

Tensão de cedência dos aços de varões para betão armado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas



**António Manuel
Baptista ¹**



João Filipe ²

Resumo

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.

Para cada classe de resistência destes aços, a tensão de cedência pode apresentar variações significativas, que dependem da composição química do aço, da proveniência dos varões (do fabricante, dos métodos de fabrico utilizados e do respetivo lote de produção), do diâmetro dos varões e dos métodos de ensaio utilizados na sua determinação, por exemplo.

O presente artigo apresenta um estudo estatístico da informação sobre os valores de f_y (ou de $f_{0,2}$) obtida pelo LNEC, ao longo das duas últimas décadas, no âmbito do controlo periódico deste tipo de produto.

Com base nos resultados obtidos estabelecem-se comparações entre distribuições estatísticas desta característica mecânica, referentes a aços pertencentes a diferentes classes de resistência, e procede-se a uma análise da sua evolução ao longo do tempo e da sua conformidade com as exigências normativas que lhes são aplicáveis.

É também apresentada uma comparação entre as distribuições estatísticas dos valores de f_y obtidos no âmbito dos ensaios de verificação do produto, realizados pelo fabricante dos varões, e as distribuições estatísticas dos valores de f_y obtidos nos ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC.

Palavras-chave: Betão armado / Varões de aço / Tensão de cedência / Análise estatística

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa, Portugal; e-mail: ambaptista@lnec.pt

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa, Portugal; e-mail: jfilipe@lnec.pt

1. INTRODUÇÃO

A tensão de cedência à tração (f_y) dos aços dos varões utilizados em estruturas de betão armado, 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 deste tipo de estruturas [1].

Estes cálculos são efetuados com base no valor característico (f_{yk}) correspondente ao quantilho de 5% da distribuição estatística desta propriedade, referente às armaduras utilizadas na estrutura em questão.

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. 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.

De acordo com o Eurocódigo 2 [1], embora não exista uma relação direta entre o valor característico f_{yk} , referente às armaduras utilizadas numa dada estrutura, e o valor da tensão de cedência garantido pelo fabricante, é possível considerar que os métodos de avaliação e verificação da tensão de cedência utilizados no seu controlo de qualidade são suficientes para uma verificação do valor de f_{yk} .

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 tensão de cedência 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, para cada classe de resistência destes aços, a tensão de cedência pode apresentar variações significativas, que dependem da composição química do aço, da proveniência dos varões (do fabricante, dos métodos de fabrico utilizados e do respetivo lote de produção), do diâmetro dos varões e dos métodos de ensaio utilizados na sua determinação, por exemplo.

Na falta de informação experimental específica sobre a distribuição estatística da tensão de cedência referente às armaduras de aço utilizadas numa dada estrutura, torna-se útil conhecer a distribuição estatística global desta propriedade, no conjunto dos varões de aço de uma dada classe de resistência controlados, num determinado período, em Portugal.

O presente artigo apresenta um estudo estatístico da informação sobre os valores de f_y (ou de $f_{0,2}$) obtida pelo LNEC ao longo das duas últimas décadas, no âmbito do referido controlo periódico. Com base nos resultados obtidos estabelecem-se comparações entre distribuições estatísticas desta característica mecânica, referentes a aços pertencentes a diferentes classes de resistência, e procede-se a uma análise da sua evolução ao longo do tempo e da sua conformidade com as exigências normativas que lhes são aplicáveis.

É também apresentada uma comparação entre as distribuições estatísticas dos valores de f_y obtidos no âmbito dos ensaios de verificação do produto, realizados pelo fabricante dos varões, e as distribuições estatísticas dos valores de f_y obtidos nos ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC.

Doravante, a tensão de cedência passará a ser designada através do símbolo R_e , em conformidade com as Especificações LNEC E 449 [2], E 450 [3], E 455 [4] e E 460 [5], e com a norma europeia NP EN ISO 6892-1 [6].

2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO ESTATÍSTICO

Os resultados da análise estatística realizada são apresentados nas Figuras 1 a 20.

Os histogramas das Figuras 1 a 4 apresentam as distribuições estatísticas dos valores de R_e referentes aos aços da classe de ductilidade NR, provenientes dos ensaios realizados pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC. Os histogramas das Figuras 7 a 10 apresentam as distribuições estatísticas dos valores de R_e relativos aos aços NRSD, de ductilidade especial, também provenientes dos ensaios realizados pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC.

Os valores de R_e representam a tensão de cedência superior (R_{eH}) do aço, ou a tensão limite convencional de proporcionalidade ($R_{0,2}$) no caso de o aço não manifestar uma diminuição de força resistente na cedência.

Os histogramas das Figuras 5 e 6, 11 e 12, apresentam as distribuições estatísticas dos valores da relação $R_{e,Fab}/R_{e,LNEC}$, entre os valores de R_e de cada varão amostrado, determinados pelo fabricante e pelo LNEC (neste caso, sobre uma segunda amostra do mesmo varão).

Cada um dos histogramas das Figuras 1 a 12 inclui o conjunto dos resultados obtidos para todos os 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.

As Figuras 13 e 14 mostram as curvas de densidade (*Kernel density estimation*) dos valores de R_e referentes a varões de aço da classe A400 NR, obtidos pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC, respetivamente, ao longo de cinco triénios sucessivos, compreendidos entre os anos de 2000 e 2014. Cada uma das curvas engloba o conjunto de resultados referentes a todos os diâmetros de varões controlados, acima referidos.

As Figuras 15 e 16 são semelhantes às Figuras 13 e 14, e dizem respeito aos valores de R_e referentes a varões de aço da classe A500 NR, obtidos pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC, respetivamente, ao longo dos mesmos cinco triénios sucessivos, compreendidos entre os anos de 2000 e 2014.

As Figuras 17 a 20 são semelhantes às Figuras 13 a 16, e dizem respeito aos valores de R_e referentes aos varões de aço das classes A400 NR SD e A500 NR SD, obtidos pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC ao longo dos mesmos cinco triénios sucessivos.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Influência da origem dos resultados

A Figura 1 mostra um histograma onde consta o número de varões de aço da classe de resistência A400 NR, obtidos em ensaios de tração realizados pelos fabricantes, que apresentam valores de R_e compreendidos dentro de cada um dos vinte e seis intervalos nela indicados, entre 380 MPa e 640 MPa. O valor médio dos 4417 resultados apresentados é de 479,6 MPa e o seu desvio-padrão é de 30,54 MPa.

A Figura 3 mostra um histograma idêntico ao da Figura 1, onde são apresentados os valores de R_e obtidos em ensaios de tração de varões de aço da classe A400 NR realizados pelo LNEC. O valor médio dos 4445 resultados apresentados é de 479,2 MPa e o seu desvio-padrão é de 31,67 MPa.

As Figuras 1 e 2 mostram que as médias e os desvios-padrão dos resultados de R_e , obtidos em ensaios de tração de varões de aço A400 NR realizados pelos fabricantes e pelo LNEC, são praticamente iguais. Embora existam algumas diferenças entre os dois histogramas na vizinhança dos respetivos valores médios, estas diferenças não são suscetíveis de influenciar o valor característico correspondente ao quantilho de 5% das respetivas distribuições estatísticas.

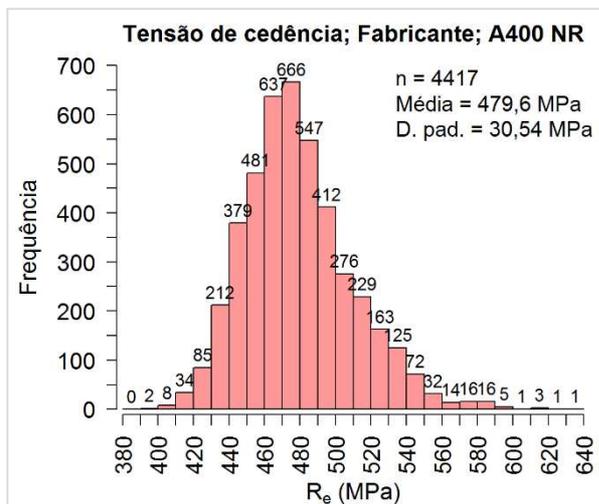


Figura 1. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes, para varões de aço da classe A400 NR.

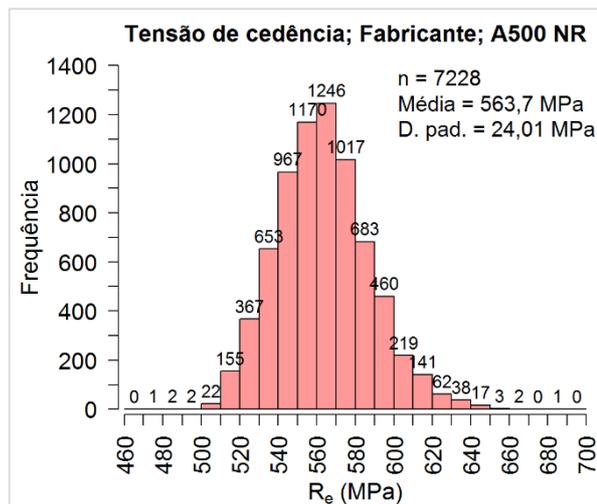


Figura 2. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes, para varões de aço da classe A500 NR.

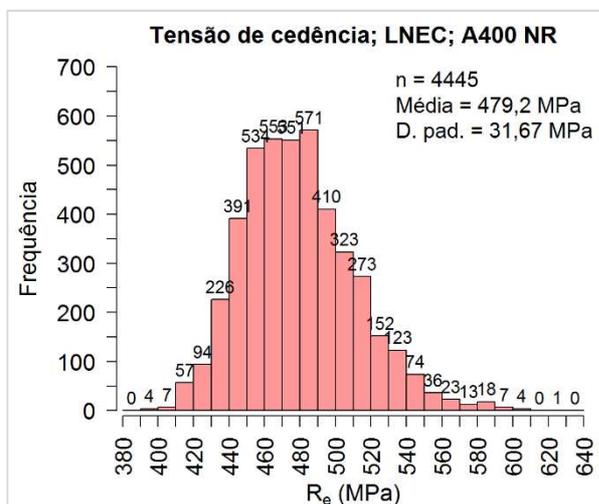


Figura 3. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC, para varões de aço da classe A400 NR.

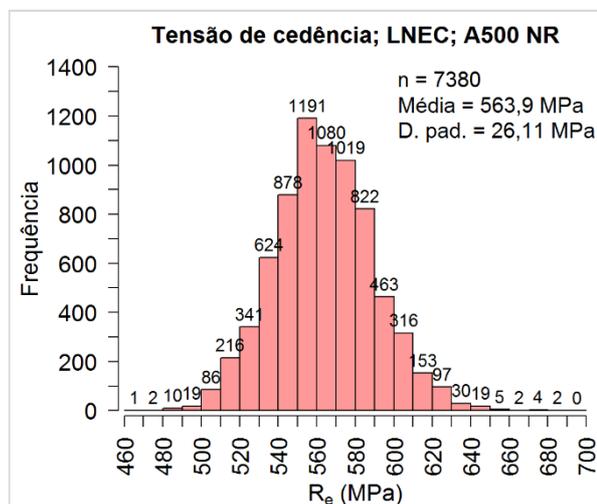


Figura 4. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC, para varões de aço da classe A500 NR.

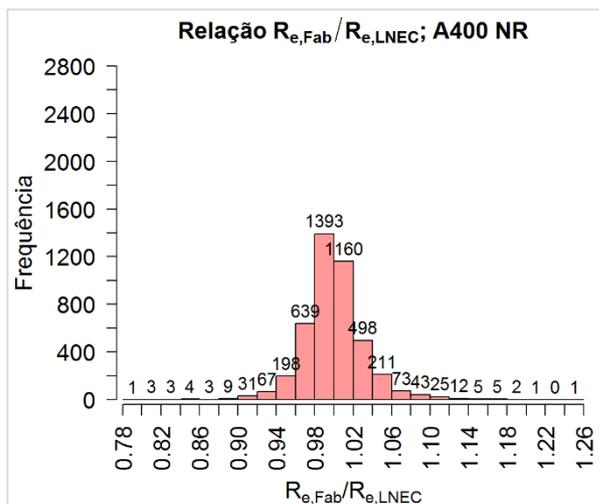


Figura 5. Relação entre os valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço da classe A400 NR.

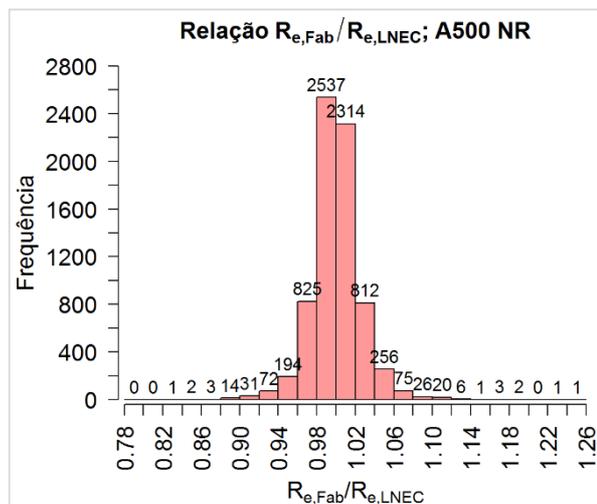


Figura 6. Relação entre os valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço da classe A500 NR.

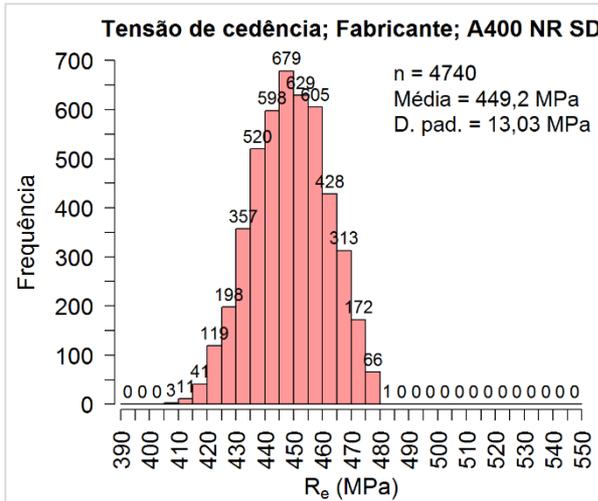


Figura 7. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes, para varões de aço da classe A400 NR SD.

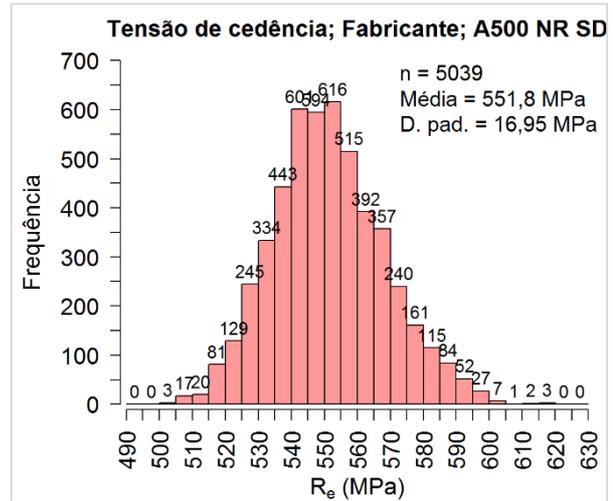


Figura 8. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes, para varões de aço da classe A500 NR SD.

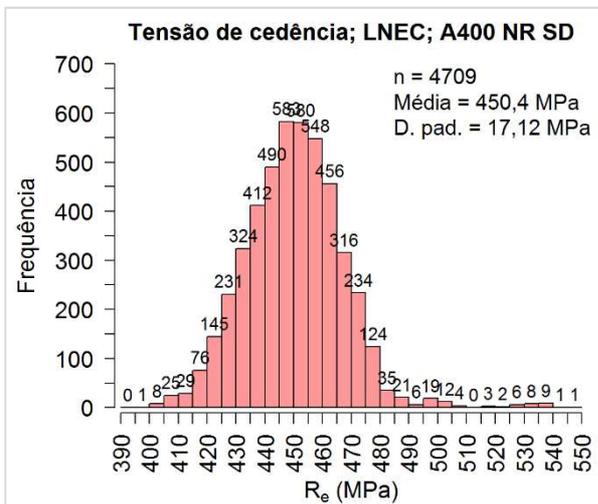


Figura 9. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC, para varões de aço da classe A400 NR SD.

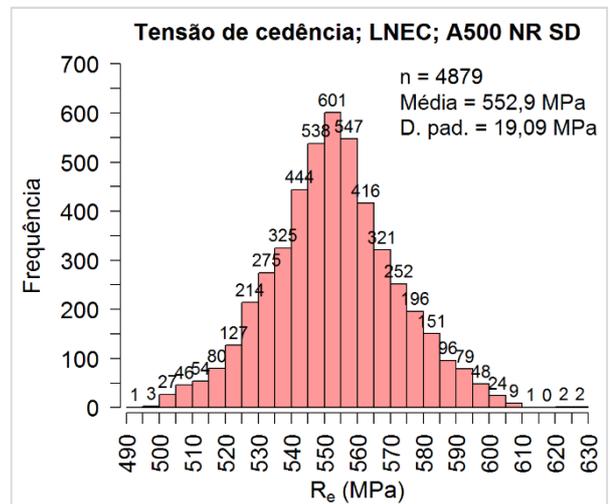


Figura 10. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC, para varões de aço da classe A500 NR SD.

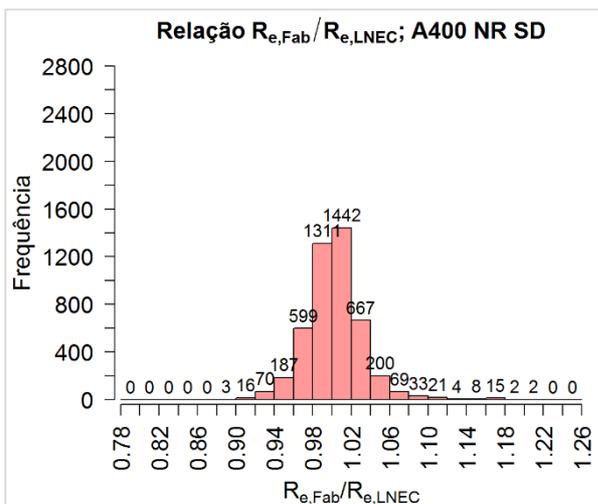


Figura 11. Relação entre os valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço da classe A400 NR SD.

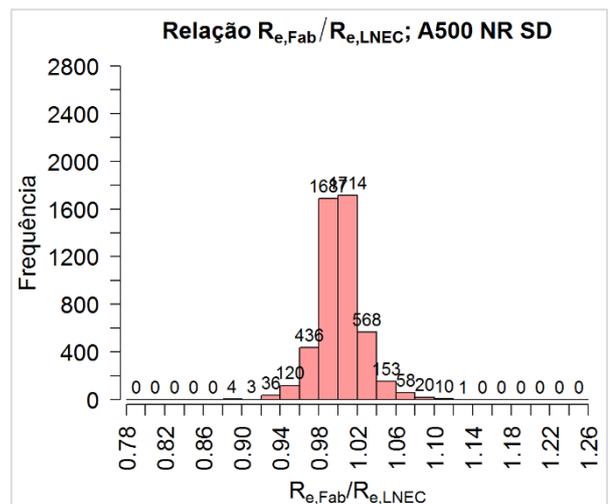


Figura 12. Relação entre os valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço da classe A500 NR SD.

Como foi já referido, a Figura 5 apresenta a distribuição estatística da relação $R_{e,Fab}/R_{e,LNEC}$ entre os valores de R_e de cada varão de aço A400 NR, determinados pelo fabricante e pelo LNEC. É possível constatar que o valor médio desta distribuição é muito próximo de 1,0, o que significa que a grande maioria dos resultados obtidos pelos fabricantes são bastante próximos dos resultados obtidos pelo LNEC sobre uma segunda amostra do mesmo varão.

A maioria dos valores desta relação está compreendida no intervalo [0,96 ; 1,04]; atendendo à natural dispersão das características do aço, devida à variação da sua composição química e da sua microestrutura ao longo de um mesmo varão, conclui-se que as incertezas associadas aos métodos de ensaio e aos equipamentos utilizados pelos fabricantes e pelo LNEC não afetam significativamente os resultados individuais de R_e relativos a um mesmo varão, conclusão esta que é corroborada pela semelhança entre as distribuições estatísticas apresentadas nas Figuras 1 e 2.

A mesma conclusão pode ser retirada das Figuras 6, 11 e 12, referentes às distribuições estatísticas da relação $R_{e,Fab}/R_{e,LNEC}$ obtidas para um mesmo varão da classe A500 NR, A400 NR SD ou A500 NR SD, respetivamente. A maioria dos valores desta relação está, mais uma vez, compreendida no intervalo [0,96 ; 1,04], em todos estes histogramas.

Por outro lado, é também possível constatar que as médias e os desvios-padrão das distribuições estatísticas dos valores de R_e obtidos pelos fabricantes dos varões ou pelo LNEC, respetivamente, são sempre muito próximos, para todas as classes de resistência. Com efeito, no caso dos varões A500 NR (Figuras 2 e 4), os valores médios de R_e são iguais a 563,7 MPa e a 563,9 MPa, respetivamente para os resultados dos fabricantes e do LNEC; os desvios-padrão correspondentes são iguais a 24,01 MPa e a 26,11 MPa. No caso dos varões A400 NR SD (Figuras 7 e 9), os valores médios de R_e são iguais a 449,2 MPa e a 450,4 MPa, respetivamente para os resultados dos fabricantes e do LNEC; os desvios-padrão correspondentes são iguais a 13,03 MPa e a 17,12 MPa.

Finalmente, no caso dos varões A500 NR SD (Figuras 8 e 10), os valores médios de R_e são iguais a 551,8 MPa e a 552,9 MPa, respetivamente para os resultados dos fabricantes e do LNEC; os desvios-padrão correspondentes são iguais a 16,95 MPa e a 19,09 MPa.

Em resumo, pode-se afirmar que a origem dos resultados analisados neste estudo, quer eles provenham dos fabricantes dos varões ou do LNEC, não afeta significativamente as distribuições estatísticas dos valores de R_e relativos a qualquer uma das classes de resistência e, conseqüentemente, não condiciona as conclusões estabelecidas neste trabalho.

3.2. Influência da classe de resistência

Através da comparação da Figura 1 com a Figura 2 (ou da comparação da Figura 3 com a Figura 4) é possível analisar as diferenças principais entre as distribuições dos valores de R_e relativos a varões de aço das classes de resistência A400 e A500, respetivamente, e da classe de ductilidade NR. É possível constatar que a dispersão dos valores de R_e para os varões de aço da classe A400 NR é sempre superior à dispersão dos valores de R_e para os varões de aço da classe A500 NR.

No caso dos resultados obtidos pelos fabricantes, o desvio-padrão de R_e para a classe A400 NR (30,54 MPa) é 27% mais elevado (6,53 MPa) que para a classe A500 NR (24,01 MPa); no caso dos resultados obtidos pelo LNEC, o desvio-padrão de R_e para a classe A400 NR (31,67 MPa) é 21% mais elevado (5,56 MPa) que para a classe A500 NR (26,11 MPa).

Por outro lado, no caso dos varões de aço da classe de ductilidade especial NR SD, a dispersão dos valores de R_e é menor para a classe de resistência A400 que para a classe de resistência A500. Com efeito, através da comparação da Figura 7 com a Figura 8 é possível constatar que, no caso dos resultados obtidos pelos fabricantes, o desvio-padrão de R_e para a classe A500 NR SD (16,95 MPa) é 30% mais elevado (3,92 MPa) que para a classe A400 NR SD (13,03 MPa); no caso dos resultados obtidos pelo LNEC, o desvio-padrão de R_e para a classe A500 NR SD (19,09 MPa) é 12% mais elevado (1,97 MPa) que para a classe A400 NR SD (17,12 MPa).

3.3. Influência da classe de ductilidade

Através da comparação das Figuras 1 a 4 com as Figuras 7 a 9 é possível analisar as diferenças principais entre as distribuições dos valores de R_e relativos a varões de aço da classe de ductilidade NR e a varões de aço da classe de ductilidade especial NR SD.

É possível constatar que a dispersão dos valores de R_e é sempre maior no caso dos varões de aço da classe de ductilidade NR que no caso dos varões de aço da classe de ductilidade especial NR SD pertencentes à mesma classe de resistência. Este facto traduz um controlo da qualidade do produto mais eficaz no caso da produção dos varões NRSD que no caso dos varões NR.

No caso dos resultados obtidos pelos fabricantes, o desvio-padrão de R_e para a classe A400 NR (30,54 MPa) é 134% mais elevado (17,51 MPa) que para a classe A400 NR SD (13,03 MPa); no caso dos resultados obtidos pelo LNEC, o desvio-padrão de R_e para a classe A400 NR (31,67 MPa) é 85% mais elevado (14,55 MPa) que para a classe A400 NR SD (17,12 MPa).

Estas diferenças são, contudo, menores para os varões de aço da classe de resistência A500. No caso dos resultados obtidos pelos fabricantes, o desvio-padrão de R_e para a classe A500 NR (24,01 MPa) é 42% mais elevado (7,06 MPa) que para a classe A500 NR SD (16,95 MPa); no caso dos resultados obtidos pelo LNEC, o desvio-padrão de R_e para a classe A500 NR (26,11 MPa) é 37% mais elevado (7,02 MPa) que para a classe A500 NR SD (19,09 MPa).

Entretanto, verifica-se que a maior dispersão dos valores de R_e para os varões de aço da classe de ductilidade NR é compensada por um valor médio mais elevado dos valores de R_e destes varões, em relação ao valor médio de R_e referente aos varões de aço da classe de ductilidade especial NR SD.

Consequentemente, os valores característicos correspondentes ao quantilho de 5% das distribuições estatísticas dos valores de R_e referentes aos varões de aço da classe de ductilidade NR são bastante próximos dos mesmos valores característicos referentes aos varões de aço da classe de ductilidade especial NR SD.

No caso dos resultados obtidos pelos fabricantes, o valor característico correspondente ao quantilho de 5% dos valores de R_e para a classe A400 NR é igual a 428 MPa, enquanto que para a classe A400 NR SD este valor característico é igual a 427 MPa. No caso dos resultados obtidos pelo LNEC, este valor característico dos valores de R_e para a classe A400 NR é igual a 426 MPa, enquanto que para a classe A400 NR SD é igual a 422 MPa.

Os valores característicos dos aços da classe de resistência A500 são ainda mais próximos entre si, para as duas classes de ductilidade NR e NR SD. No caso dos resultados obtidos pelos fabricantes, o valor característico correspondente ao quantilho de 5% dos valores de R_e para a classe A500 NR é de 523 MPa, igual ao valor característico de R_e a classe A500 NR SD. No caso dos resultados obtidos pelo LNEC, este valor característico dos valores de R_e para a classe A500 NR é igual a 520 MPa, enquanto que para a classe A500 NR SD é igual a 521 MPa.

Faz-se notar que todos estes valores característicos satisfazem os requisitos das Especificações LNEC E 449 [2], E 450 [3], E 455 [4] e E 460 [5], as quais estipulam um valor característico mínimo referente ao quantilho de 5% igual a 400 MPa, para as classes de resistência A400, e igual a 500 MPa, para as classes de resistência A500.

No entanto, destaca-se o facto de ser mais provável encontrar valores de R_e muito superiores ao valor característico mínimo no caso dos varões de aço das classes NR que nos varões de aço das classes NRSD; veja-se, por exemplo, as Figuras 1 e 7, onde os valores máximos de R_e são próximos de 640 MPa e de 485 MPa, respetivamente, para um valor característico mínimo de 400 MPa. No caso dos aços A500 estas diferenças não são tão notórias; o valor máximo indicado na Figura 4 é próximo de 690 MPa (A500 NR) e o valor máximo indicado na Figura 10 é próximo de 630 MPa (A500 NR SD).

Por último, assinala-se o facto de os valores individuais não conformes de R_e (inferiores a 400 MPa ou 500 MPa, conforme a classe de resistência) serem bastante escassos. No conjunto dos 8862 resultados de varões de aço A400 NR, apenas 0,07% são não conformes, e entre os 14608 resultados de varões de aço A500 NR, apenas 0,25% são não conformes.

No caso dos aços da classe de ductilidade especial NR SD, os resultados são ainda melhores. No conjunto dos 9449 resultados de varões de aço A400 NR SD apenas 0,01% são não conformes, e entre os 9918 resultados de varões de aço A500 NR SD apenas 0,04% são não conformes.

3.4. Variação da produção ao longo do tempo

As Figuras 13 a 20 mostram as curvas de densidade (Kernel density estimation) dos valores de R_e referentes a varões das quatro classes de aço (A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A400 NR SD), obtidos pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC, respetivamente, ao longo de cinco triénios sucessivos, compreendidos entre os anos de 2000 e 2014. Cada uma das curvas engloba o conjunto de resultados referentes a todos os diâmetros de varões controlados, acima referidos.

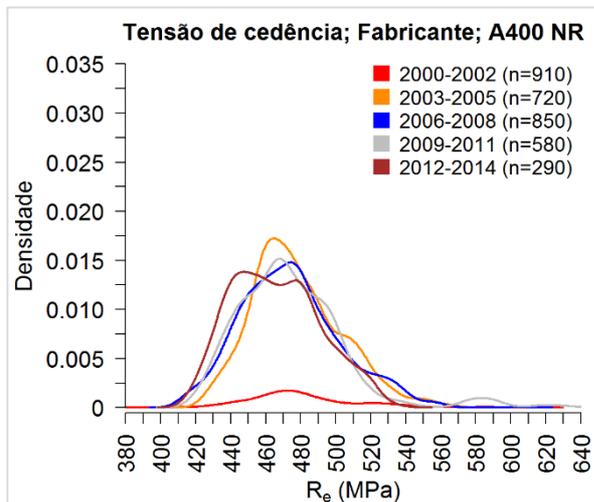


Figura 13. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes para varões de aço da classe A400 NR, ao longo dos anos 2000 a 2014.

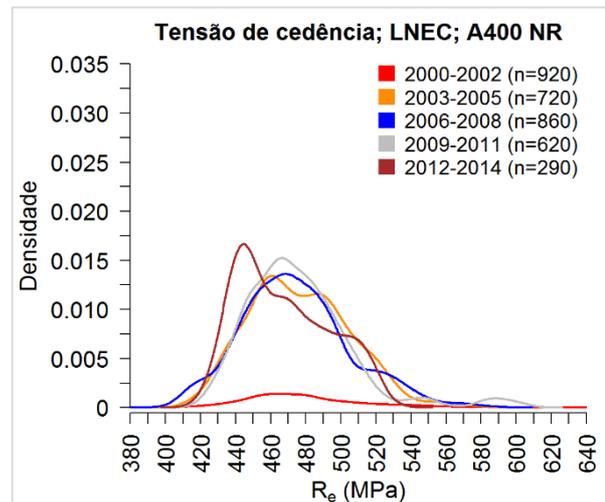


Figura 14. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC para varões de aço da classe A400 NR, ao longo dos anos 2000 a 2014.

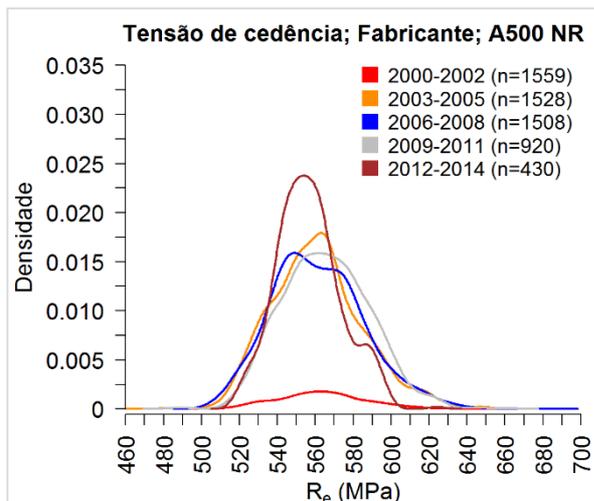


Figura 15. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes para varões de aço da classe A500 NR, ao longo dos anos 2000 a 2014.

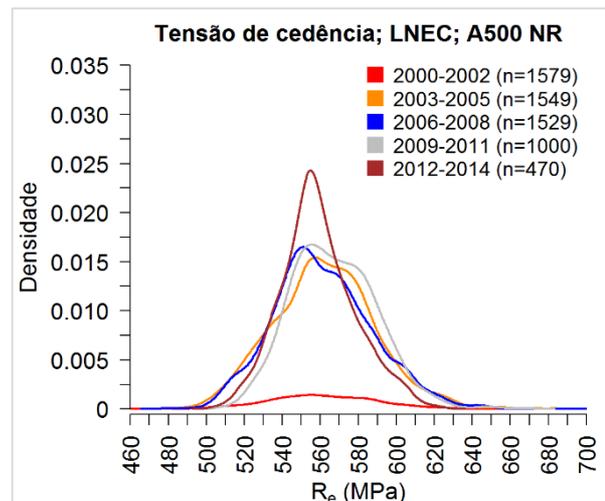


Figura 16. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC para varões de aço da classe A500 NR, ao longo dos anos 2000 a 2014.

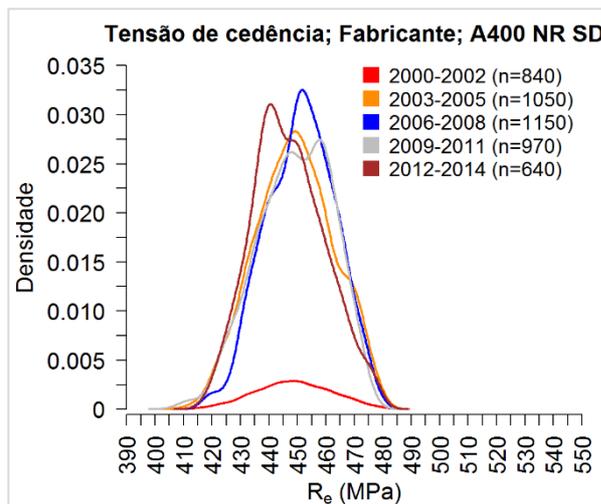


Figura 17. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes para varões de aço da classe A400 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2014.

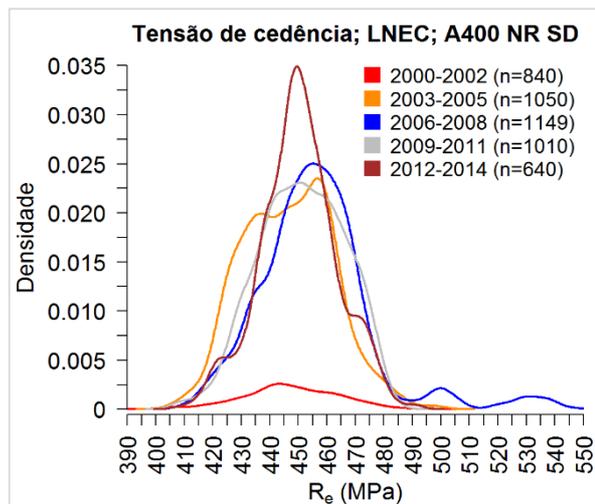


Figura 18. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC para varões de aço da classe A400 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2014.

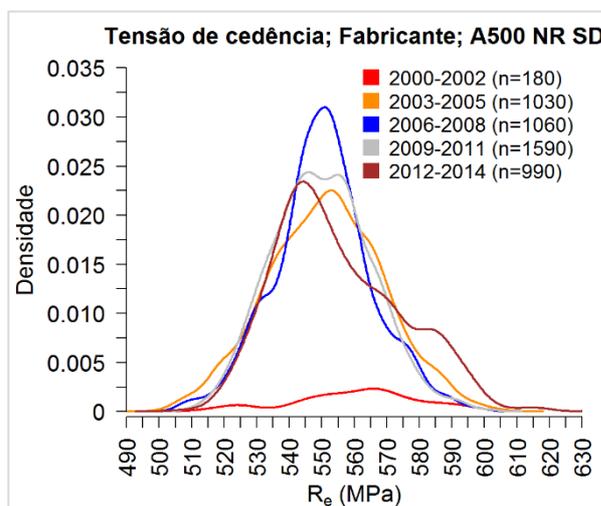


Figura 19. Valores da tensão de cedência obtidos pelos fabricantes para varões de aço da classe A500 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2014.

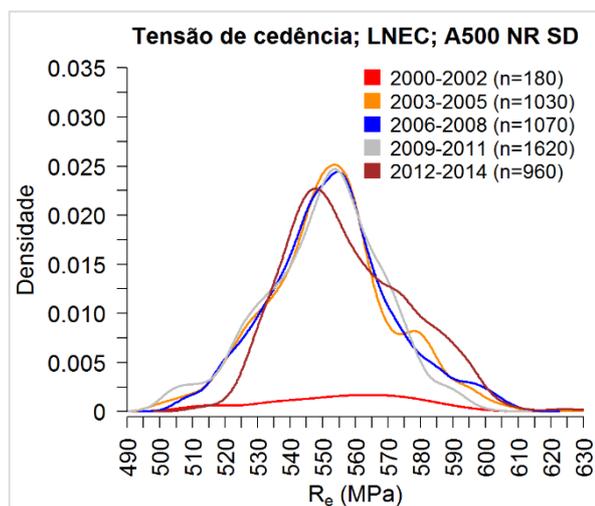


Figura 20. Valores da tensão de cedência obtidos pelo LNEC para varões de aço da classe A500 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2014.

Com base na análise das Figuras 13 a 20 é possível verificar que as distribuições estatísticas dos valores de R_e se têm mantido relativamente constantes ao longo do tempo, entre 2000 e 2014, independentemente das classes de resistência e de ductilidade dos aços.

No conjunto das curvas apresentadas em cada uma das figuras existe uma que se destaca, referente ao triénio compreendido entre 2000 e 2002. Supõe-se que este facto resulta de se dispor de menos resultados de ensaios para este período que para os restantes triénios. Quanto às restantes curvas pode-se constatar que, em cada uma das figuras, são sensivelmente próximas umas das outras, sobretudo no período compreendido entre 2003 e 2011.

Esta facto permite concluir que, em face do conjunto total dos resultados analisados, incluindo todos os diâmetros de varões e todos os fabricantes, se pode considerar que, no que respeita aos valores de R_e , a qualidade global da produção de cada um destes quatro tipos de aço se manteve sensivelmente constante ao longo do tempo.

4. CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta um estudo estatístico dos valores da tensão de cedência à tração (R_e) dos aços dos varões utilizados em estruturas de betão armado realizadas em Portugal desde o ano de 2000. Os resultados experimentais analisados dizem respeito às classes A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A500 NR SD, que são as mais frequentemente utilizadas, e foram recolhidos pelo LNEC no âmbito do controlo periódico destes produtos.

É possível constatar que a quase totalidade dos valores individuais de R_e analisados são superiores aos respetivos valores característicos mínimos, prescritos nas Especificações LNEC [2, 3, 4 e 5] aplicáveis a cada um dos produtos analisados. Apenas 7 dos 18311 valores de R_e analisados no conjunto das classes A400 NR e A400 NR SD são inferiores a 400 MPa, e apenas 41 dos 24526 valores de R_e analisados no conjunto das classes A500 NR e A500 NR SD são inferiores a 500 MPa.

Os valores característicos referentes ao quantilho de 5% das distribuições dos valores de R_e foram calculados para cada uma das quatro classes de resistência com um nível de confiança de 95%, tendo em conta a dimensão do conjunto de resultados analisados. Os valores característicos calculados com base nos resultados dos ensaios de verificação do produto realizados pelos fabricantes dos varões, são semelhantes aos calculados com base nos resultados dos ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC. No caso da classe A400 NR, estes valores são iguais a 428 MPa e 426 MPa, respetivamente, e no caso da classe A400 NR SD são iguais a 427 MPa e a 422 MPa. No caso da classe A500 NR ambos os valores característicos são iguais a 523 MPa, e no caso da classe A500 NR SD são iguais a 520 MPa e a 521 MPa, respetivamente para os fabricantes e para o LNEC.

No seu conjunto, estes resultados são muito satisfatórios. Constatou-se igualmente que, no que respeita aos valores de R_e , se pode considerar que a qualidade global da produção de cada um destes quatro tipos de varões de aço se manteve sensivelmente constante ao longo do tempo.

No entanto, é necessário ter em conta que os valores da tensão de cedência dos varões de aço para betão armado podem apresentar variações significativas, que dependem, por exemplo, do diâmetro dos varões e da sua proveniência (do fabricante, dos métodos de fabrico utilizados e do respetivo lote de produção). Interessa, por este motivo, analisar as diferenças entre as distribuições estatísticas dos valores de R_e obtidos para determinadas condições particulares (para um único diâmetro, por exemplo). Esta análise ultrapassa, porém, as limitações do presente artigo.

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] Especificação LNEC E 449:2010 “Varões de aço A400 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010.
- [3] Especificação LNEC E 450:2010 “Varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010.
- [4] Especificação LNEC E 455:2010 “Varões de aço A400 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010.
- [5] Especificação LNEC E 460:2010 “Varões de aço A500 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010.
- [6] NP EN ISO 6892-1:2012. Materiais metálicos. Ensaios de tração. Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente (ISO 6892-1:2009).