

Extensão total na força máxima dos aços de varões para armaduras de betão armado. Análise da sua distribuição estatística nas duas últimas décadas



**António Manuel
Baptista ¹**



João Filipe ²

RESUMO

A extensão total na força máxima, A_{gt} , é uma das características do aço dos varões para betão armado que permite avaliar a sua ductilidade, sendo por isso importante para avaliar o desempenho destes varões em regime elastoplástico. Esta característica é avaliada através de ensaios de tração de provetes retirados de varões.

Constata-se que, em geral, os valores de A_{gt} apresentam uma dispersão bastante mais elevada que os das outras características do mesmo aço avaliadas através de ensaios de tração, como por exemplo a tensão de cedência ou a resistência à tração. Esta dispersão pode resultar de vários fatores, tais como a composição química do aço, a proveniência dos varões (fabricante, métodos de fabrico utilizados e respetivo lote de produção), o diâmetro dos varões e os métodos de ensaio utilizados na sua determinação, por exemplo.

O presente artigo apresenta um estudo estatístico da informação sobre os valores de A_{gt} obtida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), ao longo das duas últimas décadas, no âmbito do controlo periódico dos varões de aço para betão armado utilizados em Portugal. Com base nos resultados obtidos estabelecem-se comparações entre distribuições estatísticas desta característica mecânica, referentes a aços pertencentes a diferentes classes de resistência e de ductilidade, 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 A_{gt} obtidos no âmbito dos ensaios de verificação do produto, realizados pelo fabricante dos varões, e as distribuições estatísticas dos valores de A_{gt} obtidos nos ensaios de acompanhamento (controlo externo) realizados pelo LNEC.

Palavras-chave: Certificação / Varões de aço / Ductilidade / Extensão total na força máxima / Análise estatística

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

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

1. INTRODUÇÃO

A extensão total na força máxima (ϵ_u) é uma das características mecânicas dos aços dos varões para betão armado que, conjuntamente com a relação entre a resistência à tração (f_t) e a tensão de cedência (f_y), permite avaliar a ductilidade das armaduras utilizadas em elementos estruturais de betão armado, sendo por isso importante para avaliar o desempenho destes varões em regime elastoplástico. Esta propriedade assume uma importância particularmente relevante quando estes varões são utilizados em estruturas sujeitas a ações sísmicas.

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], [2]. 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 extensão total na força máxima (A_{gt}). 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. Constata-se que, em geral, os valores da extensão total na força máxima apresentam uma dispersão bastante mais elevada que os das outras características do mesmo aço avaliadas através de ensaios de tração, como por exemplo a tensão de cedência ou a resistência à tração. Esta dispersão pode resultar de vários fatores, tais como a composição química do aço, a proveniência dos varões (fabricante, métodos de fabrico utilizados – em barra ou em rolo p. ex. - e respetivo lote de produção), o diâmetro dos varões e os métodos de ensaio utilizados na sua determinação.

Conforme referido no Eurocódigo 2 [3], o valor característico das propriedades dos aços dos varões, 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 das mesmas propriedades dos varões colocados no mercado são garantidos pelo fabricante com base no controlo do nível de qualidade a longo prazo da produção dos varões. No entanto, considera-se que os métodos de avaliação e verificação utilizados no controlo de qualidade dos varões são suficientes para uma quantificação dos valores característicos referentes a uma dada estrutura, em particular.

Na falta de informação experimental específica sobre a distribuição estatística da extensão total na força máxima (ϵ_u) referente às armaduras de aço utilizadas numa dada estrutura, que permita corroborar a hipótese atrás referida, torna-se útil conhecer a distribuição estatística global da extensão total na força máxima (A_{gt}) no conjunto dos varões de aço de um dado tipo controlados, num determinado período, em Portugal.

O presente artigo apresenta um estudo estatístico da informação sobre os valores de A_{gt} obtida pelo LNEC ao longo das duas últimas décadas, no âmbito do referido controlo periódico. Com base nos resultados deste estudo, estabelecem-se comparações entre as distribuições estatísticas dos valores de A_{gt} correspondentes aos resultados obtidos pelos Fabricantes ou pelo LNEC, referentes a varões pertencentes a diferentes classes de resistência e de ductilidade, e analisa-se a sua evolução ao longo do tempo, desde o ano de 2000. Para cada tipo de varão é verificada a conformidade destes resultados com os respetivos requisitos, estabelecidos no Eurocódigo 2 e nas Especificações LNEC.

2. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO ESTATÍSTICO

Os resultados da análise estatística realizada são apresentados nas Figs. 1 a 20. Cada uma destas figuras inclui o conjunto dos resultados obtidos para todos os diâmetros de varões controlados e previstos nas Especificações LNEC E 449:2017 [7], LNEC E 450:2017 [8], LNEC E 455:2017 [9] e LNEC E 460:2017 [10]: 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm, 32 mm e 40 mm.

Os histogramas das Figs. 1 a 4 e das Figs. 7 a 10 apresentam as distribuições estatísticas dos valores de A_{gt} referentes aos aços das classes de ductilidade NR e NR SD, respetivamente, provenientes dos ensaios realizados pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC. Os histogramas das Figs. 5, 6, 11 e 12, apresentam as distribuições estatísticas dos valores da relação $A_{gt,Fab} / A_{gt,LNEC}$ entre os valores de A_{gt} de cada varão amostrado, determinados pelo fabricante e pelo LNEC (neste caso, sobre uma segunda amostra do mesmo varão).

O Quadro 1 apresenta uma síntese da informação contida nas Figs. 1 a 12, com a indicação do número total de resultados analisados, obtidos pelos fabricantes dos varões ou pelo LNEC, e dos respetivos valores médios e desvios-padrão, para cada tipo de varão de aço considerado.

As Figs. 13 a 20 mostram as curvas de densidade (*Kernel density estimation*) dos valores de A_{gt} referentes aos aços das classes de ductilidade NR e NR SD, obtidos pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC ao longo de seis triénios sucessivos, entre os anos de 2000 e 2017.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Influência da origem dos resultados

A Fig. 1 mostra um histograma onde consta o número de varões de aço do tipo A400 NR que apresentam valores de A_{gt} , obtidos em ensaios de tração realizados pelos Fabricantes, compreendidos dentro de cada um dos 90 intervalos nela indicados, entre $A_{gt}=5\%$ e $A_{gt}=23\%$. O valor médio dos 3508 resultados apresentados é de 14,25 % e o seu desvio-padrão é de 2,623 %.

A Fig. 3 mostra um histograma idêntico ao da Fig. 1, onde são apresentados os valores de A_{gt} obtidos em ensaios de tração de varões de aço do tipo A400 NR realizados pelo LNEC. O valor médio dos 3670 resultados apresentados é de 14,65 % e o seu desvio-padrão é de 2,630 %.

Os conjuntos de figuras 1 e 3, 2 e 4, 7 e 9, e 8 e 10, mostram que as médias e os desvios-padrão dos valores de A_{gt} , obtidos em ensaios de tração de varões de aço realizados pelos Fabricantes e pelo LNEC, são relativamente semelhantes entre si. Embora existam diferenças entre os dois histogramas, estas diferenças não são suscetíveis de influenciar significativamente os respetivos valores característicos.

As Figs. 5, 6, 11 e 12 apresentam as distribuições estatísticas da relação $A_{gt,Fab} / A_{gt,LNEC}$ entre os valores de A_{gt} de cada varão de aço do tipo A400 NR, A500 NR, A400 NR SD ou A500 NR SD, determinados pelo fabricante e pelo LNEC. É possível constatar que os valores médios \bar{x} destas distribuições se encontram compreendidos entre 0,981 e 1,025 (ver também o Quadro 1), o que significa que a maioria dos resultados obtidos pelos Fabricantes são próximos dos resultados obtidos pelo LNEC sobre uma segunda amostra do mesmo varão. No entanto, conforme se pode observar no Quadro 1, os desvios-padrão σ de todas estas quatro distribuições estatísticas são muito elevados (os coeficientes de variação são de cerca de 15%); os valores da relação $A_{gt,Fab} / A_{gt,LNEC}$ estão compreendidos, na sua maioria, dentro do intervalo [0,5; 1,7].

Quadro 1: Quadro recapitulativo do número de resultados analisados (n) e dos respetivos valores médios (\bar{x}) e desvios-padrão (σ)

Tipo de varão	A_{gt} - Fabricantes			A_{gt} - LNEC			$A_{gt,Fab}/A_{gt,LNEC}$		
	n	\bar{x} (%)	σ (%)	n	\bar{x} (%)	σ (%)	n	\bar{x} (%)	σ (%)
A400 NR	3508	14,25	2,623	3670	14,65	2,630	3476	0,981	0,1658
A500 NR	6265	10,88	1,887	6666	10,73	1,920	6220	1,025	0,1671
A400 NR SD	5135	15,82	2,153	5173	16,21	2,080	5136	0,987	0,1491
A500 NR SD	5790	11,89	1,609	5760	11,82	1,899	5685	1,021	0,1600

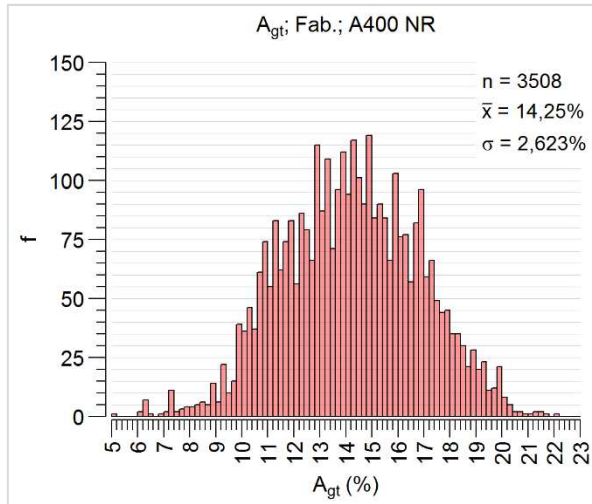


Figura 1. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A400 NR.

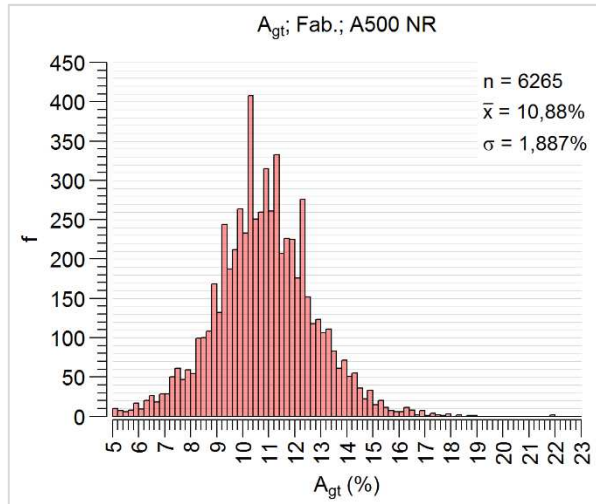


Figura 2. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A500 NR.

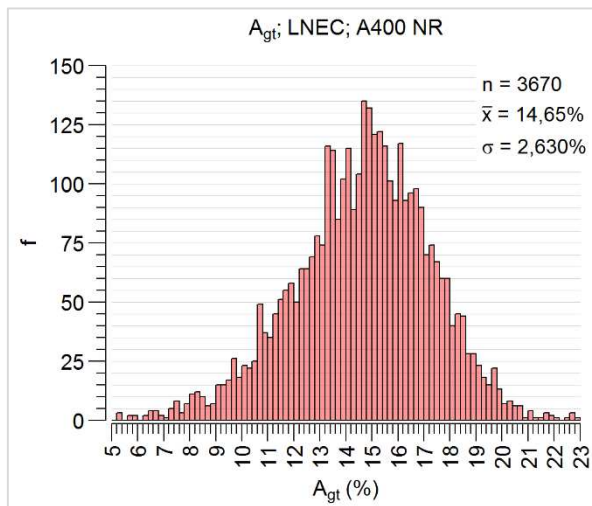


Figura 3. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A400 NR.

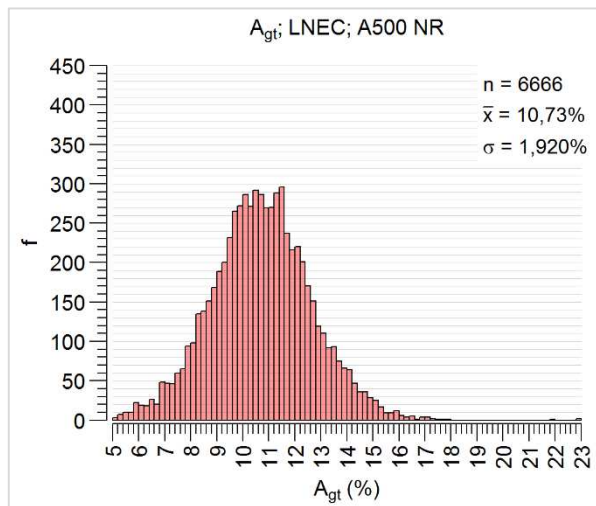


Figura 4. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A500 NR.

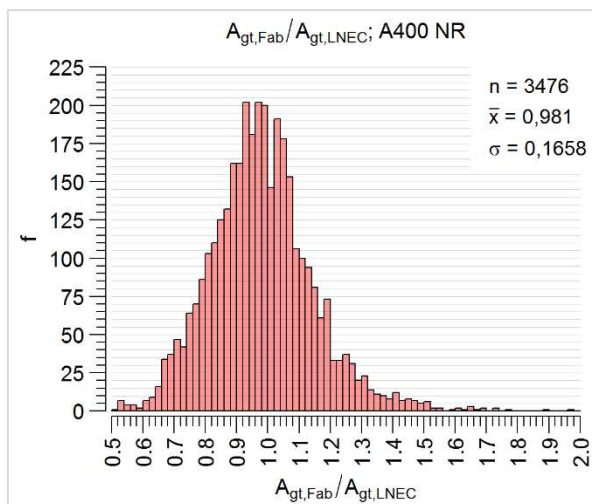


Figura 5. Relação entre os valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço do tipo A400 NR.

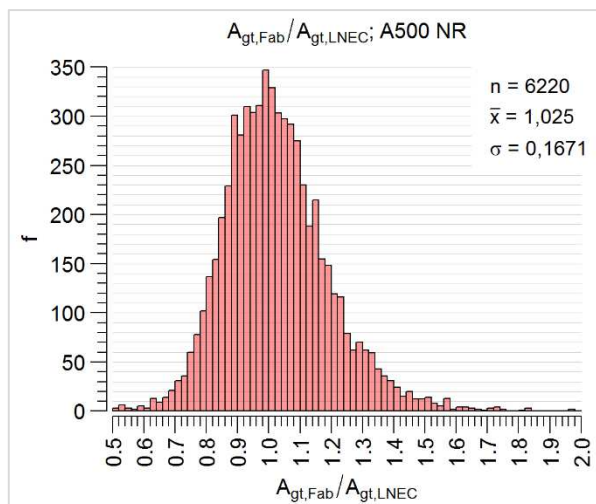


Figura 6. Relação entre os valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço do tipo A500 NR.

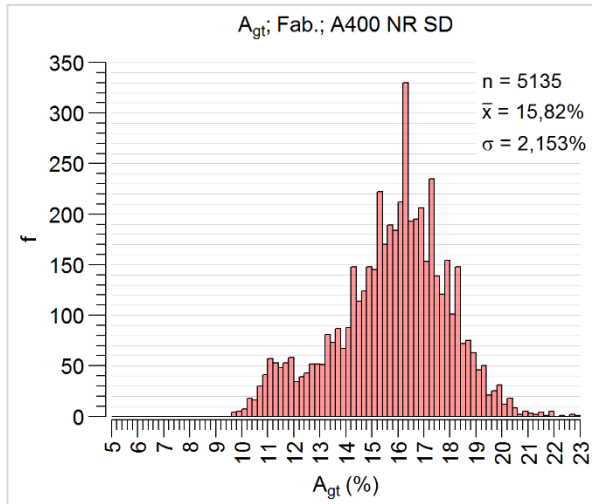


Figura 7. Valores de A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A400 NR SD.

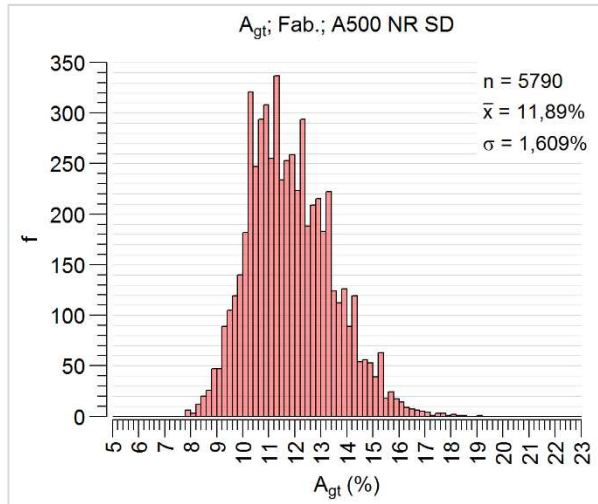


Figura 8. Valores de A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A500 NR SD.

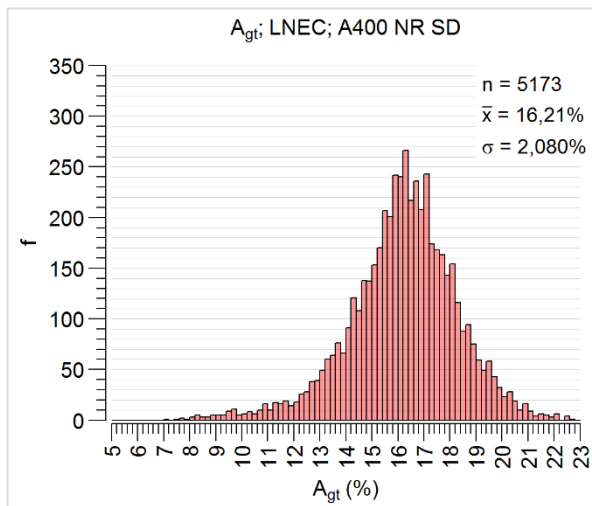


Figura 9. Valores de A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A400 NR SD.

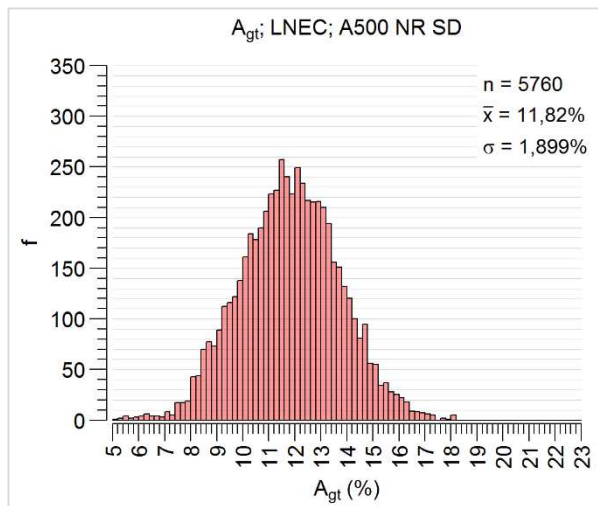


Figura 10. Valores de A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A500 NR SD.

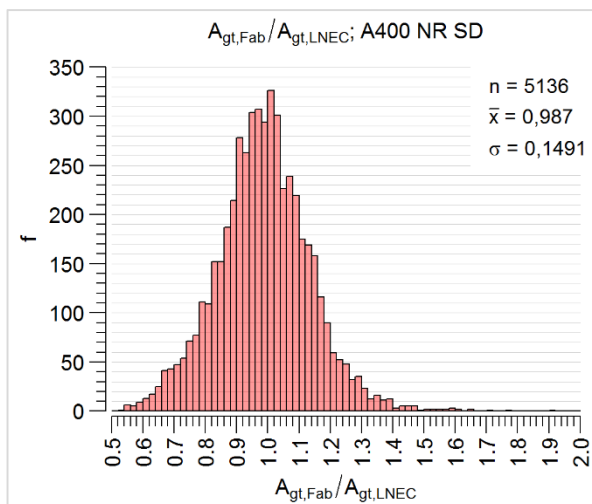


Figura 11. Relação entre os valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço do tipo A400 NR SD.

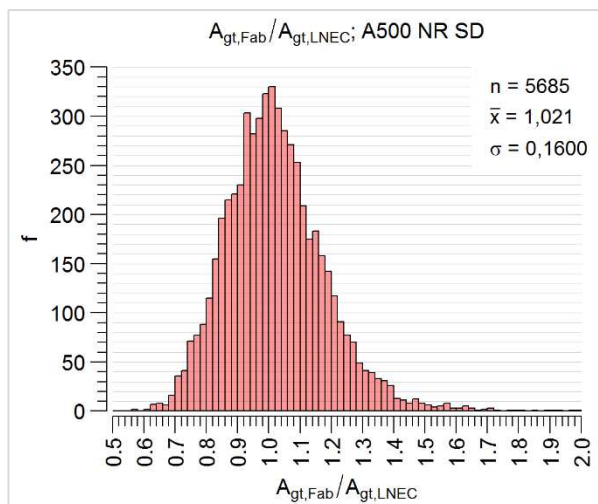


Figura 12. Relação entre os valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes e pelo LNEC, para varões de aço do tipo A500 NR SD.

Em resumo, pode-se afirmar que, em termos médios, 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 A_{gt} referentes a qualquer um dos tipos de varão analisados e, consequentemente, não condiciona as conclusões estabelecidas neste trabalho.

A dispersão de resultados da relação $A_{gt,Fab} / A_{gt,LNEC}$, tal como a dispersão dos resultados de A_{gt} , observadas nas Figs. 1 a 12, pode resultar de vários fatores, tais como: i) o tipo de produto, ii) o método de produção, em troços retos ou em rolo [4], iii) o diâmetro do varão, iv) a variação de A_{gt} entre diferentes lotes da produção de um determinado tipo de varão, dentro de um mesmo lote, no seio de uma amostra de um lote colhida para ensaio ou, até, ao longo do comprimento do provete ensaiado, v) o método de ensaio utilizado na determinação do valor de A_{gt} [5] e vi) as incertezas associadas aos resultados dos ensaios de tração.

No que se refere ao ensaio, os valores de A_{gt} podem depender, para além do método de ensaio utilizado, das incertezas associadas à determinação experimental desta característica. No âmbito de um estudo realizado no LNEC [6] foram identificadas várias fontes de incerteza que afetam os valores de A_{gt} , associadas aos equipamentos de ensaio utilizados no ensaio de tração e à atuação do operador que realizou o ensaio, tais como:

- Desvios da geometria do provete em relação à sua configuração nominal;
- Instrumento utilizado na aposição de marcas de referência na superfície dos provetes;
- Incerteza(s) do(s) instrumento(s) utilizado(s) na medição de comprimentos;
- Tipo de máquina de ensaio de tração;
- Posição (das nervuras) do provete nas garras da máquina;
- Verticalidade do provete;
- Posicionamento do extensómetro sobre o provete;
- Operador do ensaio;
- Velocidade de ensaio;
- Determinação da tensão de rotura, R_m ;
- Procedimento de medição manual dos alongamentos;
- Zona de medição dos alongamentos.

3.2. Influência da classe de resistência

Através da comparação das Figs. 1, 3, 7 e 9 com as Figs. 2, 4, 8 e 10 é possível analisar as diferenças principais entre as distribuições dos valores de A_{gt} referentes a varões de aço das classes de resistência A400 e A500, respetivamente. É possível constatar que o valor médio de A_{gt} é sempre mais elevado no caso dos varões da classe A400 que nos da classe A500. Por outro lado, as distribuições estatísticas dos valores de A_{gt} apresentam sempre dispersões maiores no caso dos varões A400 que no caso dos varões A500 (ver também Quadro 1).

3.3. Influência da classe de ductilidade

Através da comparação das Figs. 1 a 4 com as Figs. 7 a 10 é possível analisar as diferenças principais entre as distribuições dos valores de A_{gt} referentes a varões de aço de alta ductilidade (A400 NR e A500 NR) e a varões de aço de ductilidade especial (A400 NR SD e A500 NR SD), respetivamente. É possível constatar que o valor médio de A_{gt} é sempre mais elevado no caso dos varões de aço de ductilidade especial que no caso dos varões de aço de alta ductilidade da mesma classe de resistência.

Além disso, é possível constatar que a dispersão dos valores de A_{gt} é sempre maior no caso dos varões de aço de alta ductilidade (NR) que no caso dos varões de aço de ductilidade especial (NR SD) pertencentes a uma mesma classe de resistência. Este facto traduz um controlo da qualidade do produto mais eficaz no caso da produção dos varões NR SD que no caso dos varões NR.

3.4. Valores característicos

Os requisitos aplicáveis aos valores de A_{gt} para os varões dos tipos A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A500 NR SD são indicados nas respetivas Especificações LNEC [7], [8], [9] e [10]. O valor característico referente ao quantilho de 10% da distribuição estatística dos valores de A_{gt} , determinado com um grau de confiança de 90%, deve ser superior ou igual a 5,0% no caso dos varões da classe de ductilidade NR, e superior ou igual a 8,0% no caso dos varões da classe de ductilidade NR SD.

Os valores característicos calculados com base nas distribuições de valores de A_{gt} representadas nas Figs. 1 a 4, e nas Figs. 7 a 10, são apresentados no Quadro 2. Através deste quadro é possível constatar que os valores característicos calculados a partir dos resultados obtidos pelos Fabricantes são relativamente próximos dos calculados a partir dos resultados obtidos pelo LNEC, para todos os tipos de varões.

Quadro 2: Valores característicos de A_{gt} , referentes ao quantilho de 10%, obtidos para varões dos tipos A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A500 NR SD

Tipo de varão	Fabricante (%)	LNEC (%)	Limite mínimo (EC2) (%)	Limite mínimo (Especificações LNEC) (%)
A400 NR	10,9	11,3	5,0	5,0
A500 NR	8,5	8,3	5,0	5,0
A400 NR SD	13,1	13,5	7,5	8,0
A500 NR SD	9,8	9,4	7,5	8,0

Todos os valores característicos apresentados no Quadro 2 respeitam os respetivos limites mínimos estabelecidos no Eurocódigo 2 [3] e nas Especificações LNEC aplicáveis a cada caso ([7], [8], [9] ou [10]). Este facto pode ser igualmente constatado através das Figs. 1 a 4 e das Figs. 7 a 10. No entanto, faz-se notar que os valores característicos referentes aos varões A400 NR e A400 NR SD são sempre mais elevados que os referentes aos varões A500 NR e A500 NR SD, facto este que permite confirmar que os varões da classe de resistência A400 são mais dúcteis que os varões da classe de resistência A500, pertencentes à mesma classe de ductilidade.

3.5. Variação da produção ao longo do tempo

As Figs. 13 a 20 mostram as curvas de densidade (*Kernel density estimation*) dos valores de A_{gt} , referentes aos quatro tipos de varão analisados (A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A500 NR SD), obtidos pelos fabricantes dos varões e pelo LNEC, respetivamente, ao longo de seis triénios sucessivos, compreendidos entre os anos de 2000 e 2017. Cada uma das curvas engloba o conjunto de resultados referentes a todos os diâmetros de varões controlados, atrás referidos.

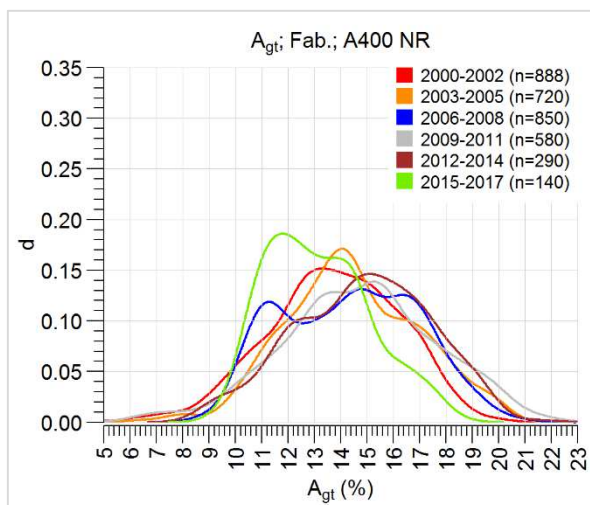


Figura 13. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A400 NR, ao longo dos anos 2000 a 2017.

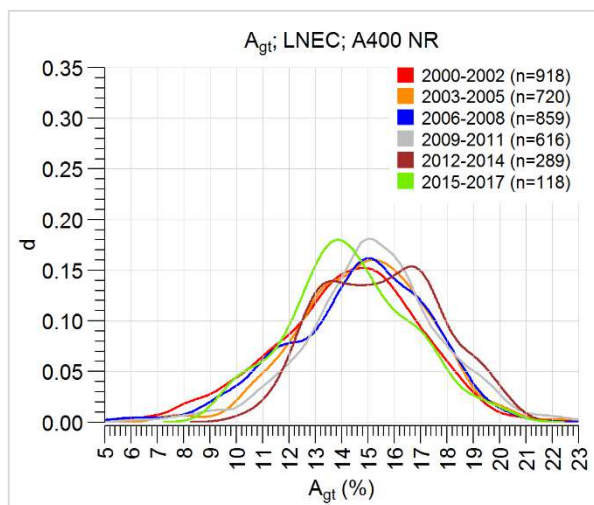


Figura 14. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A400 NR, ao longo dos anos 2000 a 2017.

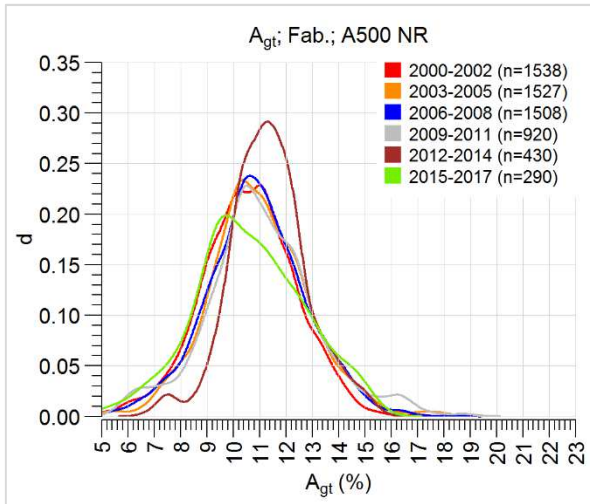


Figura 15. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A500 NR, ao longo dos anos 2000 a 2017.

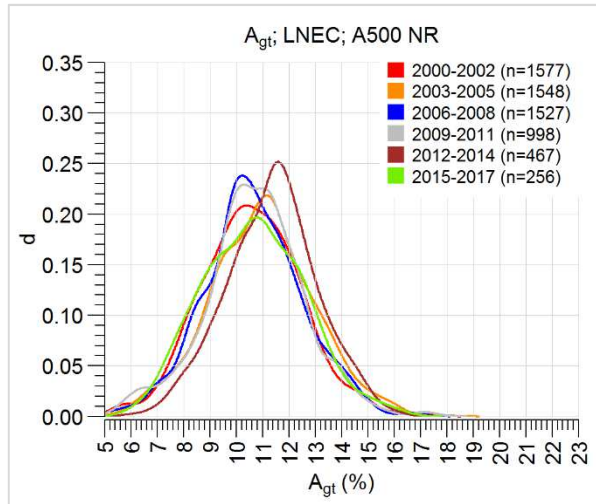


Figura 16. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A500 NR, ao longo dos anos 2000 a 2017.

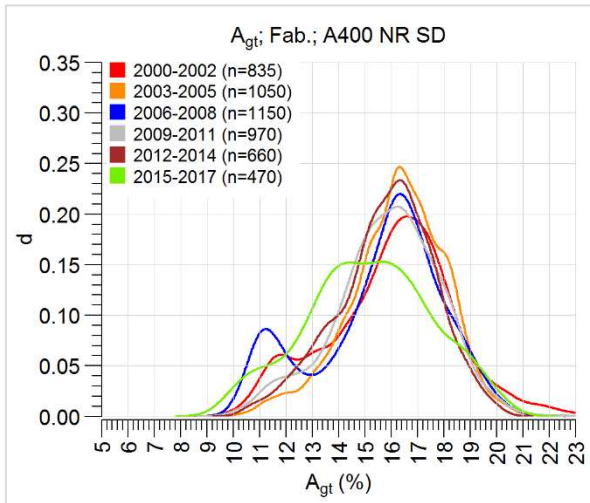


Figura 17. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A400 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2017.

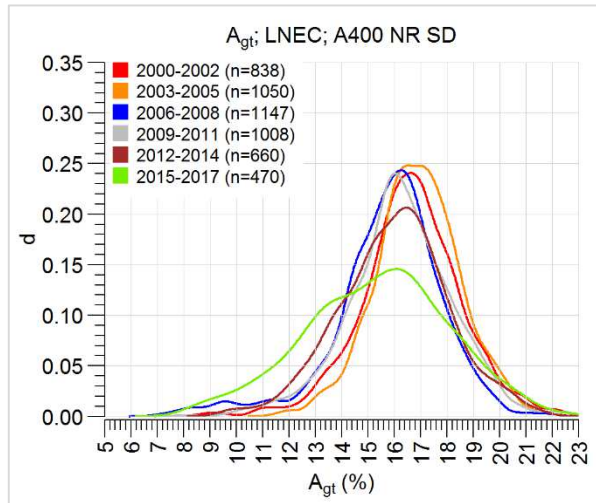


Figura 18. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A400 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2017.

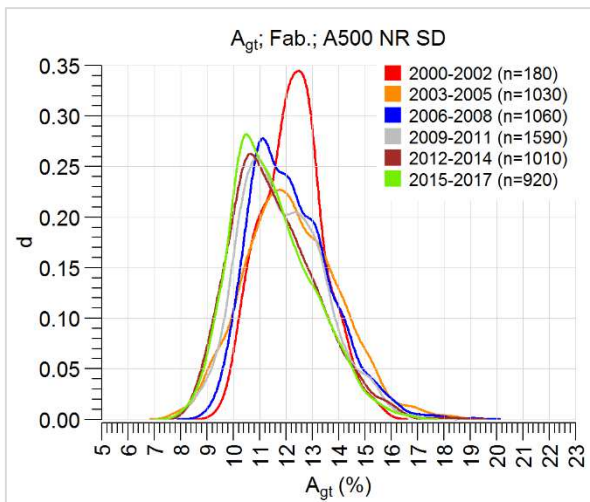


Figura 19. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelos Fabricantes, para varões de aço do tipo A500 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2017.

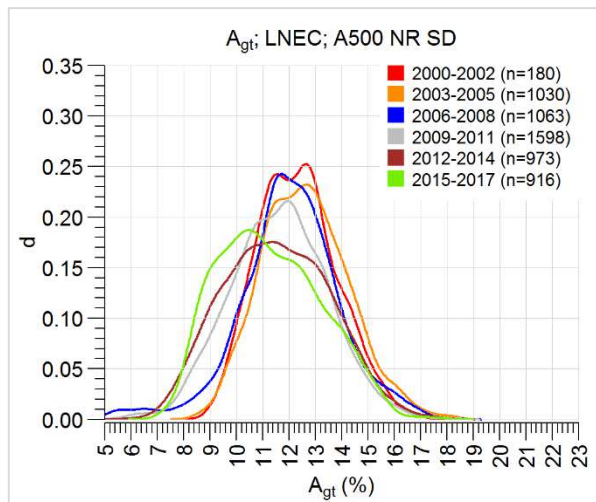


Figura 20. Valores da extensão A_{gt} obtidos pelo LNEC, para varões de aço do tipo A500 NR SD, ao longo dos anos 2000 a 2017.

A análise da evolução das distribuições estatísticas anuais dos valores de A_{gr} , entre 2000 e 2017, mostra que tanto os valores médios como os valores característicos dos resultados obtidos pelos Fabricantes e pelo LNEC têm vindo a diminuir ao longo do tempo durante a última década.

No caso dos varões de aço de alta ductilidade, o valor médio e o valor característico do conjunto dos resultados obtidos pelo LNEC em cada ano foram subindo progressivamente desde 1999 até 2010 (A400 NR) ou 2012 (A500 NR), e têm vindo a diminuir desde então, até aos valores registados no início deste século. No caso dos varões de aço de ductilidade especial (A400 NR SD e A500 NR SD), o valor médio e o valor característico do conjunto dos resultados obtidos pelo LNEC em cada ano atingiram o seu máximo em 2003, no início da sua produção, e têm vindo a diminuir sucessivamente desde então. A esta diminuição progressiva poderá não ser estranho o aumento da produção em rolo destes varões, dando origem, após o seu posterior endireitamento, a uma diminuição significativa da sua ductilidade [4]. Pontualmente, destaca-se uma queda brusca da ductilidade de todos estes quatro tipos de varão em 2008, seguida de uma retoma entre 2009 e 2010 sem, no entanto, atingir os valores mais elevados anteriores.

3.6. Influência de outros parâmetros

Cada um dos histogramas das Figs. 1 a 12 inclui os resultados obtidos, entre os anos de 2000 e 2017, para o conjunto 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. Atendendo à elevada dimensão dos conjuntos de resultados analisados em cada uma dessas figuras, as conclusões que delas se podem retirar serão, em princípio, aplicáveis à generalidade dos varões de aço dos tipos A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A500 NR SD utilizados em estruturas de betão armado executadas em Portugal ao longo do período referido.

No entanto, chama-se a atenção para o facto de numa determinada construção, ou até numa parte dela, a distribuição dos valores de ϵ_u poder diferir significativamente das distribuições de A_{gr} apresentadas no presente artigo. Esta possibilidade resulta do facto de esses valores poderem variar em função da origem dos varões, de um fabricante para outro, ou até mesmo entre varões de um mesmo tipo provenientes de diferentes lotes produzidos pelo mesmo fabricante, devido a variações nos seus processos de produção [4].

Acresce ainda que existem outros parâmetros que podem afetar os valores de ϵ_u , como por exemplo o diâmetro do varão; as distribuições destes valores poderão, em certos casos, diferir significativamente de um diâmetro para outro [4]. Destaca-se também a importância da dimensão das amostras analisadas, referentes a cada caso particular (varões com um mesmo diâmetro, produzidos pelo mesmo fabricante, provenientes de um mesmo lote, etc.), que pode condicionar fortemente a estimativa das distribuições estatísticas baseada nessas amostras. Porém, a análise detalhada da influência destes parâmetros ultrapassa as limitações do presente artigo, pelo que será abordada noutros trabalhos futuros.

4. CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta um estudo estatístico dos valores da extensão total na força máxima, A_{gr} , dos aços de diferentes tipos de varões utilizados em estruturas de betão armado realizadas em Portugal desde o ano de 2000. Os resultados experimentais analisados dizem respeito aos varões de aço dos tipos A400 NR, A500 NR, A400 NR SD e A500 NR SD, que são os mais frequentemente utilizados, e foram recolhidos pelo LNEC no âmbito do controlo periódico destes produtos.

Este estudo confirmou a dispersão elevada dos resultados de A_{gr} , a qual pode resultar de vários fatores, tais como: i) o tipo de produto, ii) o método de produção, em troços retos ou em rolo [4], iii) o diâmetro do varão, iv) a variação de A_{gr} entre diferentes lotes da produção, no seio de uma amostra ou, até, ao longo do comprimento do provete ensaiado, v) o método de ensaio utilizado na determinação do valor de A_{gr} [5] e vi) as incertezas associadas aos resultados dos ensaios de tração [6].

Os valores médios das distribuições estatísticas dos valores de A_{gr} são sempre mais elevados no caso dos varões de aço da classe de resistência A400 que nos da classe de resistência A500. Por outro lado, os valores de A_{gr} apresentam sempre dispersões maiores no caso dos varões de aço da classe de resistência A400 que no caso dos varões de aço da classe de resistência A500.

O valor médio de A_{gt} é sempre mais elevado no caso dos varões de aço de ductilidade especial (NR SD) que no caso dos varões de aço de alta ductilidade (NR) da mesma classe de resistência, embora a influência atrás referida da classe de resistência seja superior à da classe de ductilidade. Além disso, a dispersão dos valores de A_{gt} é sempre maior no caso dos varões NR que no caso dos varões 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 NR SD que no caso dos varões NR.

É ainda possível constatar que todos os valores característicos referentes ao quantilho de 10%, calculados com base nas distribuições de valores de A_{gt} associadas ao conjunto de resultados obtidos para cada um destes quatro tipos de varões, respeitam os respetivos limites mínimos estabelecidos no Eurocódigo 2 [3] e nas Especificações LNEC aplicáveis a cada um desses produtos ([7], [8], [9] ou [10]).

No seu conjunto, estes resultados são satisfatórios. No entanto, a análise da evolução das distribuições estatísticas dos valores de A_{gt} , entre 2000 e 2017, mostra que tanto os valores médios como os valores característicos dos resultados obtidos pelos Fabricantes e pelo LNEC têm vindo a diminuir ao longo do tempo durante a última década. No caso dos varões de aço de ductilidade especial (A400 NR SD e A500 NR SD), o valor médio e o valor característico do conjunto dos resultados obtidos pelo LNEC em cada ano têm vindo a diminuir desde 2003.

Além disso, é necessário ter em conta que as distribuições estatísticas dos valores de A_{gt} dos varões de aço para betão armado podem apresentar variações significativas de uma construção para outra, as quais dependem, por exemplo, do diâmetro dos varões, da dimensão das amostras analisadas em cada caso particular 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 distribuições estatísticas dos valores de A_{gt} obtidas para determinadas condições particulares (para um único diâmetro, por exemplo). Esta análise ultrapassa, porém, as limitações do presente artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] Decreto-Lei nº 128/99, de 21 de abril.
- [2] Decreto-Lei nº 390/2007, de 10 de dezembro.
- [3] NP EN 1992-1-1:2010 “Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios”, 259 p.
- [4] Baptista, A. M.; Filipe, J. (2015). “Influência do processo de endireitamento de varões de aço produzidos em rolo nas suas características mecânicas e de aderência”, RPEE – Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, Série II, nº 15, junho 2015, pp. 5-16.
- [5] Baptista, A. M. [et al] (2016). “Extensão total na força máxima de varões de aço. Alteração do método da sua determinação através de um extensómetro”, QIC2016 – 2º Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, Lisboa, LNEC, 12 p.
- [6] André, J.; Baptista, A. M. (2009). “Avaliação das incertezas associadas aos resultados dos ensaios de tração realizados no laboratório de ensaios de produtos metálicos”, Relatório nº 331/2009, LNEC, 173 p.
- [7] Especificação LNEC E 449:2017 “Varões de aço A400 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.
- [8] 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.
- [9] Especificação LNEC E 455:2017 “Varões de aço A400 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.
- [10] 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.