança das estruturas em betão armado. Aquando da realização de determinados estudos sobre estas estruturas, tais como a avaliação do seu grau de fiabilidade, pode ser útil conhecer o valor real da referida área, bem como a sua distribuição estatística. Essa distribuição pode variar em função dos procedimentos de ensaio utilizados na sua quantificação e dos processos de produção dos varões.

Este artigo apresenta um estudo estatístico da informação sobre a área da secção transversal dos varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado, recolhida pelo LNEC no âmbito do controlo periódico deste tipo de produto.

Com base em cerca de 15 000 resultados estabelecem-se comparações entre distribuições estatísticas referentes a varões com cada um dos diâmetros utilizados em Portugal, e procede-se a uma análise da sua conformidade com as exigências normativas aplicáveis.

Abstract

The cross-sectional area of the steel bars is one of the parameters necessary for the reinforced concrete structures safety checking. When carrying out some studies, such as the assessment of the reliability degree of this type of structures, the real value of such area is required, including its statistical distribution. This distribution may vary, depending on the test procedures and on the production processes of the steel bars.

This paper presents a statistical study of the information on the cross-sectional area of the A500 NR steel bars used in Portugal for reinforced concrete, collected by LNEC in the frame of the periodic control of this type of product.

Based on about 15 000 results used in this study, comparisons are made between statistical distributions referring to bars with each one of the diameters used in Portugal, and a conformity analysis to the appropriate normative requirements is presented.

Palavras-chave: Betão armado / Armaduras / Varões de aço A500 NR / Área da secção transversal / Análise estatística

Keywords: Reinforced concrete / Steel reinforcement / A500 NR steel bars / Cross-sectional area / Statistical analysis

António Manuel Baptista

Doutorado/Investigador Principal
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa, Portugal
ambaptista@lneec.pt

João Filipe

Mestre/Bolseiro LNEC
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa, Portugal
jfilipe@lneec.pt

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

BAPTISTA, António [et al.] – Distribuição estatística da área da secção transversal dos varões A500 NR para armaduras de betão armado em Portugal. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 6. ISSN 2183-8488. (março 2018) 99-112.

1 Introdução

A colocação no mercado de produtos em aço destinados a serem utilizados como armaduras para betão armado em Portugal depende da sua prévia Certificação por um organismo acreditado no âmbito do Sistema Português da Qualidade [1]. O LNEC assegura o apoio técnico ao controlo periódico do fabrico destes produtos que, por sua vez, permite validar os valores garantidos pelos fabricantes com base no seu controlo interno.

O controlo periódico dos varões de aço para estruturas de betão armado utilizados em Portugal, realizado na sequência das respetivas Ações de Acompanhamento da Certificação, envolve a análise dos valores da área da secção transversal (S_p) destes varões. Estes valores são obtidos no âmbito dos ensaios de verificação do produto realizados pelo fabricante dos varões, e dos ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC.

A experiência deste controlo tem revelado que os valores desta grandeza (S_p) podem variar ao longo do tempo, em função dos processos de produção dos varões utilizados por cada fabricante, podendo ainda ser influenciados pelo procedimento de ensaio utilizado na sua quantificação.

A área da secção transversal (S_p) dos varões de aço para armaduras constitui um dos parâmetros necessários à verificação da segurança dos elementos estruturais em betão armado. Habitualmente, os cálculos utilizados para este fim baseiam-se no valor nominal de S_p , estipulado na norma de produto dos varões de aço.

No entanto, aquando da realização de determinados estudos sobre estruturas de betão armado, tais como a avaliação do seu grau de fiabilidade, pode ser útil conhecer o valor real da área da secção transversal dos varões (S_p), bem como a sua distribuição estatística.

Na falta de informação experimental específica sobre a distribuição estatística da área da secção transversal dos varões de aço utilizados numa dada estrutura, torna-se vantajoso conhecer a distribuição estatística global desta propriedade, no conjunto dos varões de aço controlados, num determinado período, em Portugal.

Além disso, o conhecimento desta distribuição estatística permite verificar se os varões colocados no mercado respeitam as tolerâncias estabelecidas na norma de produto para a massa por metro linear dos varões.

Esta informação é importante para assegurar que os varões não apresentam uma resistência inferior à considerada no projeto, pelo facto de a sua secção transversal ser muito inferior ao respetivo valor nominal. Por outro lado, convém assegurar que o comprimento total dos varões de um lote com uma determinada massa fornecido para uma obra, por exemplo, não é inferior ao previsto na sua encomenda pelo facto de a sua secção transversal ser muito superior ao respetivo valor nominal.

O presente artigo apresenta um estudo estatístico da informação sobre os valores da área da secção transversal dos varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado obtida pelo LNEC no âmbito do controlo periódico deste tipo de produto.

Esta informação inclui os resultados obtidos em ensaios de verificação e de acompanhamento realizados pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC. Cada amostra ensaiada é recolhida em duplicado (uma para o Fabricante e outra para o LNEC) de um mesmo atado ou rolo de varões, numa das ações de acompanhamento semestral

da produção de cada um dos fabricantes dos varões de aço A500 NR utilizados em armaduras de betão armado em Portugal. As amostras analisadas foram recolhidas ao longo de duas décadas, entre 1995 e 2015.

Com base nos resultados deste estudo estabelecem-se comparações entre distribuições estatísticas de valores da área da secção transversal (S_o), obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC, referentes a varões com cada um dos diâmetros previstos na Especificação LNEC E 450 [2], e procede-se a uma análise da sua conformidade com as exigências normativas que lhes são aplicáveis.

São também apresentadas distribuições estatísticas da relação entre cada valor de S_o obtido no âmbito dos ensaios de verificação do produto, realizados pelo fabricante dos varões, e o valor de S_o obtido num provete retirado do mesmo varão, no âmbito dos ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC.

2 Requisitos normativos

A utilização em Portugal dos produtos de aço para armaduras de betão armado é regulada pelo REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado, Decreto-Lei n.º 349-C/83, de 30 de julho. Este Regulamento especifica os tipos de armaduras e as suas principais características, estipulando no artigo 23º a obrigatoriedade da sua prévia classificação pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [1].

A partir de 1998 foram sendo publicadas várias Especificações LNEC para produtos de aço destinados a serem utilizados como armaduras de betão armado, através das quais foram uniformizadas e atualizadas as condições a que estes produtos de aço devem satisfazer com vista à sua classificação. Estes documentos especificam, à luz dos conhecimentos e exigências existentes, as condições a que estes produtos devem satisfazer com vista ao cumprimento do REBAP, mas também outras disposições, nomeadamente, exigências de ductilidade, de soldabilidade e de resistência à fadiga, assim como as características geométricas das nervuras. Apresentam ainda o tipo de código utilizado na identificação do Fabricante e do país de origem [1].

Os requisitos normativos aplicáveis à área da secção transversal (S_o) dos varões de aço A500 NR, destinados a serem utilizados em armaduras para betão armado em Portugal, são estabelecidos na Especificação LNEC E 450 [2]. Os valores nominais de S_o estabelecidos neste documento para cada diâmetro de varão são indicados no Quadro II.

A Especificação LNEC E 450 [2] estipula ainda as tolerâncias mínima de -4,5% e máxima de +4,5% para a massa por metro linear dos varões, relativamente ao seu valor nominal.

O valor real da área da secção transversal de cada varão é determinado a partir dos valores medidos da massa e do comprimento de um provete de varão, adotando-se convencionalmente o valor de 7,85 kg/dm³ para a massa volúmica do aço. Consequentemente, as mesmas tolerâncias mínima de -4,5% e máxima de +4,5% são aplicáveis à área da secção transversal dos varões, relativamente ao seu valor nominal. Os valores mínimos e máximos de S_o , calculados com base nestas tolerâncias, são indicados no Quadro II e no Quadro III, respetivamente.

3 Apresentação dos resultados do estudo estatístico

Os resultados da análise estatística realizada são apresentados nos Quadros I a VI e nas Figuras 1 a 30.

O Quadro I apresenta a média e o desvio-padrão de cada um dos conjuntos de resultados de S_o , obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada um dos diâmetros de varões controlados.

Quadro I Média e desvio-padrão de cada um dos conjuntos de resultados de S_o , obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada um dos diâmetros de varões controlados

Diâmetro (mm)	S_o – Valor médio (mm²)		S_o – Desvio-padrão (mm²)	
	Fabricantes	LNEC	Fabricantes	LNEC
6	28,11	28,09	0,391	0,386
8	50,15	50,20	0,809	0,912
10	78,19	78,23	1,24	1,30
12	112,6	112,7	1,76	1,75
14	153,2	153,1	2,62	2,33
16	200,0	200,1	3,10	3,27
20	313,4	313,3	4,55	4,91
25	488,5	487,7	8,31	8,37
32	798,4	799,2	11,3	12,2
40	1267	1267	10,1	10,7

Os Quadros II e III, para além dos valores nominais de S_o referentes a cada um dos diâmetros de varões controlados, e dos respetivos limites mínimos ou máximos, apresentam ainda os valores mínimos ou máximos obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC, no conjunto da informação recolhida no âmbito deste trabalho.

Quadro II Valores nominais, limites mínimos, e valores mínimos de S_o obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada um dos diâmetros de varões controlados

Diâmetro (mm)	S_o (mm²)		S_o (mm²)	
	Especificação LNEC E 450		Valores mínimos medidos	
	Nominal	Mínimo	Fabricantes	LNEC
6	28,3	27,0	27,3	27,2
8	50,3	48,0	48,1	47,2
10	78,5	75,0	74,9	74,8
12	113	107,9	107,9	108,0
14	154	147,1	147,9	149,0
16	201	192,0	190,9	191,0
20	314	299,9	300,4	301,0
25	491	468,9	454,6	470,4
32	804	767,8	765,2	768,5
40	1257	1200	1242	1196

Quadro III Valores nominais, limites máximos, e valores máximos de S_o obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada um dos diâmetros de varões controlados

Diâmetro (mm)	S_o (mm ²) Especificação LNEC E 450		S_o (mm ²) Valores máximos medidos	
	Nominal	Máximo	Fabricantes	LNEC
6	28,3	29,6	28,8	28,8
8	50,3	52,6	52,4	52,4
10	78,5	82,0	82,0	82,9
12	113	118,1	118,0	125,9
14	154	160,9	159,6	159,5
16	201	210,0	217,6	217,0
20	314	328,1	326,8	329,0
25	491	513,1	512,4	512,3
32	804	840,2	834,4	836,0
40	1257	1314	1291	1286

Os Quadros IV e V, para além dos valores nominais de S_o referentes a cada um dos diâmetros de varões controlados, e dos respetivos limites mínimos ou máximos, apresentam ainda os valores característicos correspondentes aos quantilhos de 5% ou de 95% das distribuições globais dos valores de S_o obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC, no conjunto da informação recolhida no âmbito deste trabalho.

Quadro IV Valores nominais, limites mínimos, e valores característicos correspondentes ao quantilho de 5% das distribuições de valores de S_o obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC

Diâmetro (mm)	S_o (mm ²) Especificação LNEC E 450		S_o (mm ²) Valores característicos 5%	
	Nominal	Mínimo	Fabricantes	LNEC
6	28,3	27,0	27,4	27,4
8	50,3	48,0	48,8	48,6
10	78,5	75,0	76,1	76,0
12	113	107,9	109,6	109,7
14	154	147,1	148,3	148,7
16	201	192,0	194,8	194,6
20	314	299,9	305,6	304,9
25	491	468,9	474,3	473,4
32	804	767,8	778,6	777,9
40	1257	1200	1248	1247

Quadro V Valores nominais, limites máximos, e valores característicos correspondentes ao quantilho de 95% das distribuições de valores de S_o obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC

Diâmetro (mm)	S_o (mm ²) Especificação LNEC E 450		S_o (mm ²) Valores característicos 95%	
	Nominal	Máximo	Fabricantes	LNEC
6	28,3	29,6	28,9	28,8
8	50,3	52,6	51,5	51,8
10	78,5	82,0	80,3	80,4
12	113	118,1	115,6	115,6
14	154	160,9	158,1	157,5
16	201	210,0	205,2	205,6
20	314	328,1	321,2	321,7
25	491	513,1	502,7	502,0
32	804	840,2	818,1	820,4
40	1257	1314	1286	1287

Os histogramas das Figuras 1 a 20 apresentam as distribuições estatísticas dos valores de S_o referentes a cada um dos diâmetros de varões controlados: 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm, 32 mm e 40 mm.

Para cada um dos diâmetros são apresentadas, separadamente, as distribuições estatísticas dos resultados obtidos pelos fabricantes (Figuras com numeração ímpar) e dos resultados obtidos pelo LNEC (Figuras com numeração par).

Os histogramas das Figuras 21 a 30 apresentam as distribuições estatísticas dos valores da relação $S_{o,Fab}/S_{o,LNEC}$, entre os valores de S_o de cada varão amostrado, determinados pelo Fabricante e pelo LNEC (neste caso, sobre uma segunda amostra do mesmo varão).

As Figuras 1 a 30 exibem ainda o número de resultados considerados na análise estatística efetuada, com base na qual foi produzido cada histograma apresentado, bem como o valor médio \bar{x} e o desvio-padrão σ dos valores de S_o dessa amostra.

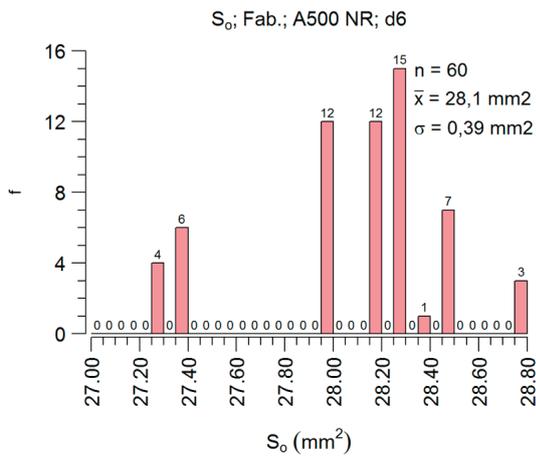


Figura 1 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 6 mm de diâmetro

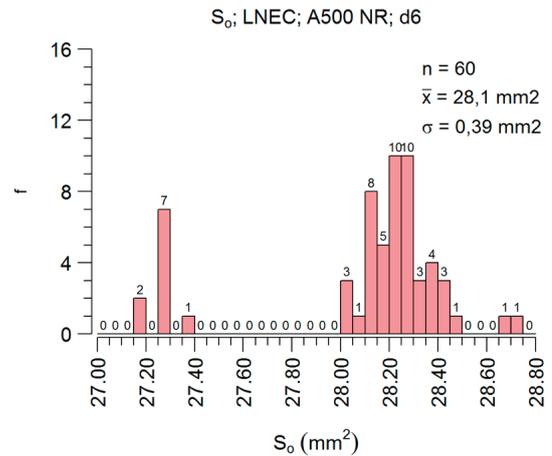


Figura 2 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 6 mm de diâmetro

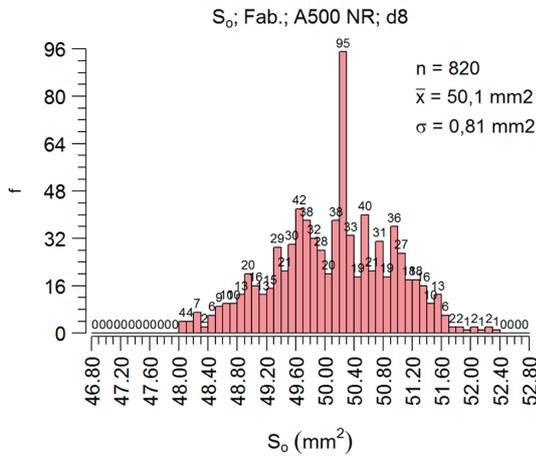


Figura 3 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 8 mm de diâmetro

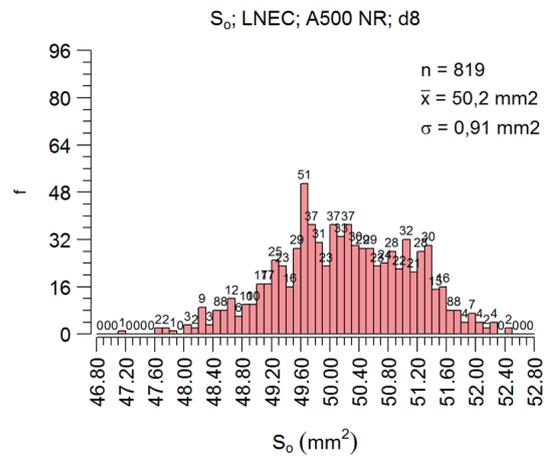


Figura 4 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 8 mm de diâmetro

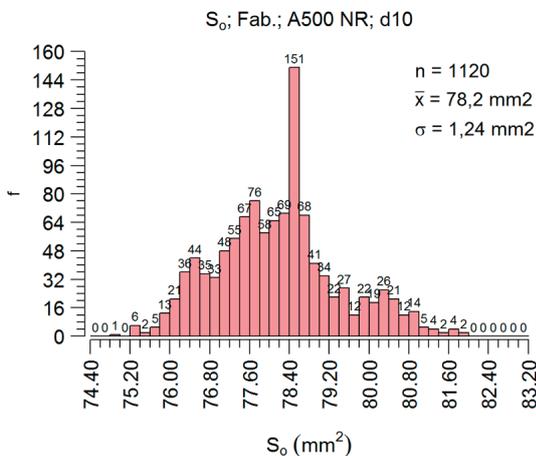


Figura 5 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 10 mm de diâmetro

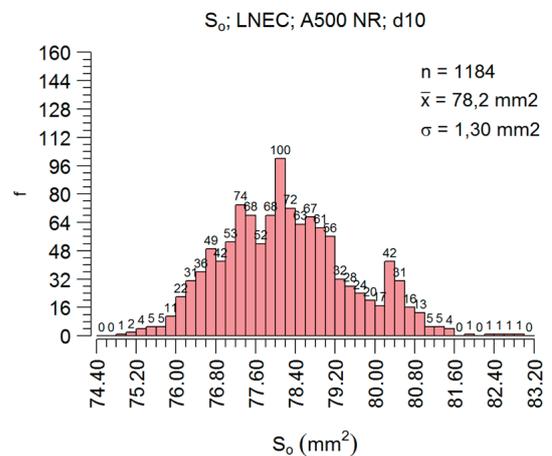


Figura 6 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 10 mm de diâmetro

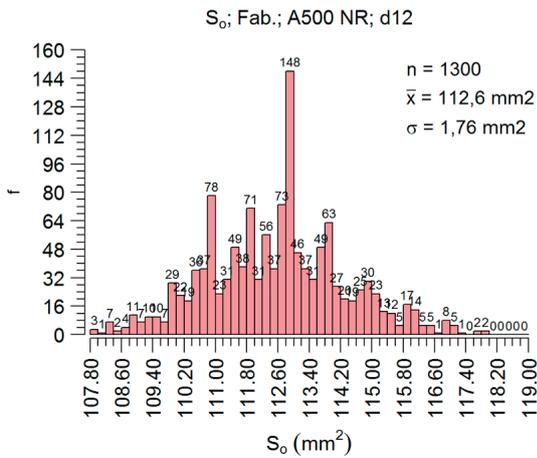


Figura 7 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 12 mm de diâmetro

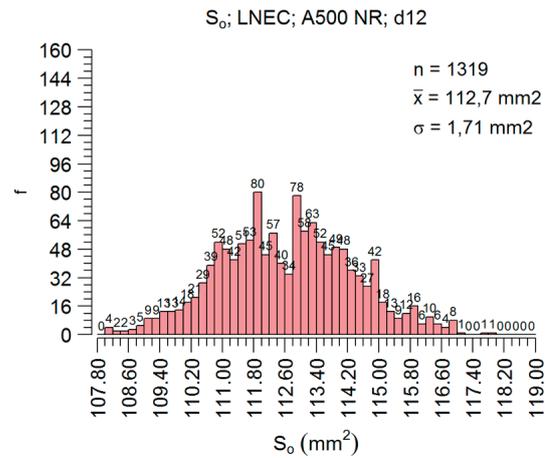


Figura 8 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 12 mm de diâmetro

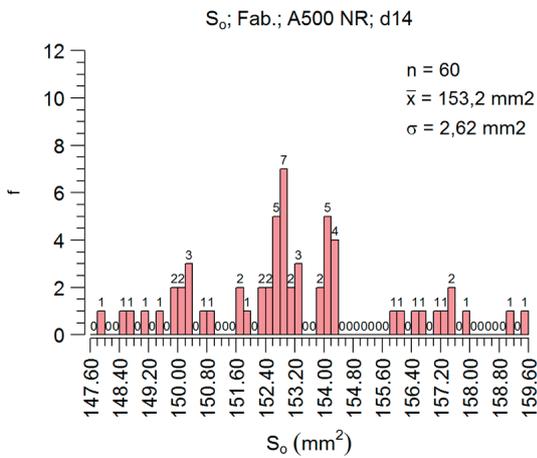


Figura 9 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 14 mm de diâmetro

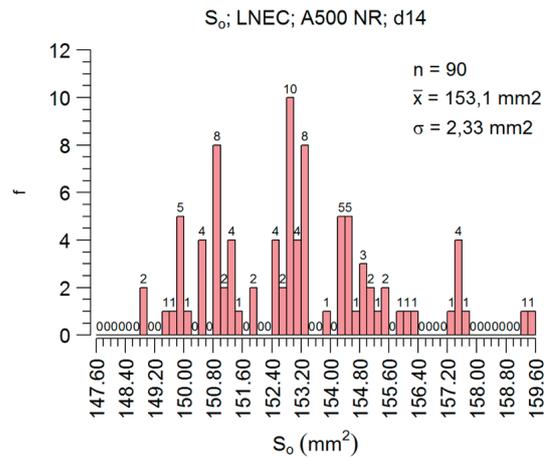


Figura 10 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 14 mm de diâmetro

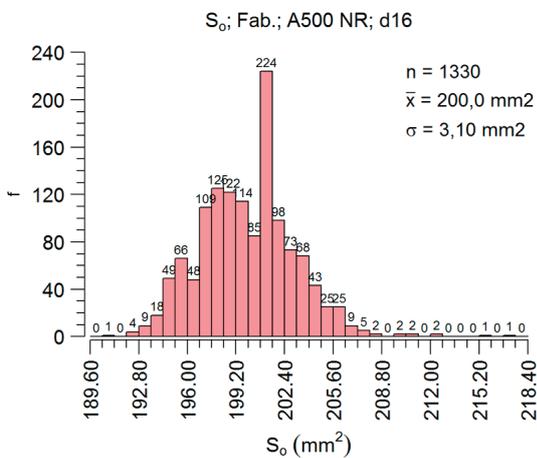


Figura 11 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 16 mm de diâmetro

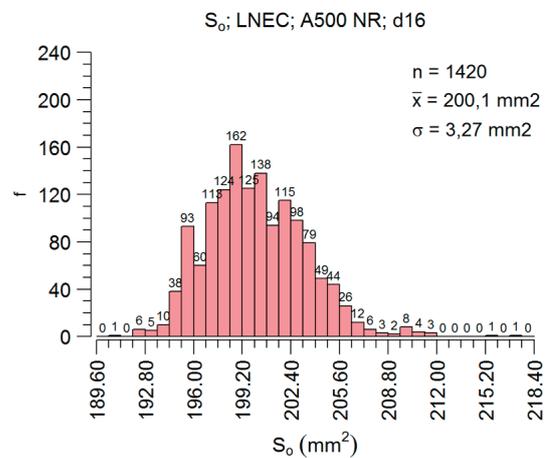


Figura 12 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 16 mm de diâmetro

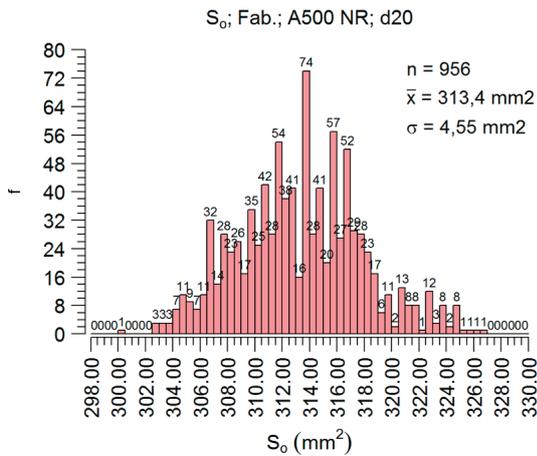


Figura 13 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 20 mm de diâmetro

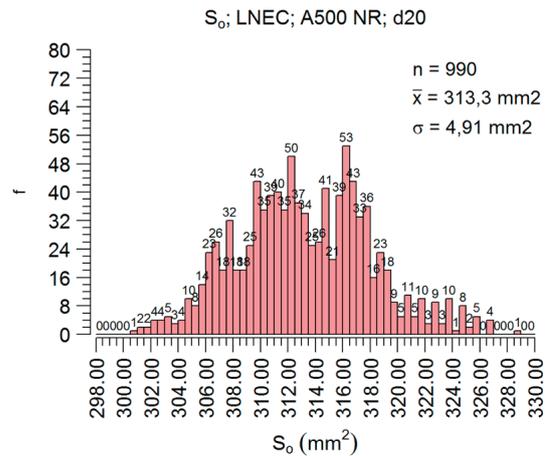


Figura 14 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 20 mm de diâmetro

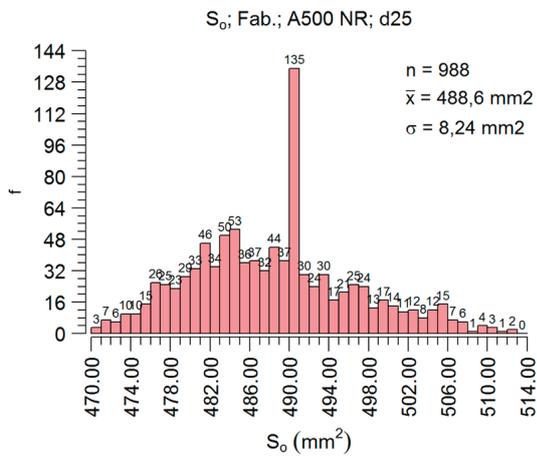


Figura 15 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 25 mm de diâmetro

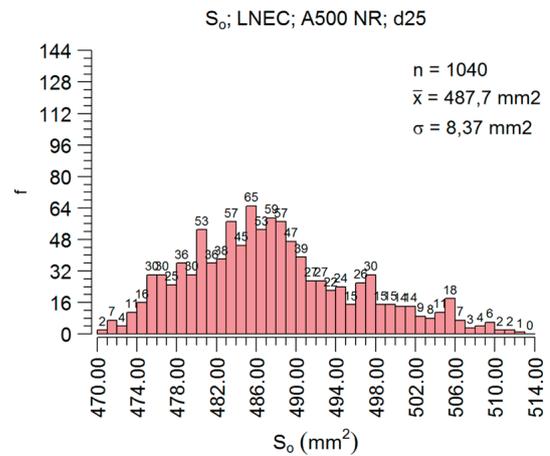


Figura 16 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 25 mm de diâmetro

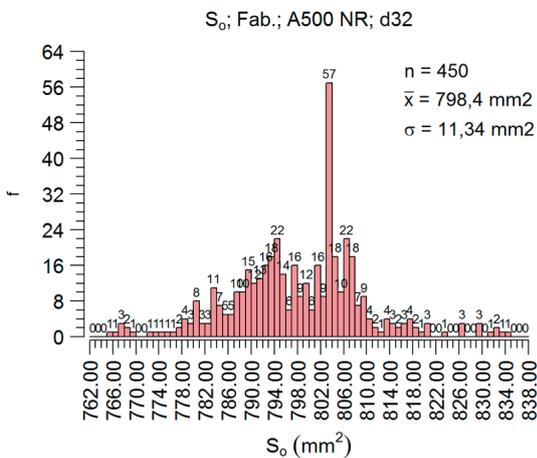


Figura 17 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 32 mm de diâmetro

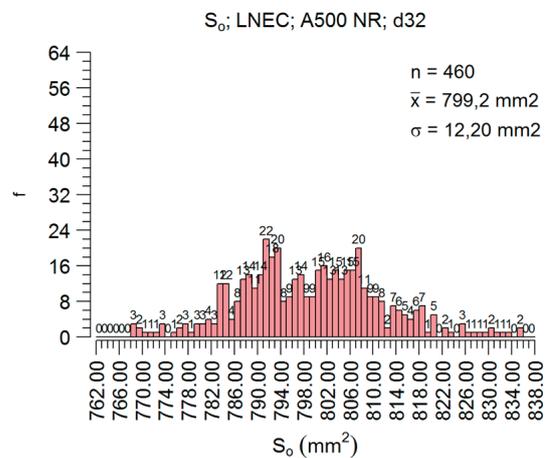


Figura 18 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 32 mm de diâmetro

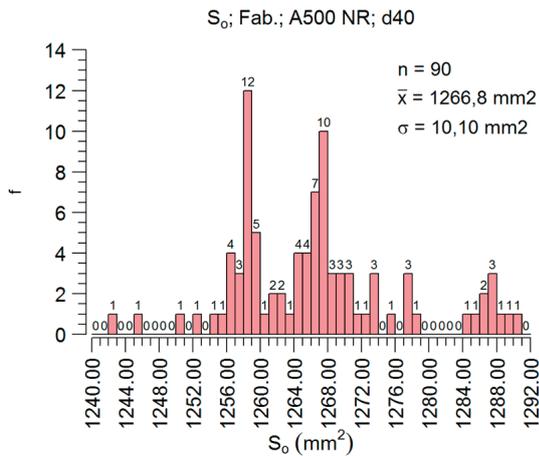


Figura 19 Resultados obtidos pelos fabricantes para varões com 40 mm de diâmetro

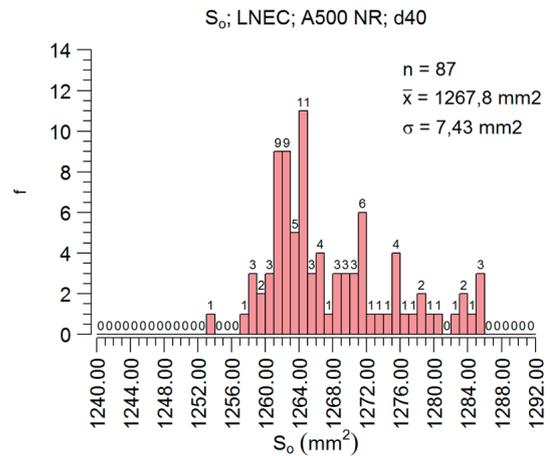


Figura 20 Resultados obtidos pelo LNEC para varões com 40 mm de diâmetro

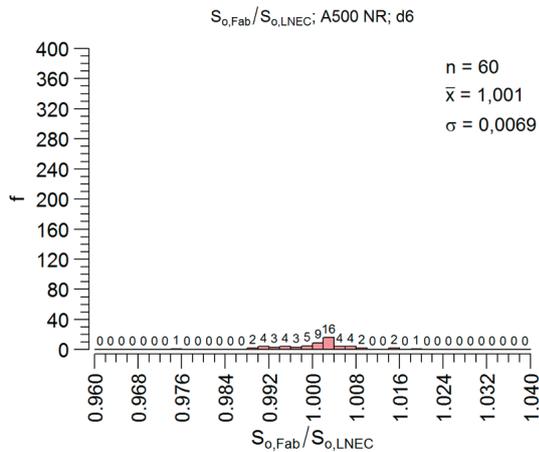


Figura 21 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 6 mm de diâmetro

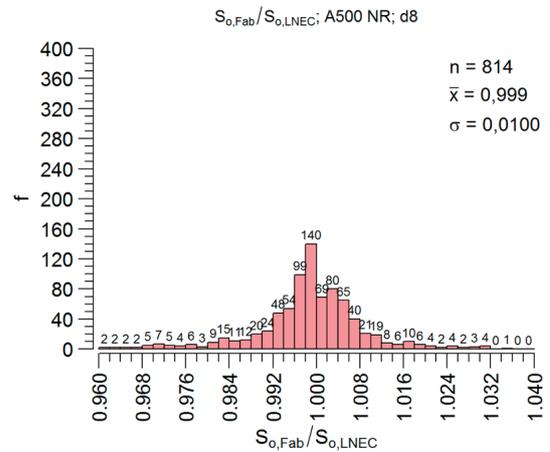


Figura 22 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 8 mm de diâmetro

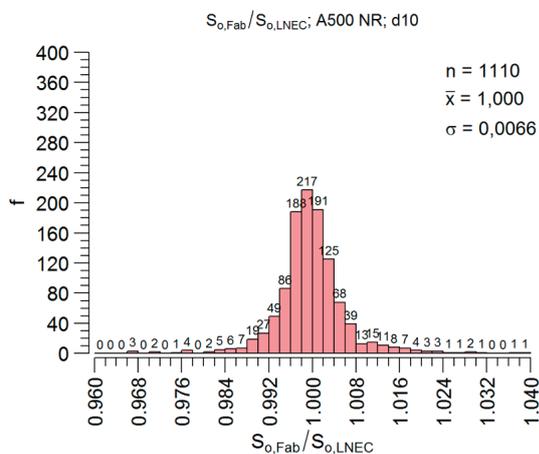


Figura 23 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 10 mm de diâmetro

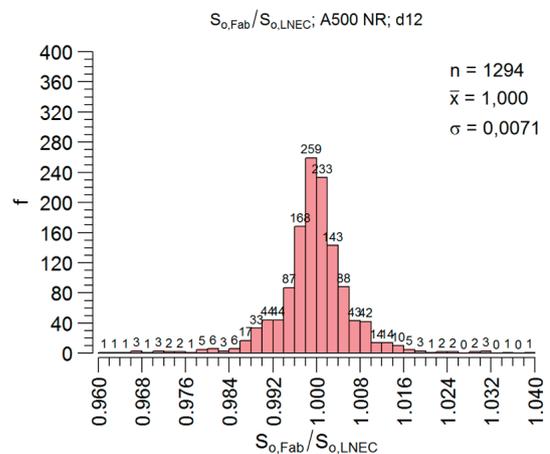


Figura 24 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 12 mm de diâmetro

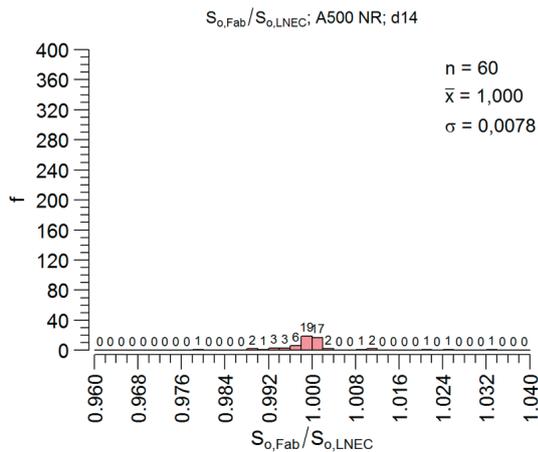


Figura 25 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 14 mm de diâmetro

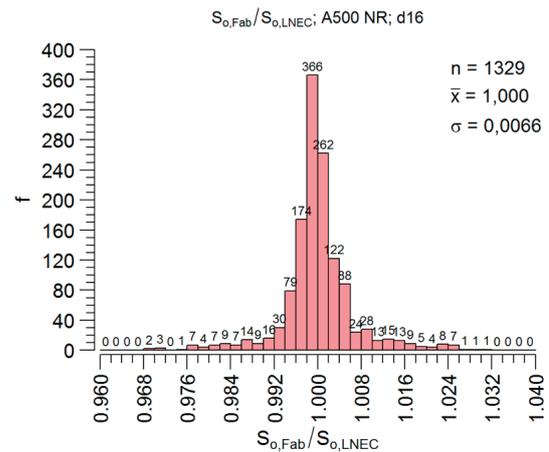


Figura 26 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 16 mm de diâmetro

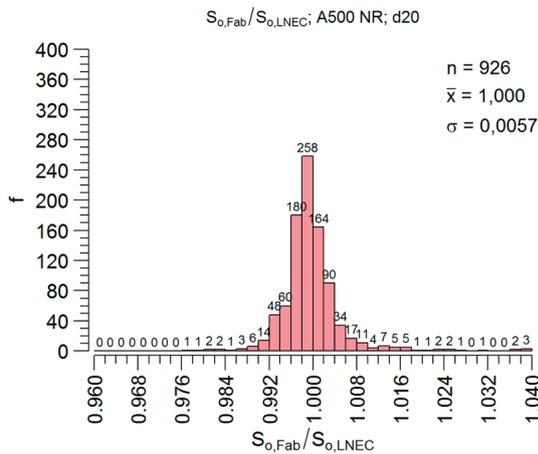


Figura 27 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 20 mm de diâmetro

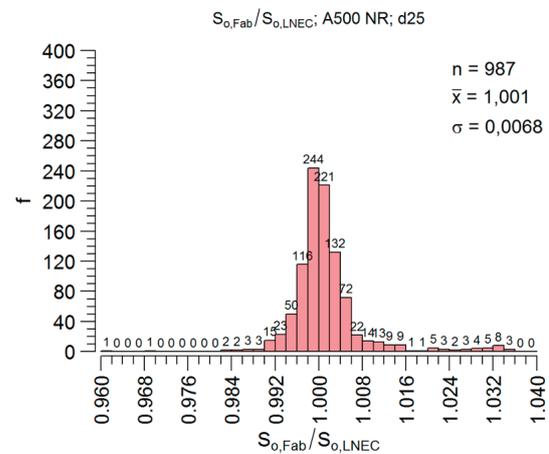


Figura 28 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 25 mm de diâmetro

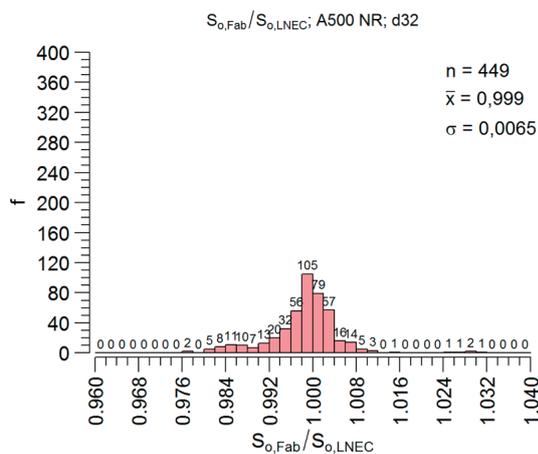


Figura 29 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 32 mm de diâmetro

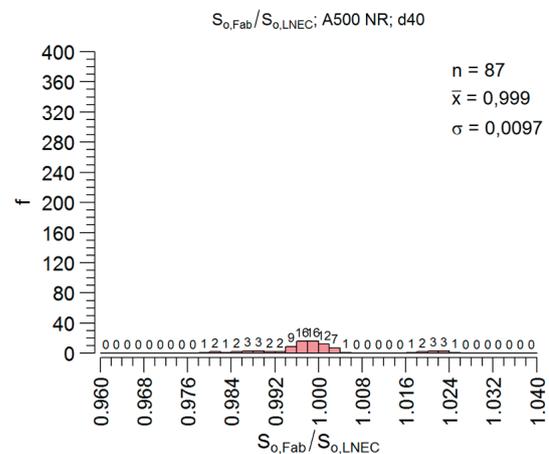


Figura 30 Relação entre resultados dos fabricantes e do LNEC para dois provetes de um mesmo varão com 40 mm de diâmetro

4 Análise dos resultados obtidos

4.1 Relação entre resultados individuais obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC

Como se pode observar através das Figuras 21 a 30, os valores de S_o medidos pelos fabricantes em cada um dos provetes são, em geral, próximos dos valores medidos pelo LNEC no provete correspondente, recolhido do mesmo varão de aço.

O valor médio da relação $S_{o,Fab}/S_{o,LNEC}$ varia entre 0,999 e 1,001, dependendo do diâmetro dos varões em questão.

O desvio-padrão desta relação $S_{o,Fab}/S_{o,LNEC}$ é também muito baixo, variando entre 0,0057 e 0,0100, dependendo do diâmetro dos varões em questão.

As diferenças relativas entre os valores de S_o medidos pelos fabricantes e pelo LNEC em dois provetes de um mesmo varão raramente excedem 1,5%, ultrapassando 4% em apenas 0,1% dos casos.

Estes resultados permitem concluir que os métodos de ensaio utilizados pelas entidades referidas, e as respetivas incertezas, são adequados à determinação desta grandeza (S_o).

4.2 Relação entre resultados globais obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC

A comparação entre as Figuras 1 a 20 permite concluir que os valores médios dos resultados globais obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, para cada diâmetro, são próximos.

As diferenças relativas entre estes valores médios variam entre -0,11%, no caso do diâmetro de 8 mm, e 0,17%, no caso do diâmetro de 25 mm. Na maioria dos casos, o valor absoluto destas diferenças relativas é próximo de 0,05%.

O coeficiente de variação das distribuições dos valores de S_o medidos pelos fabricantes varia entre 1,39% (no caso do diâmetro de 6 mm) e 1,71% (no caso do diâmetro de 14 mm). O coeficiente de variação das distribuições dos valores de S_o medidos pelo LNEC varia entre 1,37% (no caso do diâmetro de 6 mm) e 1,82% (no caso do diâmetro de 8 mm). Excetua-se o caso particular do diâmetro de 40 mm, em que os coeficientes de variação são iguais a 0,80% (fabricantes) e a 0,84% (LNEC).

4.3 Valores mínimos de S_o

Os valores nominais de S_o estabelecidos na Especificação LNEC E 450 [2] para cada um dos diâmetros de varões, bem como os limites mínimos de S_o calculados com base nas tolerâncias estipuladas nessa Especificação LNEC [2], são indicados no Quadro II.

É possível constatar que os valores mínimos de S_o obtidos pelos fabricantes se encontram abaixo dos respetivos limites mínimos, no caso dos varões com diâmetros de 10 mm, 16 mm, 25 mm e 32 mm.

No caso dos valores de S_o obtidos pelo LNEC, foram detetados resultados não-conformes, inferiores aos respetivos limites mínimos, nos varões com diâmetros de 8 mm, 10 mm, 16 mm e 40 mm.

No entanto, a quantidade de resultados não-conformes de S_o é muito reduzida, conforme se pode observar no Quadro VI onde se

indicam os números e percentagens de resultados de S_o , obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada diâmetro de varão, que não respeitam os respetivos limites mínimos estabelecidos na Especificação LNEC E 450 [2].

Com uma única exceção, a percentagem de valores não-conformes é inferior a 1% do número de resultados obtidos para cada diâmetro de varão, sendo que na grande maioria dos casos essa percentagem é inferior a 0,1%.

4.4 Valores máximos de S_o

Foram também detetados resultados não-conformes, superiores aos limites máximos calculados de acordo com a Especificação LNEC E 450 [2], nos varões com diâmetros de 16 mm ensaiados pelos fabricantes, e nos varões com diâmetros de 10 mm, 12 mm, 16 mm e 20 mm ensaiados pelo LNEC (ver Quadro III).

No entanto, a quantidade de resultados não-conformes de S_o é muito reduzida, conforme se pode observar no Quadro VI onde se indicam os números e percentagens de resultados de S_o , obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada diâmetro de varão, que não respeitam os respetivos limites máximos estabelecidos na Especificação LNEC E 450 [2].

A percentagem de valores não-conformes é sempre inferior a 1% do número de resultados obtidos para cada diâmetro de varão, sendo que na grande maioria dos casos essa percentagem é inferior a 0,1%.

4.5 Valores característicos inferiores do conjunto global de valores de S_o

O Quadro IV mostra que os valores característicos correspondentes ao quantilho de 5% das distribuições de valores de S_o obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada diâmetro de varão são sempre superiores aos respetivos limites mínimos, calculados com base nas tolerâncias estipuladas na Especificação LNEC E 450 [2].

Este facto permite concluir que todos os conjuntos de resultados obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC, para cada um dos diâmetros de varões, satisfazem os referidos limites mínimos em pelo menos 95% dos casos, com um grau de confiança superior a 90%, conforme estabelecido na Especificação LNEC E 450 [2]. Esta conclusão é também suportada pelos valores apresentados no Quadro VI.

4.6 Valores característicos superiores do conjunto global de valores de S_o

O Quadro V mostra que os valores característicos correspondentes ao quantilho de 95% das distribuições de valores de S_o obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada diâmetro de varão são sempre inferiores aos respetivos limites máximos, calculados com base nas tolerâncias estipuladas na Especificação LNEC E 450 [2].

Este facto permite concluir que todos os conjuntos de resultados obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC, para cada um dos diâmetros de varões, satisfazem os referidos limites máximos em pelo menos 95% dos casos, com um grau de confiança superior a 90%, conforme estabelecido na Especificação LNEC E 450 [2]. Esta conclusão é também suportada pelos valores apresentados no Quadro VI.

Quadro VI Número total e percentagem de resultados de S_o , obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada diâmetro de varão, não-conformes com o respetivo limite mínimo ou máximo

Diâmetro (mm)	Resultados não-conformes com o limite mínimo da Especificação LNEC E 450						Resultados não-conformes com o limite máximo da Especificação LNEC E 450					
	Fabricantes			LNEC			Fabricantes			LNEC		
	N.º total de resultados	Não-conformes	%	N.º total de resultados	Não-conformes	%	Não-conformes	%	Não-conformes	%		
6	60	0	0,00	60	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,00	
8	820	0	0,00	819	6	0,73	0	0,00	0	0,00	0,00	
10	1120	1	0,09	1184	1	0,08	0	0,00	4	0,34	0,34	
12	1300	0	0,00	1319	0	0,00	0	0,00	1	0,08	0,08	
14	60	0	0,00	90	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,00	
16	1330	1	0,08	1420	1	0,07	6	0,45	12	0,85	0,85	
20	956	0	0,00	990	0	0,00	0	0,00	1	0,10	0,10	
25	988	1	0,10	1040	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,00	
32	450	4	0,89	460	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,00	
40	90	0	0,00	87	1	1,14	0	0,00	0	0,00	0,00	

4.7 Controlo dos valores característicos das amostras de valores de S_o

As conclusões apresentadas nas secções anteriores basearam-se na análise de um conjunto de cerca de 15 000 resultados, obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC. Presume-se que este volume de informação é suficientemente significativo para representar o conjunto dos varões de aço A500 NR utilizados em Portugal para armaduras de betão armado durante o período de tempo a que estes resultados dizem respeito.

Porém, tem-se constatado que as distribuições estatísticas das características dos varões podem variar em função do respetivo fabricante e do lote de produção [3], devido a diferenças ou alterações nos processos de produção de cada fabricante. Pelos mesmos motivos, têm-se também observado variações ao longo do tempo das características dos varões produzidos por um mesmo fabricante [4].

Na prática, as ações de acompanhamento da produção dos varões certificados em Portugal passam pela recolha periódica, duas vezes por ano, de dez conjuntos de varões, retirados de dez atados ou dez rolos diferentes. Estas amostras são recolhidas em duplicado, destinando-se uma delas aos ensaios de verificação realizados pelo fabricante dos varões, e a outra aos ensaios de acompanhamento realizados pelo LNEC [5].

Os valores característicos das diferentes características dos varões controladas no âmbito destas ações de acompanhamento são estimados, com um grau de confiança de 90% [2], através das equações (1) ou (2), a partir da média e do desvio-padrão dos resultados obtidos nos ensaios de dez provetes retirados das referidas amostras, tendo em conta o número de provetes ensaiados.

$$S_{o_{5\%}} = \bar{S}_o - k \times \sigma_{S_o} \quad (1)$$

$$S_{o_{95\%}} = \bar{S}_o + k \times \sigma_{S_o} \quad (2)$$

em que:

$S_{o_{5\%}}$ representa o valor característico correspondente ao quantilho de 5%;

$S_{o_{95\%}}$ representa o valor característico correspondente ao quantilho de 95%;

\bar{S}_o representa o valor médio dos dez resultados;

σ_{S_o} representa o desvio-padrão dos dez resultados;

$k = k_{10} = 2,57$ é o coeficiente utilizado na determinação, com o grau de confiança de 90%, do valor característico de 5% (ou de 95%) a partir de uma amostra de dez resultados [5].

De modo a aferir a validade deste procedimento, procedeu-se à análise separada dos valores característicos de cada uma das amostras de dez resultados que integravam os resultados avaliados no âmbito deste estudo.

4.8 Valores característicos inferiores das amostras de valores de S_o

No caso dos valores característicos inferiores das distribuições de valores de S_o , estimados com base nos dez resultados de cada amostra, foram detetadas 81 amostras cujo valor característico, correspondente ao quantilho de 5%, é inferior ao respetivo limite mínimo, calculado com base nas tolerâncias estipuladas na Especificação LNEC E 450 [2]. Estas 81 amostras, de resultados obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, correspondem a cerca de 5,5% do total das amostras analisadas.

Esta percentagem de amostras com valores característicos não-conformes afigura-se aceitável, em face da probabilidade de 10% (igual a 100% menos o grau de confiança de 90%), convencionalmente aceite, de o valor característico correspondente ao quantilho de 5% de cada lote amostrado poder ser inferior ao limite mínimo estipulado na Especificação LNEC E 450 [2].

Justifica-se assim a aplicação deste procedimento na avaliação de cada lote de varões amostrado, no âmbito de uma ação de acompanhamento da sua produção. Apenas nos 5,5% de casos não-conformes se justificaria o ensaio de um número adicional de provetes, de modo a permitir estimar em condições mais favoráveis – utilizando, na equação (1), um coeficiente k inferior a k_{10} –, com o mesmo grau de confiança de 90%, o referido valor característico de 5%.

4.9 Controlo dos valores característicos superiores das amostras de valores de S_o

No caso dos valores característicos superiores das distribuições de valores de S_o , estimados com base nos dez resultados de cada amostra, foram detetadas 51 amostras cujo valor característico, correspondente ao quantilho de 95%, é superior ao respetivo limite máximo, calculado com base nas tolerâncias estipuladas na Especificação LNEC E 450 [2]. Estas 51 amostras, de resultados obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, correspondem a cerca de 3,5% do total das amostras analisadas.

Esta percentagem de amostras com valores característicos não-conformes também se afigura aceitável, em face da probabilidade de 10% (igual a 100% menos o grau de confiança de 90%), convencionalmente aceite, de o valor característico correspondente ao quantilho de 95% de cada lote amostrado poder ser superior ao limite máximo estipulado na Especificação LNEC E 450 [2].

Justifica-se assim, mais uma vez, a aplicação deste procedimento na avaliação de cada lote de varões amostrado, no âmbito de uma ação de acompanhamento da sua produção. Apenas nos 3,5% de casos não-conformes se justificaria o ensaio de um número adicional de provetes, de modo a se conseguir estimar em condições mais favoráveis – utilizando, na equação (2), um coeficiente k inferior a k_{10} –, com o grau de confiança de 90%, o referido valor característico de 95%.

5 Conclusões

A área da secção transversal (S_o) dos varões de aço para armaduras constitui um dos parâmetros necessários à verificação da segurança dos elementos estruturais em betão armado. Habitualmente, os cálculos utilizados para este fim baseiam-se no valor nominal de S_o , estipulado na norma de produto dos varões de aço.

No entanto, aquando da realização de determinados estudos sobre estruturas de betão armado pode ser útil conhecer o valor real da área da secção transversal dos varões (S_o), bem como a sua distribuição estatística. O seu conhecimento permite também verificar se os varões colocados no mercado respeitam as tolerâncias estabelecidas na norma de produto. Esta informação é importante para assegurar que os varões não apresentam uma resistência menor que a considerada no projeto, pelo facto de a sua secção transversal ser muito inferior ao respetivo valor nominal.

Por outro lado, convém assegurar que o comprimento total dos varões de um lote fornecido para uma obra não é inferior ao previsto na sua encomenda pelo facto de a secção transversal dos varões ser muito superior ao respetivo valor nominal.

O presente artigo apresenta um estudo estatístico dos valores da área da secção transversal dos varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado obtidos pelo LNEC no âmbito do controlo periódico deste tipo de produto.

Esta informação inclui os resultados obtidos pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC, no âmbito das ações de acompanhamento semestral da produção dos varões de aço A500 NR certificados em Portugal entre 1995 e 2015.

Na sequência deste estudo estabelecem-se comparações entre distribuições de valores da área da secção transversal (S_o), obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC, referentes a varões com cada um dos diâmetros previstos na Especificação LNEC E 450 [2].

Estas comparações permitem concluir que as distribuições dos resultados globais obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, para cada diâmetro de varões, são idênticas. Na maioria dos casos, o valor absoluto das diferenças relativas entre os valores médios destas distribuições é próximo de 0,05%. O coeficiente de variação das distribuições dos valores de S_o varia entre 1,39% e 1,71% no caso dos resultados obtidos pelos fabricantes, e entre 1,37% e 1,82% no caso dos resultados obtidos pelo LNEC.

As distribuições estatísticas da relação entre cada valor de S_o obtido pelo Fabricante e o valor de S_o obtido pelo LNEC, num provete retirado do mesmo varão, mostram que estes valores são em geral próximos, sendo o valor médio da sua diferença inferior a 0,1%. Estes resultados permitem concluir que os métodos de ensaio utilizados e as respetivas incertezas são adequados à determinação desta grandeza (S_o).

Os valores extremos de S_o , mínimos e máximos, são comparados com os respetivos limites, calculados a partir dos valores nominais e das tolerâncias estabelecidos na Especificação LNEC E 450 [2]. Conclui-se que a quantidade de resultados não-conformes de S_o é muito reduzida; a percentagem destes resultados é, na grande maioria dos casos, inferior a 0,1% desse número.

Por sua vez, os valores característicos correspondentes aos quantilhos de 5% e de 95% das distribuições globais de valores de S_o , obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para cada diâmetro de varão, respeitam sempre, com um grau de confiança superior a 90%, os respetivos limites calculados com base na Especificação LNEC E 450 [2].

Por último, constata-se que os valores característicos de S_o , correspondentes aos quantilhos de 5% e de 95% de cada amostra controlada no âmbito da avaliação periódica dos varões, satisfazem em cerca de 95% dos casos os respetivos limites calculados com base na Especificação LNEC E 450 [2]. Justifica-se assim a aplicação deste procedimento na avaliação individual de cada lote de varões amostrado.

Referências

- [1] Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Lista de documentos de classificação, 2017, 14 p.
- [2] Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Especificação LNEC E 450-2017 – *Varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação*, 2017, 8 p.

- [3] Baptista, A. M.; Filipe, J. – “Avaliação de resultados de ensaios de fadiga sobre varões de aço para betão armado”, II Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão, Lisboa, LNEC, 27 a 29 de setembro de 2016, 12 p.
- [4] Baptista, A. M.; Filipe, J. – “Tensão de cedência dos aços de varões para betão armado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas”, *Encontro Betão Estrutural – BE 2016*, FCTUC, Coimbra, 2016, 10 p.
- [5] PE.PSG.01 – *Concessão e acompanhamento da certificação. Varão de aço para armaduras de betão armado*. CERTIF – Associação para a Certificação, Edição 7, 2009, 16 p.

