

Tensão de cedência de aços de varões A500 para betão armado. Influência da origem dos varões na sua distribuição estatística.

António Manuel Baptista

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, e-mail: ambaptista@lnec.pt

João Filipe

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, e-mail: jfilipe@lnec.pt

Resumo

A tensão de cedência à tração dos aços dos varões para betão armado constitui uma das principais características mecânicas consideradas no projeto das estruturas de betão armado.

O presente artigo apresenta um estudo estatístico da informação sobre os valores da tensão de cedência obtidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desde 1994, no âmbito do controlo periódico de varões de aço da classe A500 decorrente das Ações de Acompanhamento da Certificação destes produtos. Com base nestes valores, são indicadas as distribuições globais da tensão de cedência para cada tipo de varões controlados (A500 ER, A500 NR e A500 NR SD).

No entanto, a tensão de cedência pode apresentar variações significativas, que dependem do tipo de varão, da composição química do aço, da origem dos varões, do diâmetro dos varões e dos métodos de ensaio utilizados na sua determinação, por exemplo. Os varões de aço utilizados numa obra específica provêm frequentemente de um único fabricante e de um número limitado de lotes de produção. Por este motivo, numa determinada construção ou até numa parte dela, a distribuição dos valores da tensão de cedência pode diferir da distribuição global referente a esse tipo de aço, atrás referida.

A fim de se avaliar a influência da origem dos varões, este artigo apresenta também os parâmetros estatísticos das distribuições de resultados correspondentes a cada um dos fabricantes de cada um dos tipos de varões analisados. Esta informação fornece uma noção adicional e mais realista sobre a resistência dos varões de aço da classe A500 certificados em Portugal durante o referido período. Poderá, por isso, constituir uma ferramenta útil para a avaliação futura das construções em betão armado realizadas em Portugal desde o início do século XXI até à data atual.

Palavras-chave: Betão armado; Varões de aço; Tensão de cedência; Distribuição estatística

1 INTRODUÇÃO

A tensão de cedência à tração dos aços dos varões para betão armado, f_y , ou a tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%, $f_{0,2}$, no caso de esses aços não apresentarem cedência, constitui uma das principais características mecânicas consideradas nos cálculos de verificação da segurança das estruturas de betão armado. De acordo com o Eurocódigo 2 [1], o valor característico da tensão de cedência, f_{yk} , utilizado nos cálculos de verificação da segurança de uma estrutura de betão armado, refere-se às armaduras utilizadas nessa estrutura em particular, enquanto que os valores característicos da tensão de cedência, R_{ek} , dos aços dos varões colocados no mercado são garantidos pelo seu fabricante com base no controlo de qualidade a longo prazo da produção desses varões.

Salienta-se que a aplicação de produtos de aço em construções de betão armado em Portugal depende da sua prévia Classificação pelo LNEC e da sua Certificação por um organismo acreditado no âmbito do Sistema Português da Qualidade [2], [3]. O LNEC assegura o apoio técnico ao controlo periódico do fabrico destes produtos, na sequência das respetivas Ações de Acompanhamento da Certificação [4].

Na falta de informação experimental específica sobre a distribuição estatística da tensão de cedência, f_y , referente às armaduras de aço utilizadas numa dada estrutura, torna-se útil conhecer a distribuição estatística global da tensão de cedência, R_e , no conjunto dos varões de aço de um dado tipo controlados num determinado período em Portugal. Com o objetivo de proporcionar esta informação, o presente artigo apresenta um estudo estatístico dos valores de R_e obtidos pelo LNEC, ao longo de 25 anos, no âmbito do controlo periódico dos varões da classe A500.

No entanto, importa referir que a tensão de cedência, R_e , destes varões pode apresentar variações significativas, que dependem do tipo de varão (A500 ER, A500 NR e A500 NR SD), da composição química do aço, da origem dos varões (processos de fabrico utilizados e sua evolução ao longo do tempo), do diâmetro dos varões e dos métodos de ensaio utilizados na sua determinação, por exemplo.

Os varões de aço utilizados numa obra específica provêm frequentemente de um único fabricante e de um número limitado de lotes de produção. Por este motivo, numa determinada construção, a distribuição dos valores da tensão de cedência pode diferir da distribuição global referente a esse tipo de varão. A fim de se avaliar a influência da origem dos varões, são apresentadas distribuições de resultados correspondentes a um único fabricante de cada um dos tipos de varões analisados.

2 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS DOS VALORES DA TENSÃO DE CEDÊNCIA

Os resultados gerais da análise estatística realizada aos valores da tensão de cedência, R_e , são apresentados nas Figs. 1 a 6. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos principais parâmetros estatísticos das distribuições globais dos valores desta propriedade (R_e), apresentadas nestas figuras.

As Figs. 1, 3 e 5 apresentam histogramas com as distribuições estatísticas do conjunto de resultados de R_e obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, entre os anos de 1994 e de 2019, para todos os diâmetros de varões controlados e previstos nas Especificações LNEC E 456 [5], LNEC E 450 [6] e LNEC E 460 [7], aplicáveis aos varões A500 ER, A500 NR e A500 NR SD respetivamente. Em cada uma destas figuras são também indicados os valores da média (\bar{x}) e do desvio-padrão (σ) da distribuição estatística em questão, bem como a dimensão da amostra analisada (n) e o período em que os resultados foram obtidos.

Os histogramas das Figs. 2, 4 e 6 apresentam, separadamente, as distribuições estatísticas dos resultados de R_e obtidos através dos ensaios de verificação do produto, realizados pelo fabricante dos varões, ou através dos ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC, no âmbito do controlo periódico dos varões A500 ER, A500 NR e A500 NR SD, respetivamente. Em cada uma destas figuras são também apresentados os valores das médias de cada uma destas distribuições estatísticas, \bar{x} (Fab) e \bar{x} (LNEC).

Tabela 1: Número de resultados analisados (n) e respetivos valores médios (\bar{x}) e desvios-padrão (σ)

Tipo de varão	Fab+LNEC			Fabricantes			LNEC		
	n	\bar{x} (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	n	\bar{x} (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	n	\bar{x} (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
A500 ER	6517	591,9	35,5	3307	590,9	34,7	3210	593,9	36,5
A500 NR	15390	563,7	25,1	7619	563,5	24,0	7771	563,9	26,1
A500 NR SD	12320	552,0	17,7	6140	551,3	16,7	6180	552,8	18,7

A comparação entre os histogramas das Figs. 1, 3 e 5 mostra que as distribuições estatísticas da tensão de cedência, R_e , variam com o tipo de varões de aço em questão. A distribuição correspondente aos varões de aço endurecidos a frio A500 ER apresenta uma dispersão maior ($\sigma=35,5$ N/mm²) e valores de R_e em geral mais elevados ($\bar{x}=591,9$ N/mm²) que as dos varões laminados a quente, A500 NR e A500 NR SD. Por sua vez, os varões de ductilidade especial A500 NR SD apresentam uma dispersão menor e valores de R_e em geral mais baixos que os varões de alta ductilidade A500 NR. Os coeficientes de variação, ρ , das distribuições estatísticas dos valores da tensão de cedência, R_e , obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC são $\rho=6,00\%$, $\rho=4,45\%$ e $\rho=3,21\%$, para os varões dos tipos A500 ER, A500 NR e A500 NR SD, respetivamente.

A comparação entre os histogramas das Figs. 2, 4 e 6 mostra que as distribuições estatísticas da tensão de cedência, R_e , correspondentes aos resultados obtidos pelos fabricantes são semelhantes às distribuições dos resultados obtidos pelo LNEC. Este facto indicia que, no seu conjunto, os resultados obtidos através dos ensaios de verificação são coerentes com os resultados obtidos nos ensaios de acompanhamento. Esta conclusão é corroborada pelos valores médios e pelos desvios-padrão apresentados na Tabela 1, referentes aos resultados dos fabricantes e do LNEC para cada tipo de varão.

Ainda assim, é possível observar que as distribuições estatísticas apresentadas na Fig. 2, referentes aos varões do tipo A500 ER, apresentam maiores diferenças que as distribuições apresentadas nas Figs. 4 e 6, referentes aos varões A500 NR e A500 NR SD, respetivamente. A maior dispersão dos resultados referentes aos varões A500 ER (Tabela 1), bem como as diferenças entre as distribuições destes resultados obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, é atribuída, por um lado, à maior heterogeneidade das características destes varões, resultante do seu processo de fabrico, e por outro à maior incerteza associada à determinação dos valores da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%, $R_{p0,2}$, que caracterizam os aços destes varões, pelo facto de não apresentarem cedência como em geral acontece com os varões laminados a quente (A500 NR e A500 NR SD).

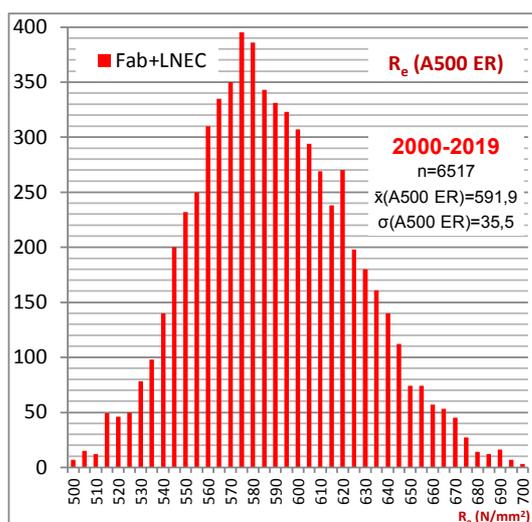


Figura 1. Resultados de R_e (N/mm²) obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC para os varões A500 ER

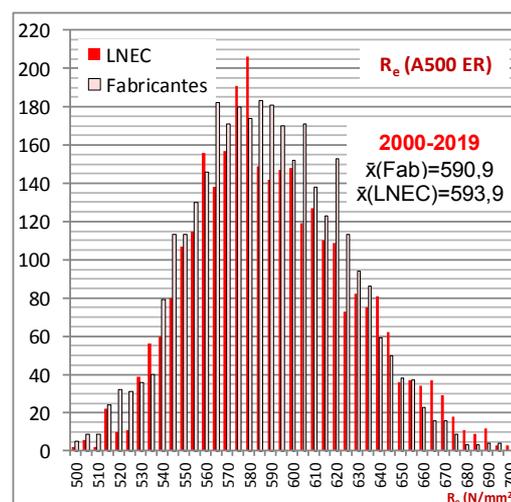


Figura 2. Resultados de R_e (N/mm²) obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para os varões A500 ER

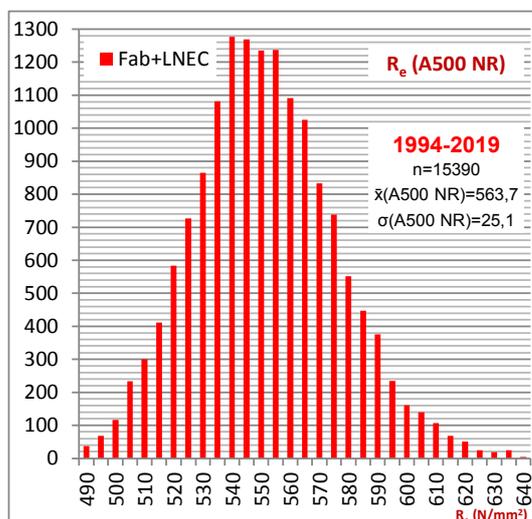


Figura 3. Resultados de R_e (N/mm²) obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC para os varões A500 NR

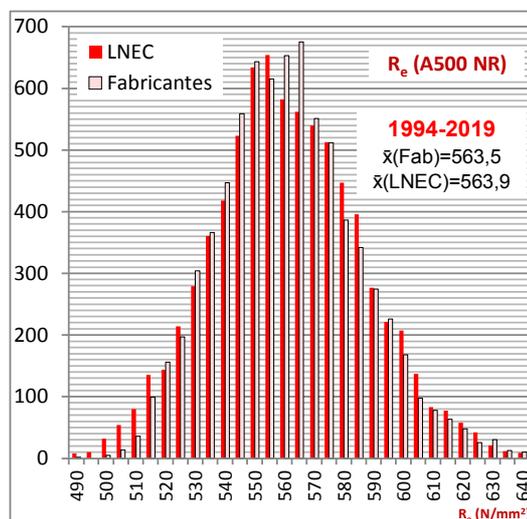


Figura 4. Resultados de R_e (N/mm²) obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para os varões A500 NR

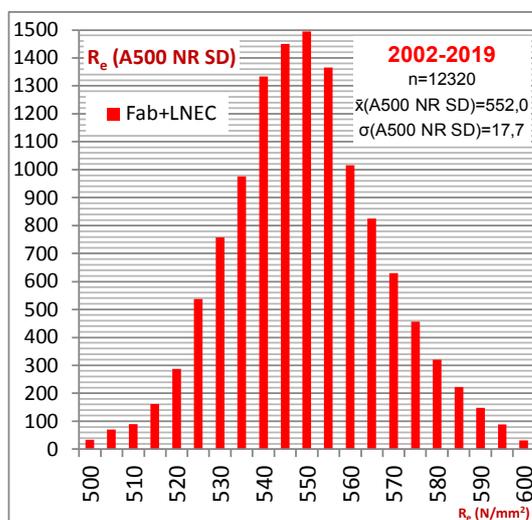


Figura 5. Resultados de R_e (N/mm²) obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC para os varões A500 NR SD

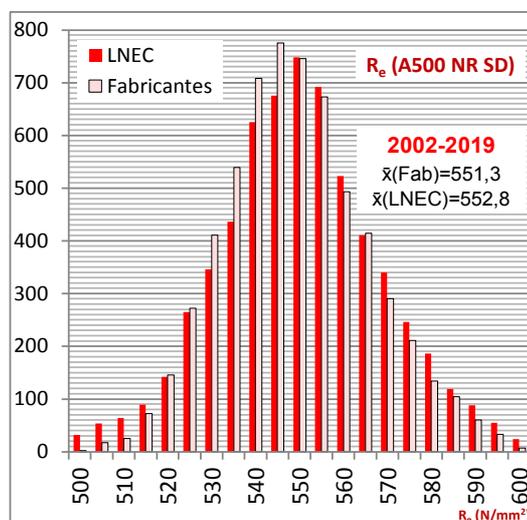


Figura 6. Resultados de R_e (N/mm²) obtidos pelos fabricantes ou pelo LNEC para os varões A500 NR SD

Os valores característicos $R_{e,k5\%}$ referentes aos quantilhos de 5%, calculados com um grau de confiança de 90% a partir das distribuições estatísticas da tensão de cedência, apresentadas nas Figs. 1 a 6 são indicados na Tabela 2. É possível constatar que os valores característicos $R_{e,k5\%}$ dos varões laminados a quente (A500 NR e A500 NR SD) são idênticos, enquanto que o dos aços enformados a frio A500 ER é ligeiramente superior. Chama-se a atenção para o facto de a dimensão das amostras (n) referentes aos varões A500 ER, embora bastante inferior à das amostras referentes aos varões A500 NR e A500 NR SD, ser suficientemente elevada para que a sua influência sobre as diferenças entre valores característicos $R_{e,k5\%}$ dos três tipos de varões seja desprezável.

Em qualquer dos casos, todos os valores característicos $R_{e,k5\%}$ indicados na Tabela 2 respeitam o limite mínimo de 500 N/mm^2 estipulado nas Especificações LNEC [5], [6] e [7], aplicáveis a estes varões.

Tabela 2: Valores característicos $R_{e,k5\%}$ (N/mm^2), referentes aos quantilhos de 5% da tensão de cedência

	<i>Fab+LNEC</i>			<i>Fabricantes</i>			<i>LNEC</i>		
	A500 ER	A500 NR	A500 NR SD	A500 ER	A500 NR	A500 NR SD	A500 ER	A500 NR	A500 NR SD
$R_{e,k5\%}$	532,6	522,1	522,5	532,6	523,5	523,4	532,5	520,4	521,6

3 INFLUÊNCIA DA ORIGEM DOS VARÕES

Os resultados apresentados na secção anterior incluem todos os diâmetros de varões produzidos por todos os fabricantes controlados entre 1994 e 2019.

Entretanto, foi já referido que a tensão de cedência, R_e , pode apresentar variações significativas que dependem de vários fatores. As distribuições estatísticas apresentadas nas Figs. 1 a 6 são distribuições globais que resultam da soma de distribuições parcelares que correspondem a casos particulares de cada um desses fatores, tais como as distribuições correspondentes: i) a varões do mesmo tipo provenientes do mesmo fabricante, ii) a varões do mesmo tipo com o mesmo diâmetro nominal, ou iii) a varões do mesmo tipo controlados no mesmo ano, por exemplo. A fim de se observar a influência da origem dos varões, as Figs. 7 a 9 apresentam, para cada tipo de varões A500, exemplos de distribuições de resultados de R_e , obtidos através de ensaios realizado pelo Fabricante e pelo LNEC, correspondentes a um único fabricante de cada um desses tipos de varões.

A Fig. 7, por exemplo, mostra que as distribuições de resultados correspondentes aos varões A500 ER produzidos pelos Fabricantes F042 e F059 são bastante diferentes da distribuição global apresentada na Fig. 1. A maioria dos resultados referentes ao Fabricante F059 são superiores ao valor máximo dos resultados referentes ao Fabricante F042. O valor característico correspondente ao quantilho de 5% dos resultados referentes ao Fabricante F059 ($R_{e,k5\%}=601 \text{ N/mm}^2$) é superior ao valor médio das distribuições referentes aos Fabricantes F040 e F042, bem como ao valor médio das distribuições referentes aos varões A500 NR e A500 NR SD produzidos por cada um dos respetivos fabricantes.

Por sua vez, a distribuição de resultados de R_e referente ao Fabricante F040 (Fig. 7) é a que mais se aproxima da distribuição global de resultados obtidos para varões A500 ER, incluindo todos os fabricantes (Fig. 1 e Tabela 1). Entretanto, é possível constatar que a distribuição de resultados referentes ao Fabricante F040, tal como a referente ao Fabricante F059, engloba várias distribuições parcelares que indicam a influência particular de outros parâmetros, tais como os já anteriormente referidos (diâmetro dos varões, e variações da produção de um mesmo fabricante ao longo do tempo).

No caso dos varões laminados a quente, dos tipos A500 NR e A500 NR SD, embora as respetivas distribuições globais (Figs. 3 e 5) apresentem dispersões menores que as dos varões A500 ER (Fig. 1), é também possível identificar distribuições de resultados distintas, dependendo do fabricante desses varões.

No caso dos varões A500 NR (Fig. 8) produzidos pelos Fabricantes F012 e F021, p. ex., a dispersão dos resultados é bastante inferior à dos varões A500 NR produzidos pelos Fabricantes F022 e F028. Por esse motivo, embora a distribuição referente ao F028 apresente muitos valores superiores aos da distribuição referente ao F021, os respetivos valores característicos, $R_{e,k5\%} = 528 \text{ N/mm}^2$ (F028) e $R_{e,k5\%} = 526 \text{ N/mm}^2$ (F021), são semelhantes. A distribuição referente ao F028 também engloba várias distribuições parcelares, à semelhança do anteriormente referido para os varões A500 ER do Fabricante F040.

No caso dos varões A500 NR SD (Fig. 9) produzidos pelo Fabricante F005, a média e o valor característico $R_{e,k5\%}$ dos resultados são bastante superiores aos das distribuições referentes aos Fabricantes F007, F028 e F029. Faz-se notar que também no caso dos resultados do F005 é possível identificar diferentes distribuições parcelares, o que significa que a tensão de cedência dos varões produzidos por este fabricante poderá variar significativamente, dependendo do diâmetro desses varões por exemplo.

A fim de proporcionar uma perspetiva global da influência da origem dos varões na distribuição estatística da sua tensão de cedência, R_e , as Figs. 10 a 12 mostram uma comparação entre os valores médios das distribuições estatísticas dos conjuntos de resultados de R_e obtidos para cada tipo de varão (A500 ER, A500 NR e A500 NR SD), pelos fabricantes e pelo LNEC, entre os anos de 1994 e de 2019, para todos os diâmetros de varões controlados provenientes de um mesmo fabricante. A Fig. 13 mostra uma comparação entre os desvios-padrão das distribuições estatísticas dos conjuntos de resultados referentes aos varões A500 ER.

É possível constatar que os valores médios das distribuições de resultados obtidos pelo fabricante e pelo LNEC para os varões desse fabricante, são em geral semelhantes. No caso dos varões A500 ER (Fig. 10) as diferenças entre estes valores médios são da ordem de 5 N/mm^2 , atingindo um valor máximo de cerca de 15 N/mm^2 no caso do Fabricante F044. No caso dos varões A500 NR (Fig. 11) e A500 NR SD (Fig. 12), a maioria destas diferenças é inferior a 5 N/mm^2 ; o seu valor máximo é de 15 N/mm^2 , no caso dos varões A500 NR (F036), e de cerca de 20 N/mm^2 no caso dos varões A500 NR SD (F015).

Para um mesmo tipo de varão, as diferenças entre valores médios das distribuições de resultados referentes a cada fabricante, em particular, são frequentes e mais elevadas. No caso dos varões A500 ER estas diferenças atingem 100 N/mm^2 (F042 e F059). No caso dos varões A500 NR estas diferenças atingem cerca de 45 N/mm^2 (F012 e F028) e no caso dos varões A500 NR SD atingem cerca de 30 N/mm^2 (F028 e F005).

A Fig. 13 mostra que a dispersão dos resultados referentes aos varões A500 ER é bastante variável, dependendo do fabricante dos varões; os seus desvios-padrão variam entre 6 N/mm^2 (F055) e 43 N/mm^2 (F058). No caso dos varões A500 NR os desvios-padrão variam entre 13 N/mm^2 e 35 N/mm^2 e no caso dos varões A500 NR SD variam entre 6 N/mm^2 e 23 N/mm^2 . As diferenças entre os desvios-padrão das distribuições de resultados obtidos pelo Fabricante e pelo LNEC, para um determinado tipo de varão produzido por esse fabricante, são na generalidade dos casos relativamente pequenas.

Constata-se assim que a variação da dispersão dos valores de R_e , de um fabricante para outro, é maior no caso do fabrico dos varões A500 ER e menor no caso dos varões A500 NR SD. As diferenças entre as distribuições da tensão de cedência de varões do mesmo tipo produzidos por diferentes fabricantes também são maiores no caso dos varões A500 ER e menores no caso dos varões A500 NR SD (Figs. 7 e 9).

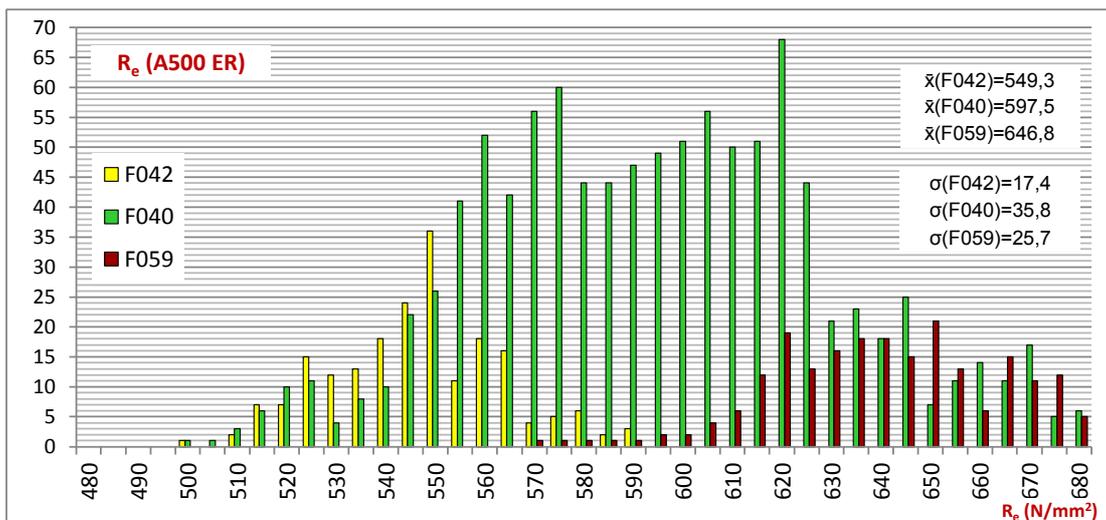


Figura 7. Resultados da tensão de cedência, R_e (N/mm^2), obtidos pelo Fabricante e pelo LNEC para varões A500 ER provenientes de um único Fabricante (F040, F042 ou F059)

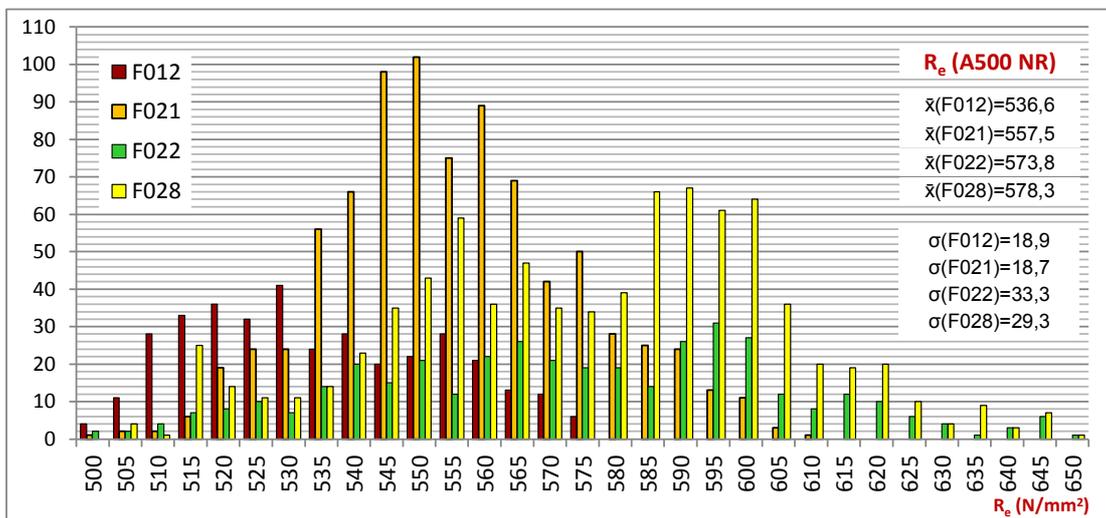


Figura 8. Resultados da tensão de cedência, R_e (N/mm^2), obtidos pelo Fabricante e pelo LNEC para varões A500 NR provenientes de um único Fabricante (F012, F021, F022 ou F028)

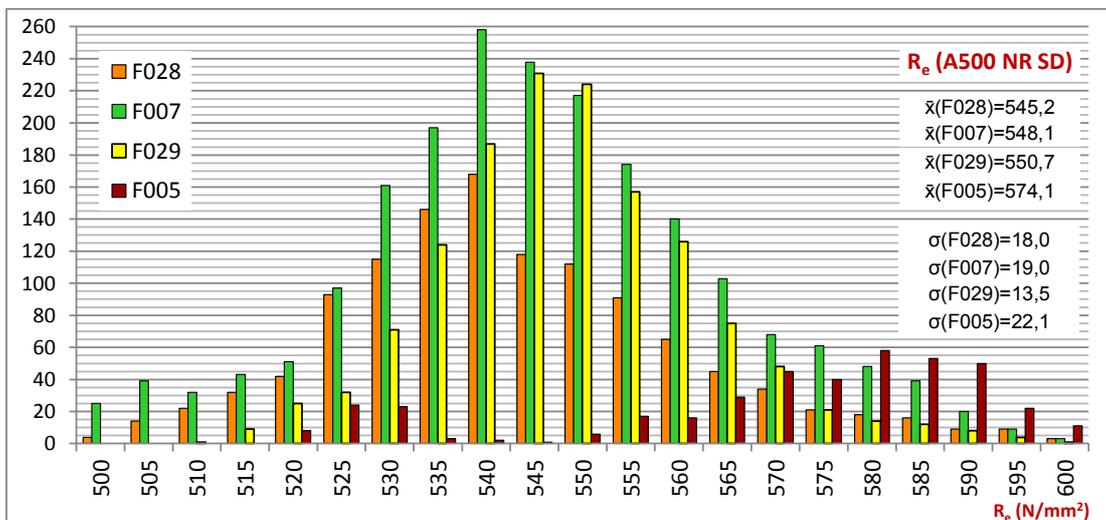


Figura 9. Resultados da tensão de cedência, R_e (N/mm^2), obtidos pelo Fabricante e pelo LNEC para varões A500 NR SD provenientes de um único Fabricante (F005, F007, F028 ou F029)

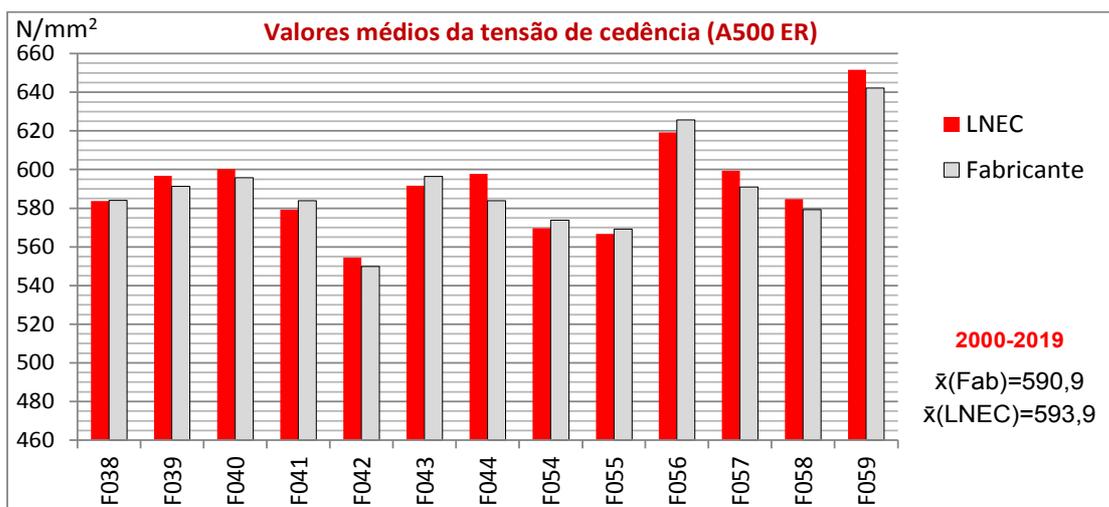


Figura 10. Valores médios da tensão de cedência R_e obtidos pelos Fabricantes ou pelo LNEC para varões A500 ER, em função do respetivo Fabricante

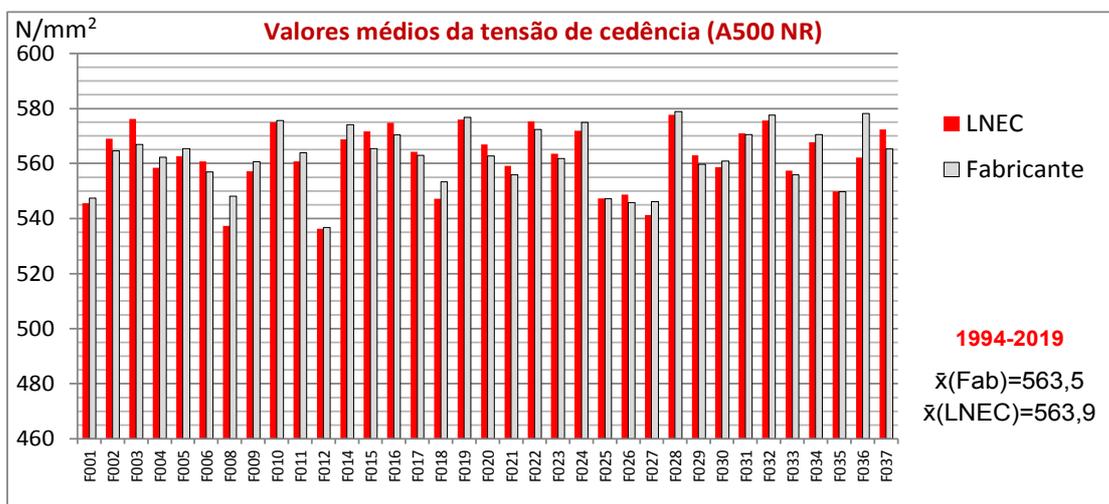


Figura 11. Valores médios da tensão de cedência R_e obtidos pelos Fabricantes ou pelo LNEC para varões A500 NR, em função do respetivo Fabricante

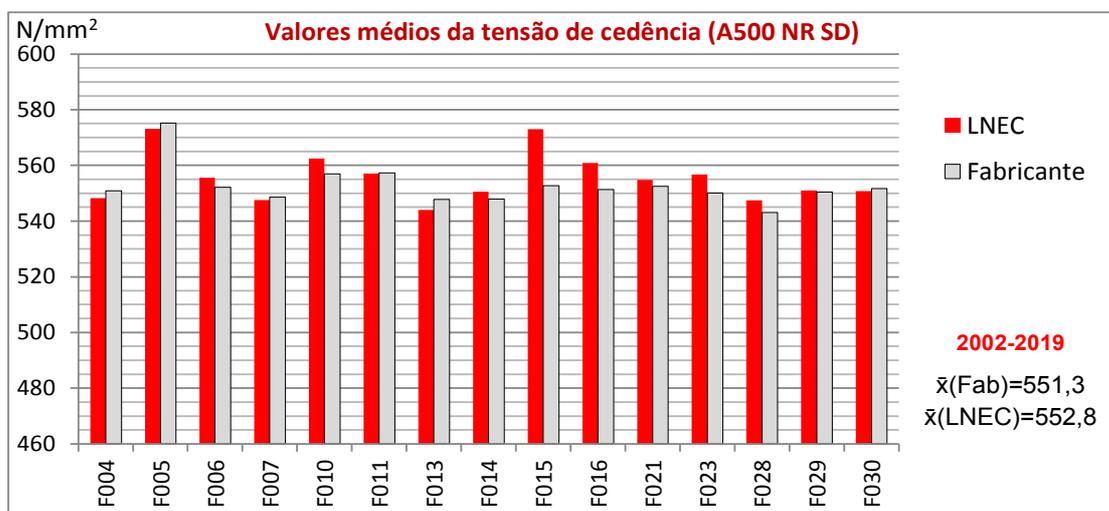


Figura 12. Valores médios da tensão de cedência R_e obtidos pelos Fabricantes ou pelo LNEC para varões A500 NRSD, em função do respetivo Fabricante

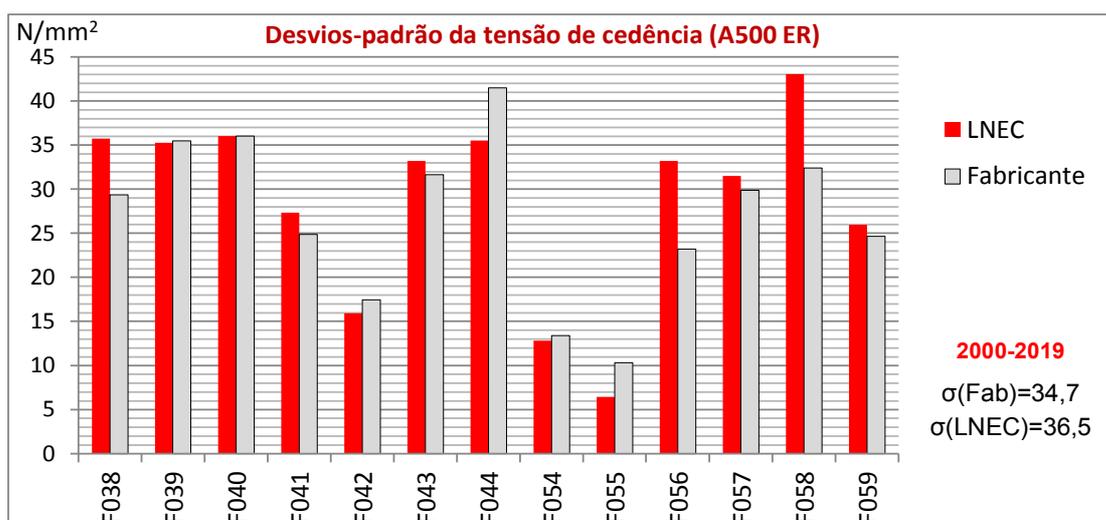


Figura 13. Desvios-padrão da tensão de cedência R_e obtidos pelos Fabricantes ou pelo LNEC para varões A500 ER, em função do respetivo Fabricante

Entretanto, faz-se notar que o valor característico $R_{e,k5\%}$ referente ao quantilho de 5% de cada uma das distribuições da tensão de cedência analisadas, depende simultaneamente dos respetivos valor médio e desvio-padrão. Os valores mais baixos de $R_{e,k5\%}$ referentes a um único fabricante, são da ordem de 510 N/mm², no caso dos varões A500 NR SD, de 505 N/mm² no caso dos varões A500 ER, e de 491 N/mm² no caso dos varões A500 NR. Este último valor não satisfaz o limite mínimo de 500 N/mm² estipulado na Especificação LNEC E 450 [6]; no entanto esta não-conformidade só foi observada num dos 35 fabricantes de varões A500 NR que foram controlados. Este valor baixo de $R_{e,k5\%}$ resultou da dispersão elevada e do número relativamente baixo de resultados disponíveis desse Fabricante.

4 CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta um estudo estatístico dos valores da tensão de cedência, R_e , dos varões de aço dos tipos A500 ER, A500 NR e A500 NR SD. As distribuições globais da tensão de cedência, R_e , referentes a cada um destes tipos de varões, foram obtidas a partir dos resultados experimentais recolhidos pelo LNEC no âmbito do controlo periódico destes varões. Atendendo à elevada dimensão dos conjuntos de resultados analisados para cada tipo de varão (Tabela 1), as conclusões que deles se podem retirar serão, em princípio, aplicáveis à generalidade destes varões de aço utilizados em armaduras para estruturas de betão armado realizadas em Portugal desde o ano de 1994.

Em geral, pode-se afirmar que a origem dos resultados analisados neste estudo, quer eles provenham de ensaios de verificação do produto realizados pelo fabricante dos varões ou de ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC, não afeta significativamente as distribuições estatísticas dos valores de R_e referentes a qualquer um dos tipos de varão e, consequentemente, não condiciona as conclusões estabelecidas neste trabalho.

Os valores médios e os desvios-padrão das distribuições estatísticas globais dos valores de R_e são mais elevados no caso dos varões de aço endurecidos a frio A500 ER que no caso dos aços laminados a quente. Por sua vez, os varões de ductilidade especial A500 NR SD apresentam uma dispersão menor e valores de R_e ligeiramente mais baixos que os dos varões de alta ductilidade A500 NR.

Os valores característicos $R_{e,k5\%}$ referentes ao quantilho de 5%, calculados com um grau de confiança de 90% a partir das distribuições globais de resultados de R_e referentes a cada tipo de varões, respeitam o limite mínimo de 500 N/mm^2 , estabelecido nas Especificações LNEC aplicáveis a cada um desses produtos.

No entanto, constata-se que a distribuição estatística da tensão de cedência de cada tipo de varão da classe de resistência A500 pode variar de um fabricante para outro, e que os valores médios e os valores característicos destas distribuições podem tomar valores inferiores aos das distribuições globais, apresentados nas Tabelas 1 e 2. Também no caso de distribuições referentes a um único fabricante de um determinado tipo de varão podem ser identificadas diferentes distribuições parcelares, que indiciam a influência adicional de outros parâmetros, tais como o diâmetro dos varões ou variações da produção ao longo do tempo.

Os varões de aço utilizados numa obra específica provêm frequentemente de um único fabricante e de um número limitado de lotes de produção. Sendo assim, numa determinada construção ou até numa parte dela, a distribuição dos valores da tensão de cedência pode diferir significativamente das distribuições globais apresentadas no presente artigo. Por este motivo, nos estudos em que se pretenda recorrer a estimativas mais realistas da distribuição estatística ou dos valores característicos da tensão de cedência, como no caso da avaliação da fiabilidade de uma determinada estrutura ou da segurança de uma construção existente, poderá ser conveniente ter este aspeto em consideração, adotando valores médios, desvios-padrão e valores característicos diferentes dos apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Com o objetivo de ilustrar as diferenças entre as distribuições estatísticas da tensão de cedência de varões provenientes de diferentes origens são apresentados vários exemplos de distribuições referentes a um único fabricante, de um determinado tipo de varão. A fim de se poder tomar em conta a influência da origem dos varões são ainda apresentados os parâmetros estatísticos das distribuições de resultados correspondentes a cada um dos fabricantes de cada um dos tipos de varões analisados.

Esta informação fornece uma noção adicional e mais realista sobre a resistência dos varões de aço da classe A500 certificados em Portugal durante os últimos 25 anos. Poderá, por isso, constituir uma ferramenta útil para a avaliação futura das construções em betão armado realizadas em Portugal desde o início do século XXI até à data atual.

REFERÊNCIAS

- [1] NP EN 1992-1-1:2010 “Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios”, 259 p.
- [2] Decreto-Lei nº 128/99, de 21 de abril.
- [3] Decreto-Lei nº 390/2007, de 10 de dezembro.
- [4] Baptista, A. M.; Filipe, J. (2016). “Tensão de cedência dos aços de varões para betão armado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas”, Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2016, FCTUC, 2016, 10 p.
- [5] Especificação LNEC E 456:2020 “Varões de aço A500 ER para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2020.
- [6] Especificação LNEC E 450:2017 “Varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.
- [7] Especificação LNEC E 460:2017 “Varões de aço A500 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.