

## **Método alternativo para avaliação da aderência de varões nervurados de acordo com as Especificações LNEC**



**Ana S. Louro<sup>1</sup>**



**Manuel Pipa<sup>2</sup>**



**António M. Baptista<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

As Especificações Técnicas do LNEC referentes aos produtos de aço para armaduras de betão armado estabelecem os requisitos a que devem satisfazer os varões de aço laminados a quente, soldáveis, nervurados e de alta aderência para poderem ser utilizados em Portugal. Até finais de 2016, estas especificações consideravam que as exigências de aderência se encontravam satisfeitas se os varões possuísem um determinado tipo de perfil nervurado e se, simultaneamente, fossem cumpridos os requisitos estabelecidos para a geometria das nervuras.

A revisão destes documentos, ocorrida em 2017, veio permitir que, em alternativa à verificação dos limites mínimos aplicáveis à área relativa das nervuras transversais, o cumprimento dos requisitos de aderência possa ser feito conforme previsto no Anexo C (Normativo) do Eurocódigo 2. Ou seja, passou a ser possível assegurar através da realização de ensaios de viga que um determinado perfil nervurado, produzido em barra ou sob a forma de rolos, com ou sem marcas voluntárias, satisfaz os requisitos de aderência, quando nesses ensaios se obtiverem os valores mínimos da tensão de aderência previstos no Eurocódigo 2.

Neste caso, o perfil nervurado dos varões submetidos aos ensaios de viga poderá representar um perfil limite para o qual foi demonstrado experimentalmente que os varões em questão apresentam resistência de aderência suficiente. As características geométricas destes varões permitem quantificar limites alternativos dos parâmetros que identificam a geometria dos varões colocados no mercado, com base nos quais se poderá controlar as suas características de aderência. Estes limites alternativos variam de produto para produto e são estabelecidos no respetivo Documento de Classificação.

O presente artigo apresenta as alterações introduzidas, ao nível da avaliação da aderência, nas Especificações LNEC de 2017, e discute as limitações do procedimento de ensaio de viga previsto na norma EN 10080:2005, identificadas na sequência da experiência adquirida pelo LNEC na realização destes ensaios.

**Palavras-chave:** betão armado, varões nervurados, aderência, ensaio de viga

---

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa. Portugal [analouro@lnec.pt](mailto:analouro@lnec.pt)

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa. Portugal [mpipa@lnec.pt](mailto:mpipa@lnec.pt)

<sup>3</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa. Portugal [ambaptista@lnec.pt](mailto:ambaptista@lnec.pt)

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização em Portugal dos produtos de aço para armaduras de betão armado é ainda regulada pelo REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado, Decreto-Lei n.º 349-C/83, de 30 de julho [1]. 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).

Quando o REBAP for revogado, por força da entrada em vigor dos Eurocódigos Estruturais, nomeadamente do Eurocódigo 2 (NP EN 1992-1-1 [2]), os tipos e as classes de resistência das armaduras para betão armado a utilizar em Portugal serão os definidos no Anexo Nacional do Eurocódigo 2 e estas armaduras continuarão a estar sujeitas à sua prévia classificação pelo LNEC.

Adicionalmente à sua classificação, a utilização em Portugal de produtos em aço destinados a serem utilizados como armaduras em betão armado está condicionada, de acordo com o Decreto-Lei n.º 390/2007 de 10 de dezembro, à sua certificação por um organismo acreditado pela entidade competente no domínio da acreditação, em conformidade com as metodologias do Sistema Português da Qualidade.

O LNEC tem vindo a publicar, desde 1998, várias Especificações técnicas 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 aquando da sua publicação, as condições a que estes produtos devem satisfazer com vista ao cumprimento do REBAP [1] e do Eurocódigo 2 [2], 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 respetivo fabricante e do país de origem.

Com o objetivo de convergir com a normalização europeia e respondendo às solicitações da indústria interessada, o LNEC revê periodicamente as diversas especificações existentes para produtos de aço, em particular as que estabelecem os requisitos aplicáveis aos varões de aço laminados a quente, soldáveis, nervurados e de alta aderência para poderem ser utilizados em Portugal. Em termos de exigências de aderência, até finais de 2016, estas especificações consideravam que as mesmas se encontravam satisfeitas se os varões possuísem um determinado tipo de perfil nervurado e se, simultaneamente, fossem cumpridos os requisitos estabelecidos para a geometria das nervuras do tipo de perfil nervurado.

## 2. PERFIL NERVURADO E REQUISITOS PARA A GEOMETRIA DAS NERVURAS

As Especificações LNEC [3], [4], [5], [6] consideram que os varões devem apresentar superfície rugosa de alta aderência, com nervuras dispostas ao longo do seu comprimento e que o perfil nervurado deve permitir a identificação inequívoca do tipo de aço (Figura 1).

Os varões poderão apresentar outro tipo de perfil, desde que seja semelhante a um dos representados na Figura 1. Em zonas delimitadas dos varões poderá ser admitida uma alteração local da morfologia das nervuras. Esta alteração pode corresponder à introdução de uma sigla em relevo (marcação voluntária), em que ocorra a substituição das nervuras estando, no entanto, excluída a possibilidade de introdução de um tipo alternativo de marcação. Quando os varões apresentam um perfil diferente dos representados na Figura 1, é necessária a realização de outros ensaios para assegurar que os varões possuem características mecânicas e de aderência adequadas.

De um modo geral, considera-se que os varões satisfazem as exigências de aderência se forem cumpridos os requisitos relativos aos seguintes parâmetros que definem a geometria das nervuras:

- a) Altura mínima das nervuras transversais ( $a$ );
- b) Afastamento das nervuras transversais ( $c$  ou  $c_1, c_2$ );
- c) Inclinação das nervuras transversais ( $\beta$ );
- d) Inclinação dos flancos das nervuras transversais ( $\alpha$ );
- e) Perímetro sem nervuras transversais ( $\Sigma f_i$ );
- f) Altura das nervuras longitudinais ( $a_l$ );
- g) Área relativa das nervuras transversais ( $f_R$ ).

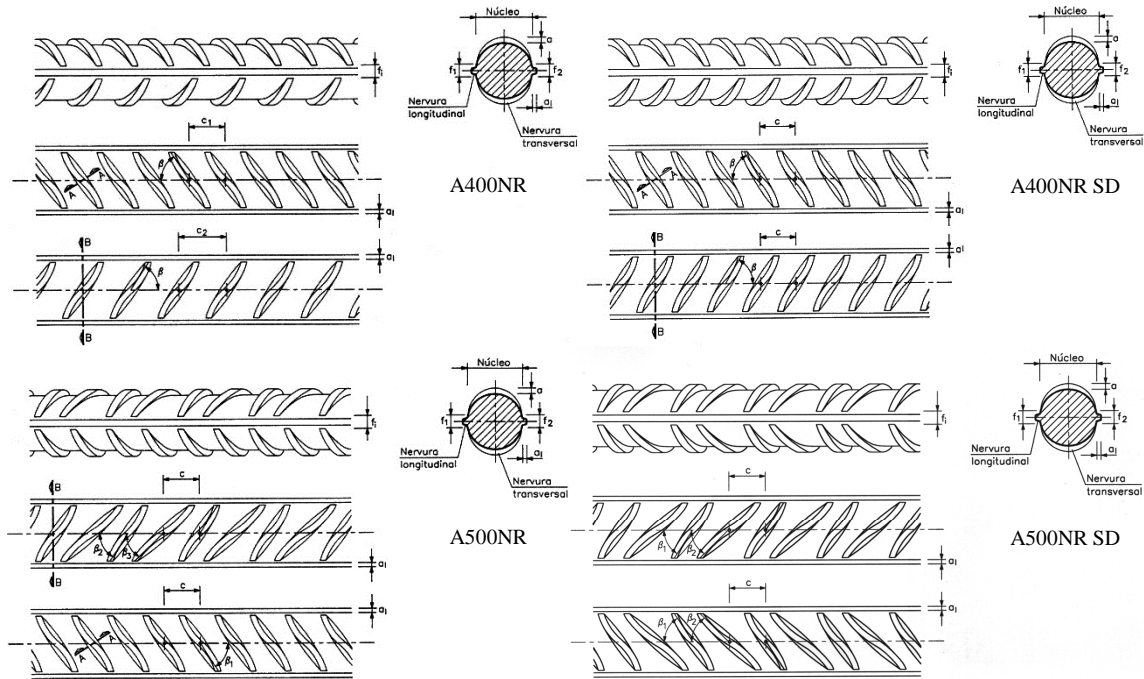


Figura 1. Perfil nervurado dos diversos tipos de varões de aço laminados a quente, soldáveis, nervurados e de alta aderência (fonte: [3], [4], [5], [6]).

No caso de não serem cumpridas uma ou várias das condições especificadas para os parâmetros que definem a geometria das nervuras transversais de um varão, este considera-se ainda conforme com a Especificação aplicável se a área relativa das nervuras transversais,  $f_R$ , obtida através da expressão (1) não for inferior ao limite mínimo aplicável ao referido varão, em função do seu diâmetro.

$$f_R = \frac{2a(\pi d - \Sigma f_i)}{3\pi d c} \quad \text{ou} \quad f_R = \frac{2a(\pi d - \Sigma f_i)}{3\pi d \frac{(c_1 + c_2)}{2}} \quad (1)$$

onde  $d$  representa o valor nominal do diâmetro do varão, em mm, e as restantes variáveis são as atrás indicadas para cada tipo de varão de aço (Figura 1).

No caso de as nervuras apresentarem um desenvolvimento diferente da forma em crescente (Figura 1), a fórmula de cálculo da área relativa das nervuras transversais,  $f_R$ , poderá ser devidamente adaptada.

### 3. EXIGÊNCIAS DO EUROCÓDIGO 2 E ENSAIOS DE VIGA

#### 3.1 Exigências do Eurocódigo 2

De acordo com o Eurocódigo 2 [2] poderá admitir-se que os varões possuem características de aderência adequadas desde que satisfaçam os requisitos aplicáveis à área relativa das nervuras, cujos limites se encontram definidos no respetivo Anexo C (Normativo). No entanto, este anexo prevê ainda que, quando for possível provar que se obtém uma resistência suficiente com valores de  $f_R$  inferiores aos especificados, esses limites poderão ser reduzidos. Ou seja, é possível definir outros limites para a geometria do perfil nervurado desde que se assegure, através da realização de ensaios de viga, que se obtém uma resistência de aderência suficiente.

O Anexo C (Normativo) do Eurocódigo 2 [2], refere que as tensões de aderência deverão satisfazer as expressões recomendadas (2) e (3) quando tiverem sido avaliadas pelo ensaio de viga do CEB-RILEM:

$$\tau_m \geq 0,098(80 - 1,2d) \quad (2)$$

$$\tau_r \geq 0,098(130 - 1,9d) \quad (3)$$

em que:

$d$  diâmetro nominal do varão (mm);

- $\tau_m$  valor médio da tensão de aderência (MPa) para um escorregamento de 0,01 mm, 0,1 mm e 1,0 mm;  
 $\tau_r$  tensão de aderência (MPa) na rotura por escorregamento.

O ensaio de viga do CEB RILEM para a caracterização da aderência encontra-se definido na norma europeia EN 10080:2005 [7] e no projeto de norma prEN 10080:2017 [8].

### 3.2 Metodologia de ensaio prevista na EN 10080:2005 e no prEN 10080:2017

De acordo com o Anexo C do prEN 10080:2017 [8], que se mantém praticamente inalterado em relação ao Anexo C da norma EN 10080 publicada em 2005 [7], a caracterização da aderência de um tipo de varão nervurado envolve a realização de 25 ensaios de viga para cada gama de diâmetros desse varão, usando o diâmetro nominal representativo dessa gama.

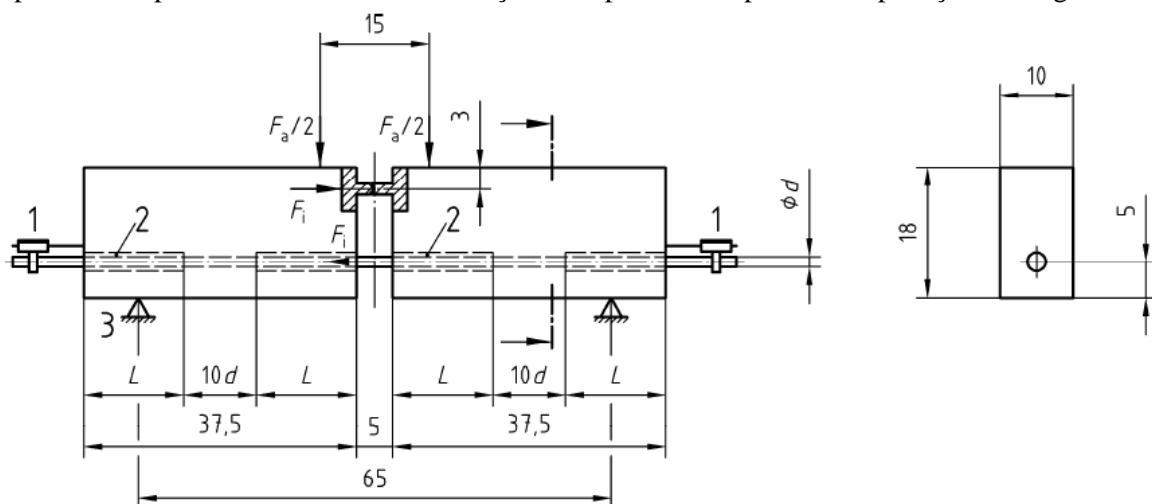
Relativamente à definição das gamas de diâmetros, o prEN 10080:2017 [8] considera a existência de 3 gamas que incluem os varões com diâmetros nominais compreendidos entre 6mm e 32mm, inclusive, devendo os diâmetros superiores ser ensaiados individualmente, conforme se indica no Quadro 1.

O prEN 10080:2017 [8] salienta ainda que a experiência de ensaio de varões com diâmetro superior a 32mm é limitada mas que o método de ensaio é tecnicamente aplicável até ao diâmetro de 50 mm.

Quadro 1. Gamas de diâmetros para caracterização da aderência (prEN 10080:2017 [8])

Designação da gama	Gama de diâmetros nominais (mm)	Diâmetro nominal representativo da gama (mm)
Pequenos diâmetros	$d \leq 10$	8
Diâmetros médios	$10 < d \leq 20$	16
Grandes diâmetros	$20 < d \leq 32$	32
Diâmetros muito grandes	$32 < d \leq 50$	Cada diâmetro deve ser ensaiado

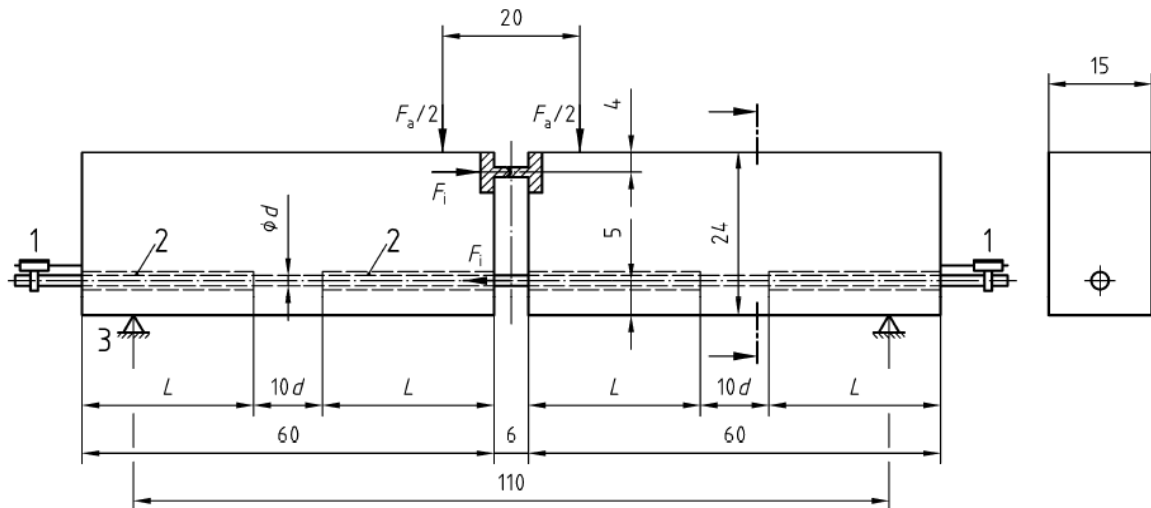
De acordo com o previsto na norma de referência (EN 10080:2005 [7]), as dimensões das vigas a ensaiar variam com o diâmetro dos varões cuja aderência se pretende caracterizar. Para varões até 16mm de diâmetro nominal, a caracterização da aderência é feita através do ensaio de provetes do tipo A (Figura 2), enquanto que para varões de diâmetro igual ou superior a 16mm são ensaiados provetes do tipo B (Figura 3). A Figura 2 e a Figura 3 indicam a geometria e as dimensões gerais dos dois tipos de provetes e apresentam também a localização dos apoios e dos pontos de aplicação de carga.



- 1 – Dispositivo de medida do deslizamento  
2 – Mangas plásticas  
3 – Apoio móvel

Dimensões em centímetros

Figura 2. Geometria dos provetes do tipo A (adaptado da EN 10080:2005 [7]).

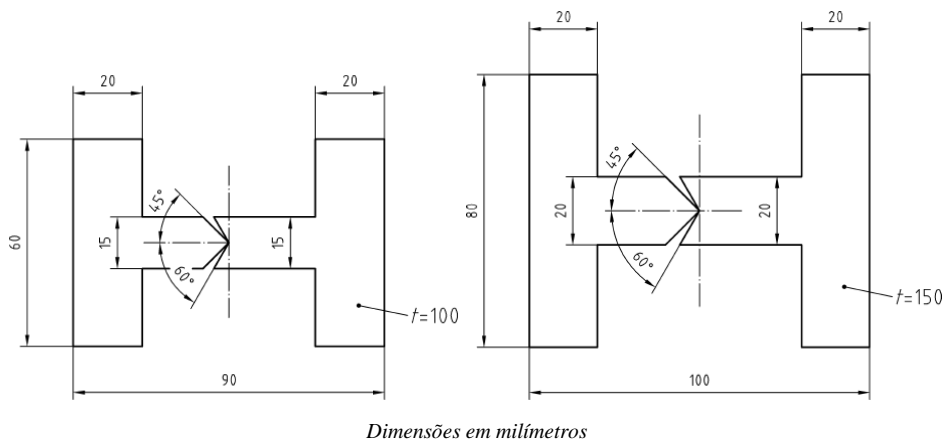


- 1 – Dispositivo de medida do deslizamento  
2 – Mangas plásticas  
3 – Apoio móvel

Dimensões em centímetros

Figura 3. Geometria dos provetes do tipo B (adaptado da EN 10080:2005 [7])

Na parte superior dos dois blocos paralelepípedicos de betão armado, que constituem as vigas a ensaiar, são colocadas rótulas de aço que possuem as dimensões especificadas na Figura 4.



Dimensões em milímetros

Figura 4. Rótula para os provetes do tipo A (à esquerda) e para os provetes do tipo B (à direita) (adaptado da EN 10080:2005 [7]).

As vigas devem ser executadas com um betão de referência do tipo C (0,70), de acordo com a norma NP EN 1766 [9] e com uma resistência à compressão alvo de  $25 \pm 5$  MPa, medida em provetes cilíndricos ensaiados de acordo com a norma NP EN 12390-3 [10].

Para além do varão cuja aderência se pretende caracterizar (varão principal) e que, segundo a EN 10080:2005 [7] deve encontrar-se aderente apenas num comprimento igual a 10 vezes o valor do diâmetro nominal do varão, cada uma das meias vigas, de ambos os tipos de provetes, possui uma armadura auxiliar que funciona como armadura de confinamento. Esta armadura auxiliar é composta por varões de aço do mesmo tipo do varão principal, dispostos conforme se apresenta nos pormenores da Figura 5 e da Figura 6, respetivamente para os provetes do tipo A e do tipo B.

O Anexo C da EN 10080:2005 [7] especifica que o ensaio pode ser realizado aplicando consecutivos incrementos de tensão na armadura (patamares), ou seja em controlo de força, e que, em cada incremento, a força total aplicada pode ser obtida através das seguintes expressões (4) e (5), respetivamente para vigas do tipo A e do tipo B:

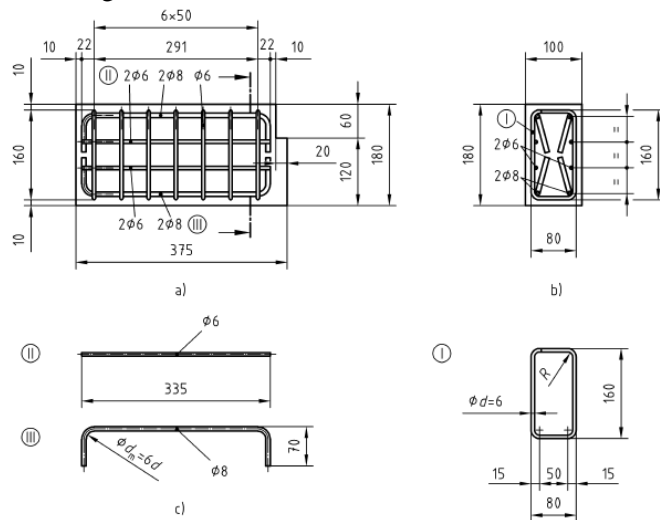
$$F_a = \frac{A_n \times \sigma_s}{1,25} \text{ para } d < 16\text{mm} \quad (4)$$

$$F_a = \frac{A_n \times \sigma_s}{1,50} \text{ para } d \geq 16\text{mm} \quad (5)$$

em que:

- $F_a$  força aplicada, em kN;
- $A_n$  área nominal do varão, em mm<sup>2</sup>;
- $\sigma_s$  tensão no varão, em MPa.

Em alternativa ao ensaio por patamares, a norma considera que a aplicação de carga pode ser feita de forma contínua, com o registo ininterrupto dos valores das forças aplicadas e respetivos deslizamentos medidos. Neste caso, deve garantir-se uma variação de tensão no varão inferior a 1 MPa/s, até à rotura total da aderência numa das extremidades da viga. Como a rotura não ocorre em simultâneo nas duas extremidades, é necessário assegurar, com um dispositivo adequado, o travamento do escorregamento na extremidade onde primeiramente ocorre a rotura da ligação, tipicamente quando se atinge um escorregamento de 3,0 mm, para que seja possível continuar o ensaio, mobilizando a ligação aço-betão na extremidade adjacente da viga.

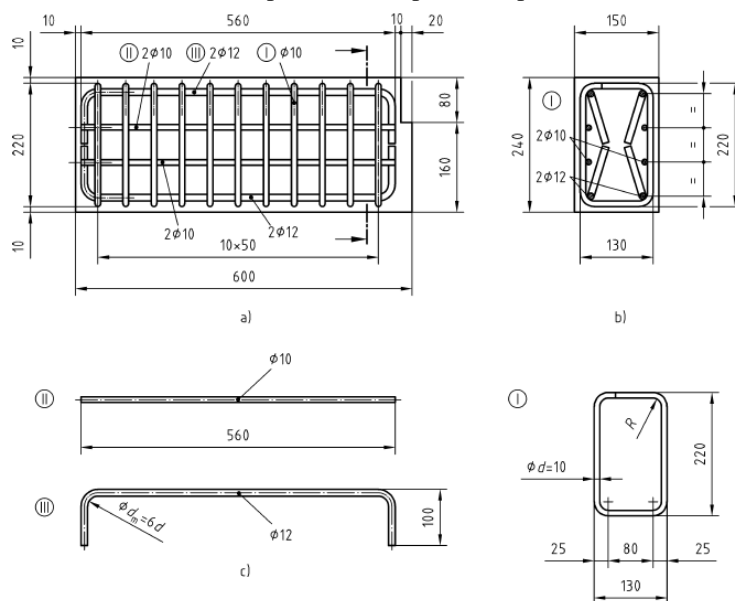


- a) Alçado
- b) Secção

c) Os varões dobrados representados em (III) são colocados com as extremidades dobradas formando um ângulo entre 15 e 17° relativamente à vertical, conforme representado em b)

Dimensões em milímetros

Figura 5. Armadura auxiliar dos provetes do tipo A (adaptado da EN 10080:2005 [7]).



- a) Alçado
- b) Secção

c) Os varões dobrados representados em (III) são colocados com as extremidades dobradas formando um ângulo entre 15 e 17° relativamente à vertical, conforme representado em b)

Dimensões em milímetros

Figura 6. Armadura auxiliar dos provetes do tipo B (adaptado da EN 10080:2005 [7]).

## 4. A EXPERIÊNCIA DO LNEC NA CARACTERIZAÇÃO DA ADERÊNCIA

### 4.1 Ensaios de arrancamento e ensaios de viga

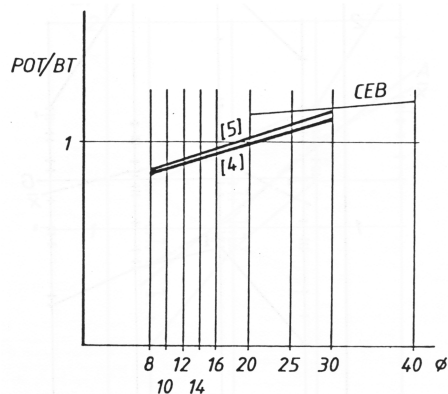
O LNEC tem vindo a realizar desde 2005 diversos ensaios de caracterização da aderência de varões nervurados, tendo em vista a sua classificação ao abrigo do artigo 23º do REBAP [1], sempre que é necessário demonstrar que um determinado perfil nervurado, produzido em barra ou sob a forma de rolos, com ou sem marcas voluntárias, satisfaz os requisitos de aderência.

Tem sido usual recorrer-se a ensaios de arrancamento com vista a caracterizar, a pedido de vários fabricantes, a aderência de varões com alterações locais da geometria das nervuras, o que relançou a importância da adequada caracterização da aderência, em particular devido à grande variabilidade das características geométricas das nervuras existentes no mercado, que podem conduzir a tensões de aderência relativamente díspares.

Este ensaio permite determinar a resistência da ligação da armadura ao betão e serve fundamentalmente como base de comparação das características de aderência de armaduras com o mesmo diâmetro e diferentes configurações do perfil nervurado, num comprimento aderente correspondente a  $5 \times d$ , sendo a aderência mobilizada em tração pura, podendo observar-se algum efeito favorável do confinamento do betão, por reação com o dispositivo de ensaio.

Tendo em consideração que o Eurocódigo 2 prevê a avaliação da aderência através do recurso ao ensaio de viga (*Beam test*, BT), quando se recorre à utilização de ensaios de arrancamento torna-se necessário proceder à extrapolação dos resultados obtidos para o ensaio de arrancamento (*Pull-out test*, POT) para resultados do *Beam test*, usando para o efeito os resultados de dois estudos desenvolvidos por Stefan Soretz *et al*, cujas conclusões se encontram publicadas no *Bulletin d' Information N.º 118* do CEB [11] (Figura 7).

Mais recentemente, o LNEC voltou a realizar ensaios de viga, tal como havia já feito em 1991, através dos quais se caracteriza a aderência em tração por flexão permitindo, segundo alguns autores [12], [13], determinar as tensões de aderência numa situação mais próxima das condições reais de solicitação das armaduras colocadas nas zonas tracionadas das estruturas de betão armado, sendo avaliado o desempenho da ligação num comprimento aderente correspondente a  $10 \times d$ .



[4] J. C. BONY, G. CLAUDE, St. SORETZ: "Comparaison des essais d'adhérence par flexion (*beam test*) et par traction (*pull-out test*)"; *Matériaux et Constructions*, N.º 35, 1973.

[5] St. SORETZ: "A Comparison of *Beam tests* and *Pull-out tests*"; Fig. 1, *Matériaux et Constructions*, Vol. 5, 1972.

Figura 7. Relação entre os resultados do *Pull-out test* e do *Beam test* (adaptado de [11])

### 4.2 Efeito da entrada em cedência da armadura na tensão de aderência

No entanto, para varões com níveis de área relativa das nervuras transversais que satisfazem os limites mínimos previstos no Eurocódigo 2 [2], os ensaios de arrancamento e os ensaios de viga realizados pelo LNEC apontam para tensões de aderência que tipicamente conduzem à plastificação dos varões, em particular no caso dos varões de menor diâmetro (Figura 8 e Figura 9, as quais se referem a ensaios realizados em varões com e sem marcas voluntárias e nas quais se apresenta o valor médio obtido para o  $f_R$  do conjunto de 5 provetes). E, mesmo quando se pretende verificar a conformidade das tensões de aderência de varões com perfis nervurados cujos valores da área relativa das nervuras transversais se encontram abaixo dos limites impostos pelo Eurocódigo 2 [2], as tensões de aderência que se desenvolvem na ligação, quando são usados betões com  $25 \pm 5$  MPa de resistência à compressão,

impõem tensões na armadura que, nalgumas circunstâncias, são da ordem e até superiores às tensões de cedência dos varões.

Esta situação é particularmente crítica quando se realizam ensaios de viga (Figura 10), uma vez que o comprimento aderente previsto no Anexo C da EN 10080:2005 [7] é igual a  $10 \times d$ , o dobro do definido para os ensaios de arrancamento ( $5 \times d$ ) sendo, portanto, substancialmente mais fácil obter a plastificação da armadura enquanto a zona aderente não foi ainda substancialmente mobilizada (Figura 11), conduzindo por isso a uma deformação da viga (Figura 10) que influencia os resultados e que não permite caracterizar adequadamente o fenómeno que se pretende avaliar.

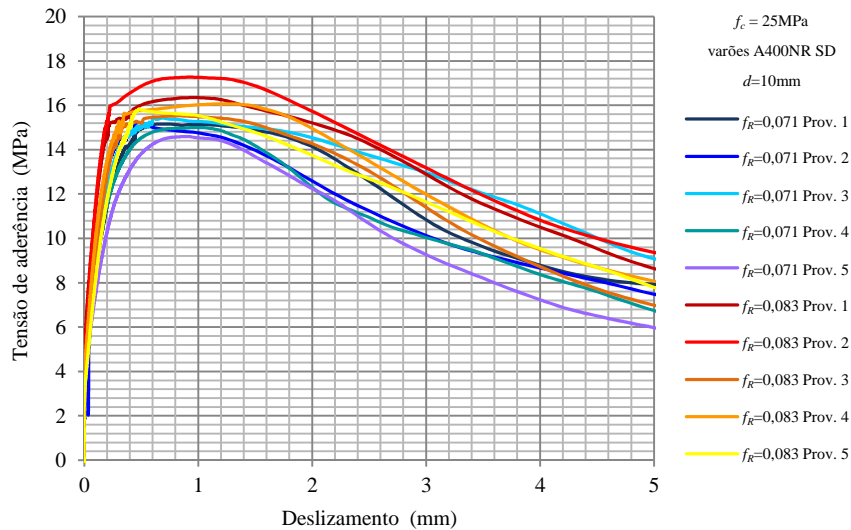


Figura 8. Resultados de ensaios de arrancamento realizados em varões da classe A400NR SD.

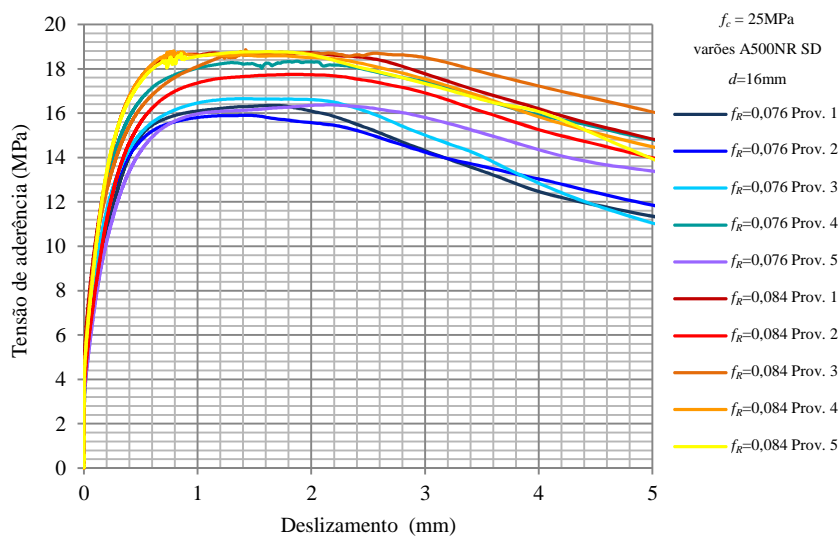


Figura 9. Resultados de ensaios de arrancamento realizados em varões da classe A500NR SD.

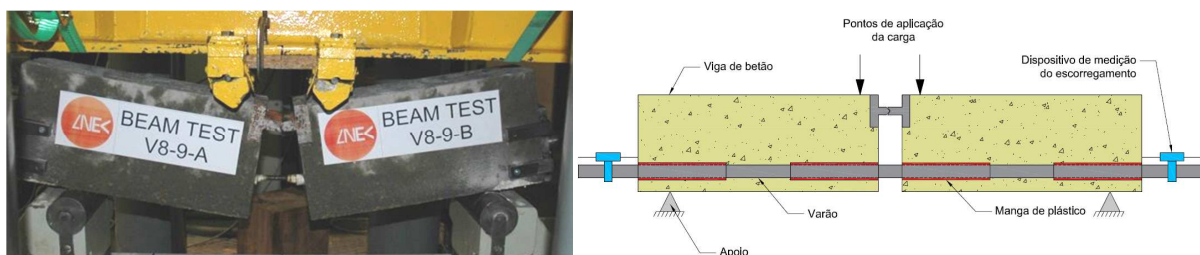


Figura 10. Deformação resultante de ensaio de viga (escorregamento  $\approx 1,0$  mm), realizado em varões da classe A500NR SD (à esquerda) e esquema geral de ensaio (à direita).



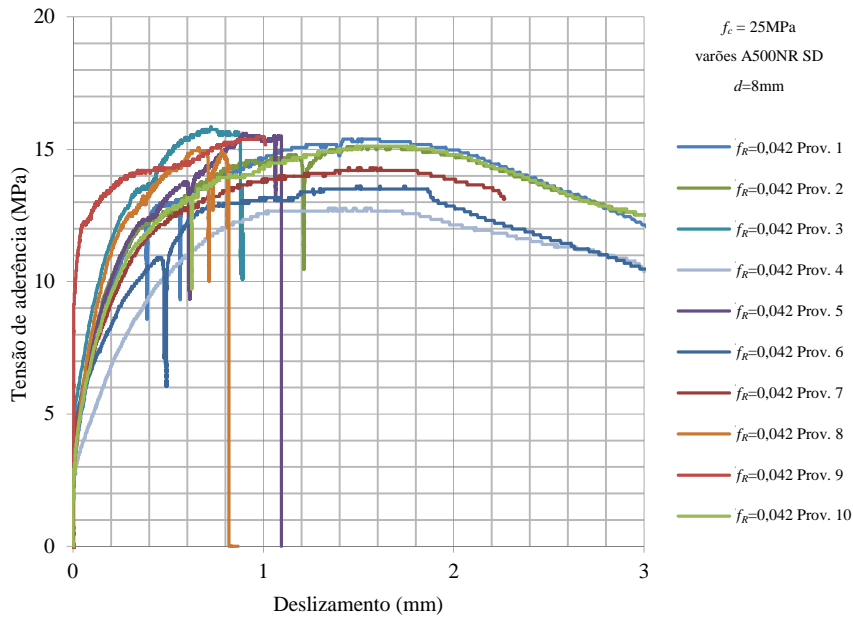


Figura 11. Resultados de ensaios de viga realizados em varões da classe A500NR SD.

Para além do estudo desenvolvido no LNEC, no decurso do qual este efeito foi avaliado [14], e apesar do Model Code 90 [15] não referir o valor da tensão de cedência do aço como um parâmetro que condiciona a tensão de aderência, o Model Code 2010 [16], [17] já inclui um fator que tem em conta este efeito ( $\Omega_y$ ) e que, através do parâmetro ( $a$ ) contempla a razão entre a extensão ( $\varepsilon_s$ ) a que a armadura está sujeita e a extensão total que a armadura pode ter ( $\varepsilon_{su}$ ), a partir da extensão de cedência ( $\varepsilon_{sy}$ ). Este fator entra também em linha de conta com o endurecimento que a armadura apresenta após a cedência, através da relação entre o valor médio da tensão de rotura à tração ( $f_{tm}$ ) e o valor médio da tensão de cedência ( $f_{ym}$ ), incluído no parâmetro  $b$ . Assim, o fator  $\Omega_y$  toma o valor unitário para extensões inferiores à extensão de cedência, devendo nos restantes casos ser determinado a partir da expressão (6), apresentando a evolução que se representa na Figura 12.

$$\Omega_y = 1 - 0,85 \times \left(1 - e^{(-5 \times a^b)}\right) \text{ para } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su} \quad (6)$$

$$\text{em que } a = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{sy}}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sy}} \text{ e } b = \left[2 - \frac{f_{tm}}{f_{ym}}\right]^2$$

A plastificação da armadura é importante, na medida em que o patamar de cedência do diagrama tensão-extensão de um aço corresponde à aplicação de extensões plásticas e o varão, ao sofrer um alongamento, vai ter uma diminuição da altura das nervuras, o que conduz a uma redução da sua contribuição para a aderência do varão por corte do betão.

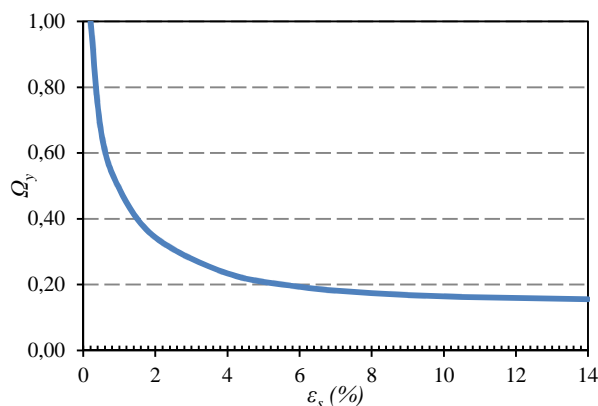


Figura 12. Evolução do fator de redução  $\Omega_y$  em função da extensão da armadura ( $\varepsilon_s$ ).

Desta forma, importa mitigar este fenómeno aquando do desenvolvimento de estudos de caracterização da aderência. Para tal, considera-se que a redução do comprimento aderente previsto para os ensaios de viga no Anexo C da EN 10080:2005 [7] pode ser uma primeira medida.

Esta opção vai de encontro às recomendações para a caracterização da aderência feitas por Cairns e Plizzari [12], que apontam para a necessidade de diferenciar os vários ensaios existentes para obter informação relativa à aderência. Estes autores salientam que, quando se pretende obter resultados que caracterizem a relação local tensão de aderência-deslizamento, é necessário em primeiro lugar que se tenha em consideração que as tensões de aderência não são constantes ao longo de um varão no seio do betão. Para que tal suceda, é preciso que o comprimento aderente seja curto. Este estudo aponta para um limite da ordem de seis vezes o diâmetro do varão e salienta também que recorrer a uma análise a este nível tem a vantagem de permitir a utilização dos resultados obtidos na modelação numérica de estruturas de betão armado, admitindo a possibilidade de extrapolação de resultados de zonas aderentes curtas para zonas de amarração, que são tipicamente superiores.

Estes autores salientam ainda que as tensões de aderência em provetes com comprimentos aderentes curtos são, regra geral, superiores aos valores de cálculo, pois estão dependentes do elevado confinamento que é preciso introduzir neste tipo de provetes, para que a rotura ocorra por arrancamento do varão e não por um dos outros modos possíveis: *splitting*, rotura do cone de betão, fendilhação cilíndrica e plastificação da armadura.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS: EXIGÊNCIAS DE ADERÊNCIA NAS ESPECIFICAÇÕES LNEC PUBLICADAS EM 2017

Em face dos estudos desenvolvidos considera-se, nas Especificações LNEC publicadas em 2017, que, numa primeira fase, os varões satisfazem as exigências de aderência se forem cumpridos os requisitos relativos à geometria das nervuras estabelecidos para cada tipo de aço. No caso de varões que não cumpram estes requisitos relativos à geometria das nervuras, e de acordo com o Eurocódigo 2 [2], pode-se ainda considerar que satisfazem as exigências de aderência desde que se tenha demonstrado previamente, através de um estudo experimental com recurso a ensaios de viga, que é possível obter, para esses varões, uma resistência de aderência suficiente com valores de  $f_R$  inferiores aos especificados.

O perfil nervurado dos varões submetidos aos ensaios de viga representa um perfil limite para o qual foi demonstrado experimentalmente que os varões em questão apresentam resistência de aderência suficiente, pelo que os limites alternativos dos parâmetros que definem a geometria das nervuras transversais, validados através da realização de ensaios de viga, variam de produto para produto, passando a ser estabelecidos no Documento de Classificação (DC) do respetivo produto.

Se o valor característico de  $f_R$  não satisfizer o correspondente limite mínimo indicado na Especificação aplicável, deve-se proceder à verificação individual dos valores característicos de cada um dos parâmetros que definem a geometria das nervuras transversais do varão, os quais devem respeitar, na sua totalidade, os respetivos limites alternativos indicados no Documento de Classificação do produto.

Os ensaios de viga a realizar pelo LNEC são efetuados de acordo com a EN 10080:2005, utilizando um betão do Tipo C (0,70), com uma resistência à compressão de  $(25 \pm 5)$  MPa obtida em ensaios de provetes cilíndricos, e considerando um comprimento aderente de 5 vezes o diâmetro nominal do varão cuja aderência se pretende caracterizar.

Este procedimento de classificação dos varões, em termos das suas características de aderência, fornece, desde o início de 2017, uma alternativa, para os fabricantes que realizem o estudo destas características, ao único procedimento preconizado nas Especificações Técnicas LNEC anteriores, segundo o qual essa classificação é efetuada independentemente da resistência do betão, com base na geometria e nas dimensões das nervuras transversais dos varões e, em particular, em função dos limites estipulados para a área relativa destas nervuras transversais.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado; Decreto-Lei nº 349-C/83, de 30 de Julho; 1983.
- [2] NP EN 1992-1-1 – Eurocódigo 2: Projeto de estruturas de betão - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. IPQ - Instituto Português da Qualidade; Caparica, Portugal; 2010.
- [3] E 449-2017 – Varões de aço A400 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.
- [4] E 450-2017 – Varões de aço A500 NR para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010.
- [5] E 455-2017 – Varões de aço A400 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.
- [6] E 460-2017 – Varões de aço A500 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.
- [7] EN 10080 – Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - General. IPQ - Instituto Português da Qualidade; Caparica, Portugal; 2005.
- [8] prEN 10080:2017 – Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel - General. CEN/TC ECISS/19 - Concrete reinforcing and prestressing steels - Properties, dimensions, tolerances and specific tests; 2017.
- [9] NP EN 1766 – Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão; Métodos de ensaio; Betões de referência para ensaio. IPQ - Instituto Português da Qualidade; Caparica, Portugal; 2008.
- [10] NP EN 12390-3 – Ensaios do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes. IPQ - Instituto Português da Qualidade; Caparica, Portugal; 2011.
- [11] CEB Bulletin n.º 118, Reinforcement, Bond and Anchorage: State of the Art Report; 1979.
- [12] Cairns, J. e Plizzari, G. A.; Towards a harmonised European bond test; Materials and Structures; Vol. 36; pp.498-506; October 2003.
- [13] Eligehausen, R.; Popov, E. P. e Bertero, V V.; Local Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bars Under Generalized Excitations; Report No UCB/EERC-83/23; Earthquake Engineering Research Center; University of California; Berkeley; California; October 1983.
- [14] Louro, Ana S.; "Caracterização da aderência de varões nervurados sujeitos a ações repetidas e alternadas", Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Julho de 2014.
- [15] CEB - CEB-FIP Model Code 1990: Design code; Comite Euro-International du Beton; London; England; 1991.
- [16] FIB - Bulletin 55 - Model Code 2010 - First complete draft, Volume 1; International Federation for Structural Concrete (fib); Lausanne; Switzerland; 2010.
- [17] FIB - Bulletin 56 - Model Code 2010 - First complete draft, Volume 2; International Federation for Structural Concrete (fib); Lausanne; Switzerland; 2010.