

Avaliação da aderência ao betão de varões de aço galvanizado ou com revestimento epoxídico



Aires Camões¹



Paulo J. S. Cruz²



J. Miguel A. Sá³

RESUMO

Em fase de projecto é necessário prever, controlar e assegurar o adequado desempenho de uma série de factores fundamentais e analisar cuidadosamente os efeitos associados à adopção de soluções cujo custo a longo prazo compense o custo inicial mais elevado. O projecto de uma estrutura deverá contemplar a verificação da durabilidade, que, com o objectivo de garantir o cumprimento do tempo de vida útil previsto, deverá ser encarada como um estado limite. Neste contexto, devem ser devidamente contabilizados os efeitos associados à corrosão das armaduras, sendo imprescindível ponderar alguns aspectos fundamentais, tais como: a espessura do betão de recobrimento das armaduras; a qualidade do betão; a incorporação, ou não, de adjuvantes inibidores de corrosão ou o recurso a armaduras resistentes à corrosão. Existem diversas técnicas que visam proteger o aço não ligado das armaduras convencionais de elementos de betão armado e torná-lo mais resistente à corrosão. Esta protecção pode ser conseguida revestindo-o com um material que funcione como uma barreira, impedindo o contacto directo do aço com os cloretos, a humidade e o oxigénio, atenuando assim os efeitos associados à penetração de cloretos e os devidos à carbonatação do betão, recorrendo, por exemplo, a revestimentos epoxídicos ou a revestimentos de zinco obtidos por galvanização. Contudo, este tipo de solução pode acarretar inconvenientes relativamente a outros aspectos que não os relacionados com a corrosão, como é o caso da aderência entre a armadura revestida e o betão. Nestas circunstâncias, foi desenvolvido um programa experimental com o objectivo de avaliar a aderência ao betão de armaduras com diferentes esquemas de protecção (aço galvanizado e aço revestido com epoxi). Os resultados obtidos nos ensaios de arrancamento realizados permitiram verificar perdas de aderência nos varões de aço galvanizado e nos revestidos com epoxi, quando comparados com os varões de aço sem revestimento.

PALAVRAS-CHAVE

Aderência; protecção superficial; aço galvanizado, revestimento epoxídico.

¹ Universidade do Minho, Departamento de Eng. Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal. aires@civil.uminho.pt

² ISISE, Universidade do Minho, Departamento de Eng. Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal, pcruz@civil.uminho.pt

³ Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 4800-058 Guimarães, Portugal

1. INTRODUÇÃO

Em construções novas de betão armado é extremamente difícil que as armaduras em aço não estejam expostas, em menor ou maior grau, ao efeito da acção da corrosão. Assim, em fase de projecto, é necessário prever, controlar e assegurar o adequado desempenho de uma série de factores fundamentais e analisar cuidadosamente os efeitos associados à adopção de soluções cujo custo a longo prazo compense o custo inicial mais elevado. O projecto de uma estrutura deverá contemplar a verificação da durabilidade, que, com o objectivo de garantir o cumprimento do tempo de vida útil previsto, deverá ser encarada como um estado limite. Neste contexto, devem ser devidamente contabilizados os efeitos associados à corrosão das armaduras, sendo imprescindível ponderar alguns aspectos fundamentais, tais como: a espessura do betão de recobrimento das armaduras; a qualidade do betão; a incorporação, ou não, de adjuvantes inibidores de corrosão; a utilização de armaduras de aço convencionais (aço não ligado) ou o recurso a armaduras resistentes à corrosão. Infelizmente, a corrosão das armaduras pode ainda manifestar-se mesmo quando os elementos estruturais em betão armado forem construídos com as espessuras de recobrimento adequadas, o betão utilizado for praticamente impermeável ou mesmo quando for incorporado um agente inibidor de corrosão. De facto, é necessário ter em consideração que o betão é um material com tendência para fissurar, o que facilita a penetração dos agentes agressivos e o consequente contacto com as armaduras.

Neste contexto, com o objectivo de tornar o aço não ligado das armaduras convencionais de elementos de betão armado mais resistente à corrosão, estas podem ser protegidas revestindo-as com um material que funcione como uma barreira, impedindo o contacto directo do aço com os cloretos, o dióxido de carbono, a humidade e o oxigénio. Outra possibilidade consiste em prescindir das armaduras de aço não ligado e substituí-las por outras, constituídas por um material mais resistente à corrosão, como é o caso do aço inoxidável ou de materiais não metálicos (polietileno ou poliéster reforçado com fibras de vidro, fibras de carbono ou fibras sintéticas). Considerando as duas diferentes estratégias de intervenção para a melhoria da resistência à corrosão das armaduras (camada de revestimento ou uso de materiais resistentes à corrosão), a primeira é, aparentemente, a mais aliciante sob o ponto de vista económico. No entanto, as armaduras de aço não ligado dotadas de uma camada de revestimento, devem resistir convenientemente aos eventuais danos provocados pelas operações de transporte até ao local de aplicação, pelo armazenamento em estaleiro, colocação em obra e betonagem. As armaduras assim protegidas devem assegurar, de uma forma económica, uma durabilidade consentânea com as condições de exposição e devem ser capazes de manter a sua função estrutural durante toda a vida útil da estrutura. A protecção das armaduras de aço não ligado pode ser efectuada recorrendo, entre outros, a revestimentos epoxídicos ou revestimentos de zinco obtidos por galvanização. Contudo, para que as soluções de protecção das armaduras referidas possam ser consideradas potencialmente viáveis, é necessário assegurar que não comprometem o bom funcionamento do sistema (betão armado). Um dos aspectos fundamentais relaciona-se com a necessidade de avaliar os efeitos associados à presença do revestimento na aderência entre o betão e as armaduras

Neste contexto, desenvolveu-se uma campanha experimental com o objectivo de avaliar o comportamento de aderência entre betão e varões de aço convencional não tratado (em preto), varões com revestimento metálico de zinco (aço galvanizado por imersão a quente) e varões com revestimento orgânico sobre revestimento metálico de zinco (resina epoxídica aplicada sobre aço galvanizado por imersão a quente), que foram comparados entre si. O comportamento de aderência entre a armadura e o betão foi avaliado por intermédio de ensaios de arrancamento directo (tipo Pull-Out Test), e os resultados obtidos, bem como a sua análise, são aqui apresentados.

2. PROTECÇÃO ADICIONAL DAS ARMADURAS

É possível conferir protecção adicional às armaduras, para além da associada à baixa porosidade e permeabilidade do betão de recobrimento, suficiente espessura deste e tipo de ligante apropriado. Esta

protecção poderá ser efectuada recorrendo a revestimentos metálicos, como por exemplo o zinco (aço galvanizado), ou a revestimentos de resinas epoxídicas.

2.1 Aço galvanizado

As armaduras em aço galvanizado podem ser obtidas por um processo de imersão a quente, que consiste na limpeza dos varões por decapagem química e posterior imersão num banho de zinco fundido, entre os 440 e os 460 °C. Através deste processo o zinco reage por difusão metalurgicamente com o ferro do substrato, providenciando um revestimento de protecção (em geral inferior a 86 µm de espessura) que é composto exteriormente por uma camada de zinco puro (ver Fig. 1).

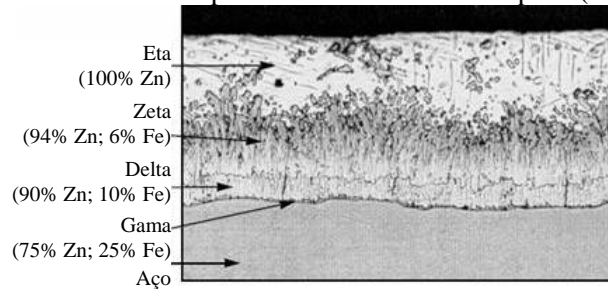


Figura 1. Fotomicrografia de um revestimento obtido por galvanização por imersão a quente.

2.1.1 Reacção do zinco no betão

Durante o processo de cura do betão, a superfície galvanizada do aço revestido reage com a pasta de cimento alcalina, formando sais de zinco estáveis e insolúveis, acompanhados de um desenvolvimento progressivo de hidrogénio. Este facto levantou a questão sobre a possibilidade de fragilização do aço devido à absorção de hidrogénio, tendo os estudos laboratoriais demonstrado que a libertação de hidrogénio não atinge o substrato (não penetra a camada galvanizada) e a reacção cessa logo que o betão endurece [1], [2]. A maioria dos cimentos, e muitos agregados, contêm pequenas quantidades de cromatos. Estes cromatos passavam a superfície de zinco, minimizando a evolução do hidrogénio durante a reacção entre o zinco e a pasta de cimento. A reacção de compostos zincados com pastas de cimento Portland frescas pode retardar o processo de endurecimento, mas, mais tarde, recupera, não afectando as propriedades do betão endurecido. Este aspecto está associado ao hidroxizincato de cálcio formado, bem como aos produtos de hidratação do cimento, que preenchem os poros na zona de interface entre o de zinco e a pasta de cimento [2].

2.2 Aço revestido com resinas epoxídicas

Para assegurar a devida protecção, impedindo a corrosão das armaduras, é extremamente importante que a camada de revestimento não sofra danos antes da sua colocação em obra e que as operações de betonagem sejam controladas cuidadosamente, evitando a ocorrência de danos na camada de epóxido, sendo fortemente recomendável que, durante as operações de compactação, se recorra a vibradores especiais, equipados com elementos de borracha na sua extremidade. A bibliografia existente sobre o assunto permite identificar que, em geral, o desempenho das armaduras revestidas com epóxido depende, significativamente, de o betão se encontrar fissurado ou não. Resultados obtidos comprovam que o desempenho desta solução é mais eficaz quando o betão não se encontra fissurado [3] uma vez que os agentes agressivos entram em contacto com o revestimento epóxido mais dificilmente, o que, a suceder, poderia afectar substancialmente a durabilidade do revestimento protector e provocar a sua deterioração prematura.

3. ADERÊNCIA AÇO-BETÃO

Numa peça de betão armado, as forças de interacção entre o aço e o betão desenvolvem-se a partir da superfície de contacto entre eles. A transmissão de esforços efectua-se através de forças superficiais envolvendo fenómenos de aderência presentes ao longo do comprimento de transmissão. As forças de

aderência em cada zona do comprimento de transmissão são proporcionais à força de tracção aplicada ao varão, e resultam de estados de tensão no betão. Nestas zonas, o betão pode encontrar-se deteriorado a diferentes níveis de contacto com o varão, possibilitando o deslizamento relativo do varão traccionado, e diminuindo a rigidez da ligação entre os dois materiais. Assim, às forças de aderência podem estar associados deslizamentos em qualquer ponto da ancoragem. Por outro lado, o estado de tensão no betão associado às forças de aderência é responsável pelo desenvolvimento de fissuras transversais e longitudinais em relação ao varão traccionado, as quais são controladas através de espessuras adequadas de recobrimento [2].

A resistência por aderência tem origem em três componentes distintas: resistência por adesão; resistência mecânica; e resistência por atrito (ver Fig. 2). A resistência por adesão é a resistência ao corte existente na interface aço-betão devida a interligações químicas e micro-mecânicas. Estas ligações são quebradas numa fase inicial da transmissão de esforços, logo que se verifiquem micro-deslocamentos relativos entre o varão e o betão envolvente. Em termos de tensões tangenciais, os ensaios de adesão realizados por Youlin [3] permitem verificar que este efeito tem uma resistência da ordem de 0.4 a 0.8 MPa, portanto, negligenciável quando comparada com a tensão tangencial correspondente à resistência por aderência máxima, que pode atingir valores da ordem dos 20 MPa.

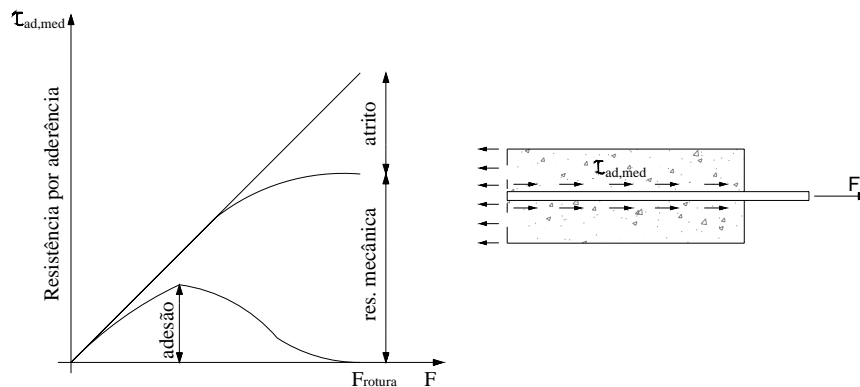


Figura 2. Contribuição das componentes da resistência por aderência vs. força de tracção [4].

A resistência mecânica deve-se ao efeito de ancoragem conferido pelas nervuras existentes na superfície do varão. É por este meio que se realiza uma efectiva transferência de forças, sendo a principal responsável pelas tensões instaladas no betão. A resistência por atrito é originada pelos deslocamentos relativos entre duas superfícies. Este efeito é devido à rugosidade das superfícies de contacto, dependendo, portanto, do estado de oxidação do varão, da composição do betão, das forças de contacto entre as superfícies, e do número de ciclos de carregamentos anteriores que provocam uma degradação do atrito nas superfícies de contacto. No caso de varões nervurados, a influência do atrito só se notabiliza após o colapso da aderência mecânica, quando já estão definidas as superfícies de rotura e o deslizamento do varão é bastante elevado. Nesta situação, a transmissão de esforços é insignificante, sendo praticamente realizada por atrito. A resistência por aderência é quantificada pelo valor da força de tracção aplicada na extremidade do varão que, quando aplicada com valor crescente, atinge um valor máximo seguido de uma diminuição brusca, sempre acompanhada com um aumento do deslizamento. Ao valor máximo da força de tracção corresponde a resistência última de aderência, para a qual se atinge a rotura da ligação varão-betão, designada de rotura por aderência.

Os ensaios normalizados geralmente adoptados para a determinação da resistência por aderência baseiam-se nas recomendações RILEM/CEB/FIP, que preconizam dois tipos de ensaios: RC5 de 1982 para os ensaios tipo Beam Test [6]; e RC6 de 1983 para os ensaios tipo Pull-out Test [7]. Estas normas, para além de definirem o modo de execução dos ensaios, definem também as características de um betão padrão, desde a sua composição até à cura dos provetes.

4. MATERIAIS

A composição do betão foi obtida com base no método de Faury, utilizando-se 350 kg/m³ de cimento, 798 kg/m³ de areia e 989.5 kg/m³ de brita, com uma relação água/cimento de 0.50. As resistências médias à compressão obtidas foram de: 23.8 MPa aos 3 dias de idade; 28.7 MPa aos 7 dias de idade; e 37.8 MPa aos 28 dias de idade.

De acordo com a especificação E460-2002 do LNEC [8], os varões de aço utilizados eram do tipo A500 NR com diâmetro nominal de 20 mm, fabricados em Portugal, na Siderurgia da Maia. Foram utilizados três tipos diferentes de acabamento superficial dos varões de aço: sem revestimento, com revestimento galvanizado e com aplicação de uma pintura epoxídica sobre aço galvanizado. Procedeu-se, também, à realização de ensaios de tracção para cada tipo de varão, cujas médias dos resultados obtidos são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Características dos varões de aço.

Tipo de varão de aço	Diâmetro efectivo [mm]	Secção [mm ²]	Tensão [MPa]		Extensão após rotura [%]
			Cedência	Rotura	
Sem revestimento	20.5	314.2	567.5	689.5	13.0
Galvanizado	20.5	314.2	525.0	634.0	16.3
Galvanizado + epoxi	20.5	314.2	537.0	655.0	15.8

5. ENSAIO DE ARRANCAMENTO

Para a realização dos ensaios de arrancamento foram ponderados dois procedimentos: o preconizado no documento RC6 da RILEM [7] e na norma americana ASTM C234 [9]. Ambos recomendam uma metodologia semelhante de ensaio, embora com diferenças na preparação dos provetes e na interpretação dos resultados: enquanto a RILEM analisa a aderência de tipos variáveis de varão a um betão de composição fixa, a ASTM analisa a aderência de diversas composições de betão a um tipo constante de varão.

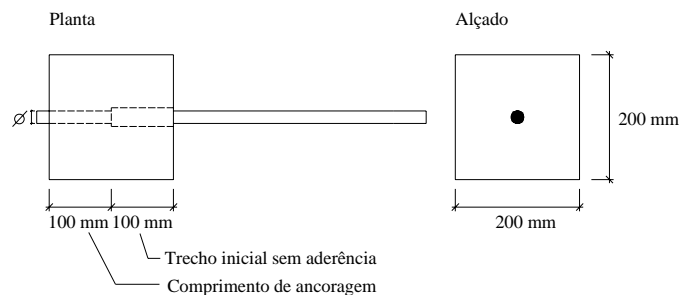


Figura 4. Dimensão dos provetes utilizados no ensaio de arrancamento.

Para a preparação dos provetes foi seguido o recomendado pela RILEM. Contudo, a análise dos resultados foi efectuada segundo a filosofia da ASTM. Os provetes foram fabricados recorrendo a moldes cúbicos com 200 mm de lado. O varão a ser ensaiado foi colocado no centro, com as extremidades projectadas para o exterior do provete (Fig. 4). A aderência do varão de aço ao betão foi permitida apenas ao longo de metade da altura do cubo. No restante comprimento, impediu-se a aderência aço-betão (Fig. 5), de modo a reduzir a zona de perturbação na distribuição de tensões, que se forma nas proximidades da área de contacto do provete com a máquina de ensaio. Durante o fabrico dos provetes, o betão foi colocado nos moldes em direcção perpendicular aos varões de ensaio, referenciado habitualmente como “varões betonados na horizontal”. A compactação foi realizada em duas camadas iguais, a que se seguiu um nivelamento da superfície do betão. Após a betonagem, os provetes foram cobertos por plásticos, permanecendo nos moldes durante 24h, sendo então desmoldados e conservados ao ar, no laboratório, até à data de realização do ensaio. Os ensaios de arrancamento foram realizados de acordo com o esquema apresentado na Fig. 5. O registo do

deslocamento do varão em relação ao betão foi efectuado por intermédio de um transdutor de indução com campo de medida de ± 10 mm e com sensibilidade de 10^{-2} mm (Fig. 5).



Figura 5. Ensaio de arrancamento.

Durante o ensaio de arrancamento, o esforço de tracção no varão foi incrementado até se verificar o rompimento da sua aderência ao betão. O equipamento e método de ensaio utilizados permitiram a medição da carga aplicada e dos deslocamentos ocorridos no extremo livre do varão. Com estes valores foi possível o traçado de curvas “Carga Aplicada vs. Deslocamentos”.

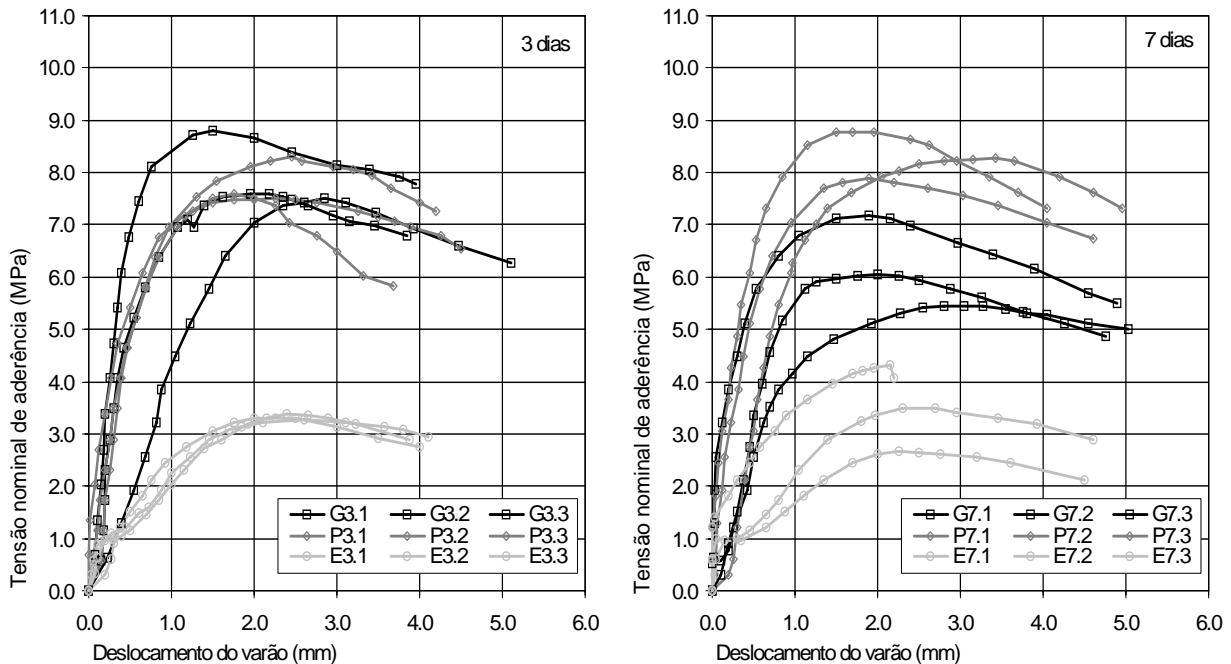
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pela análise do Quadro 1, constata-se que a galvanização afecta as características mecânicas do aço: há uma redução da tensão de cedência e da tensão de rotura e um aumento da extensão após rotura. Como previsto, a aplicação do revestimento epoxi sobre a superfície galvanizada não tem influência significativa sobre as características mecânicas do aço.

Através dos ensaios de arrancamento realizados, foram obtidos para cada provete, diagramas “Carga Aplicada vs. Deslocamento do Varão”. Dividindo a carga aplicada pela área exterior do varão em contacto com o betão, obteve-se a tensão nominal de aderência (Fig. 8). Através da análise da Fig. 8 a) verifica-se que, em geral, os varões de aço galvanizado aos 3 dias de idade do betão apresentam uma capacidade resistente ligeiramente inferior aos varões de aço sem revestimento. Os varões de aço galvanizado revestidos com epoxi, apresentam valores substancialmente mais baixos. A Fig. 8 b) apresenta uma situação, aparentemente, atípica. Os provetes de aço galvanizado ensaiados aos 7 dias de idade do betão apresentam valores da tensão nominal de aderência consideravelmente mais baixos que os provetes ensaiados com apenas 3 dias. Os restantes dois tipos de varões apresentaram valores esperados uma vez que, em ambos, os valores da tensão nominal de aderência aumentaram, sendo que a diferença entre eles subiu ligeiramente. Os varões de aço galvanizado revestidos com epoxi continuam a ser os que apresentam valores mais baixos da tensão nominal de aderência. Os ensaios realizados aos 28 dias de idade do betão mostram que os varões de aço sem revestimento apresentam valores da tensão nominal de aderência nitidamente superiores aos dos varões de aço galvanizado, chegando a ser de cerca do dobro dos varões de aço galvanizado com revestimento epoxi (Fig. 8 c)).

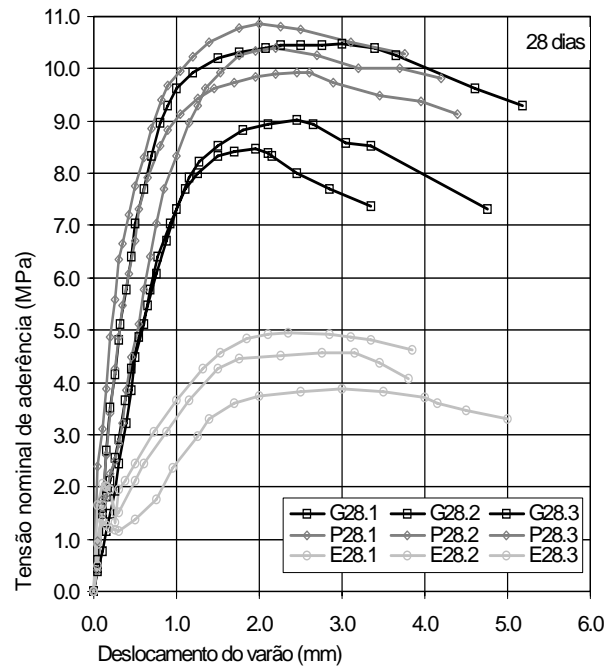
A realização destes ensaios mostrou também um outro factor a realçar: o comportamento dos varões de aço galvanizado revestidos com epoxi revelou-se distinto dos restantes. Nos ensaios referentes aos 3 e 7 dias de idade do betão, atingido um determinado nível de carga, seguiu-se um pequeno patamar, provavelmente causado pelo desprendimento do revestimento epoxi, após o qual o valor da carga voltou a aumentar, porém com uma rigidez inferior (Fig. 9 a)). Aos 28 dias de idade, no início do ensaio, a carga foi aumentando até que se deu uma descida brusca, após a qual, a carga aplicada voltou a subir, mas com rigidez diferente (Fig. 9 b)). As Fig. 9 a) e b) correspondem a resultados individuais,

mas ilustrativos do sucedido na totalidade dos outros provetes. Este fenómeno ocorre pois, durante uma primeira fase, funciona a aderência entre o betão e a camada de revestimento epoxi, e desta com a superfície galvanizada do aço. Uma vez que o revestimento epoxídico foi obtido através de uma pintura normal de aplicação manual, a sua adesão ao aço, revelou-se diminuta e após ter sido rompida, verificou-se uma descida brusca da carga aplicada. Quando a adesão do revestimento epoxídico é quebrada, passam a funcionar as consolas de betão existentes entre as nervuras do varão, aumentando então a capacidade de carga, até se verificar a rotura por esmagamento do betão, nessas mesmas consolas (ver Fig. 10).



a) 3 dias de idade do betão.

b) 7 dias de idade do betão.



c) 28 dias de idade do betão.

Figura 8. Comparação da Tensão Nominal de Aderência vs. Deslocamento, do aço galvanizado (G), aço sem revestimento (P) e aço galvanizado com revestimento epoxi (E).

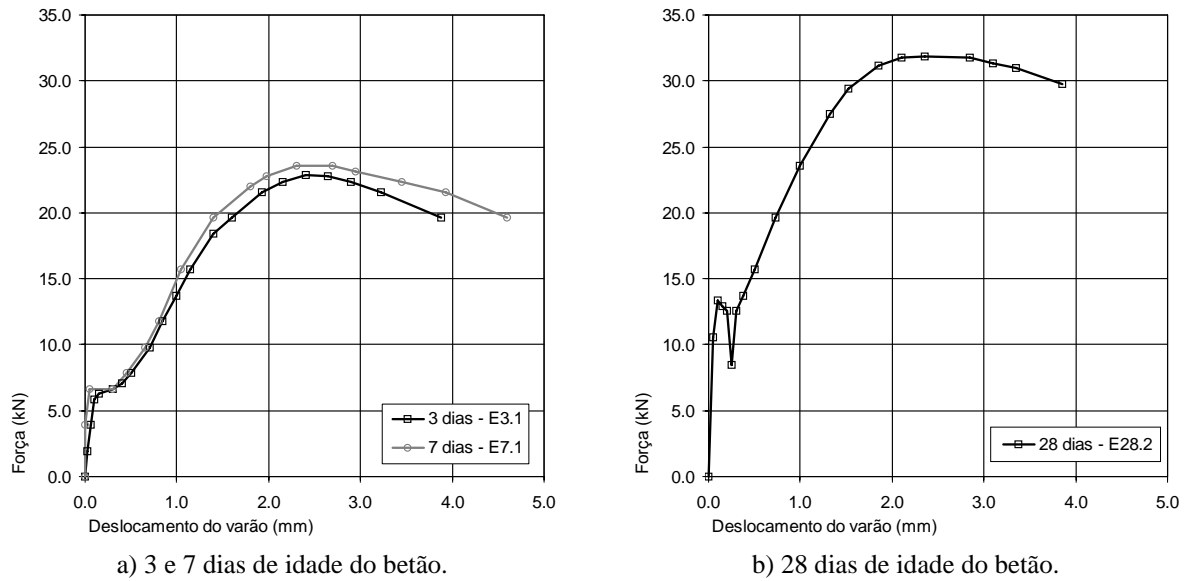


Figura 9. Carga Aplicada vs. Deslocamento, em provetes de aço galvanizado revestidos com epoxi.

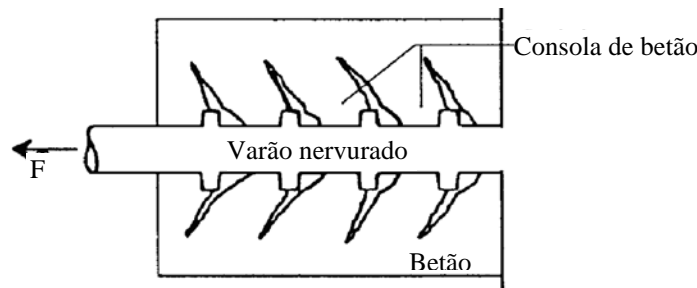


Figura 10. Consolas de betão [10].

Calculou-se ainda a tensão nominal média de aderência. No ramo inicial de deslocamento do varão, entre 0.00 e 0.30 mm, foram determinados cinco pontos que o subdividem em cinco trechos iguais, equivalentes a deslocamentos sucessivos de 0.05 mm do varão. Foram calculadas as tensões de aderência em cada um desses pontos e a média para cada tipo de varão, a diferentes idades, denominada tensão média de aderência. Na Fig. 11 apresentam-se as curvas de aderência apenas no trecho compreendido entre 0.00 e 0.30 mm de deslocamento do varão de acordo com as recomendações da ASTM. Pela análise da Fig. 11 verifica-se, também, uma ligeira superioridade dos valores da aderência no aço sem revestimento em relação ao aço galvanizado, apresentando os varões de aço galvanizado revestidos com epoxi os valores mais reduzidos. Na Fig. 11 b) constata-se um ganho de aderência nos varões de aço sem revestimento face aos restantes. Também aqui é notório que os provetes de aço galvanizado perderam resistência de aderência, para os provetes ensaiados aos três dias, o que poderá supor alguma anomalia durante o fabrico ou o ensaio dos provetes. Os varões de aço galvanizado revestidos com epoxi apresentam, de novo, valores substancialmente mais baixos em relação aos varões de aço sem revestimento. Pela análise da Fig. 11 c) verifica-se que, aos 28 dias de idade do betão, o aço galvanizado apresenta uma aderência inferior ao aço sem revestimento. Mais uma vez, os varões de aço galvanizado revestidos com epoxi apresentam valores de aderência bastante inferiores.

A Fig. 12 pretende resumir todos os resultados dos ensaios de arrancamento realizados no decorrer deste trabalho, expressando a variação da tensão média de aderência com a idade do betão. Através da sua análise verifica-se que, ao longo do tempo, a aderência média aço-betão aumenta, exceção feita ao aço galvanizado entre as idades de 3 e 7 dias. Verifica-se, também, que os varões de aço sem revestimento apresentam, em todas as idades de ensaio, valores de aderência mais elevados que os restantes varões, sendo os varões de aço galvanizado revestidos com epoxi os que apresentam valores mais baixos.

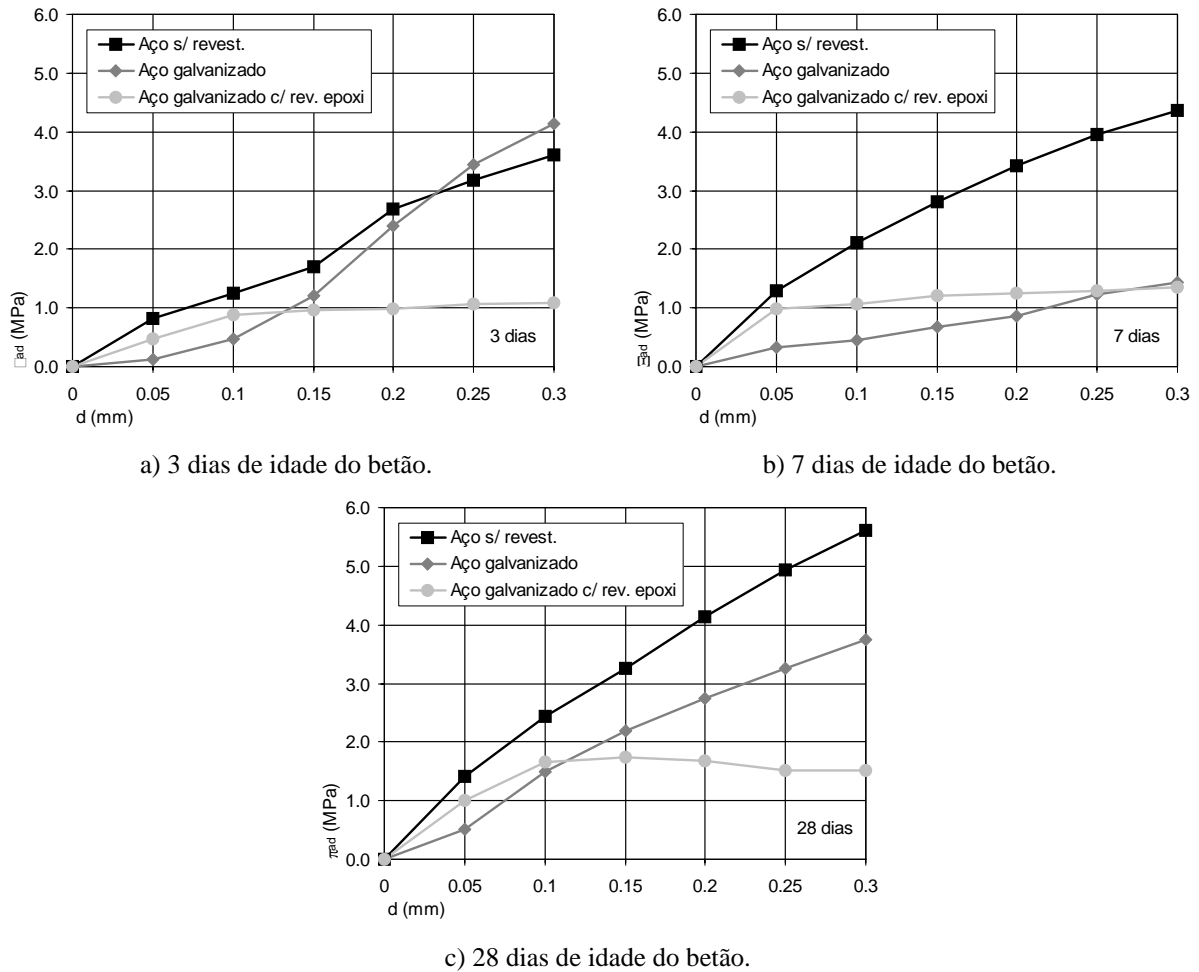


Figura 11. Comparação das curvas da tensão nominal de aderência, τ_{ad} , para os diferentes tipos de varões no trecho inicial entre 0.00 e 0.30 mm.

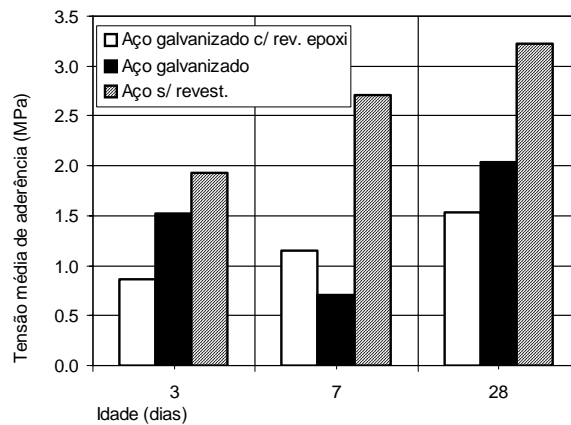


Figura 12. Tensão média de aderência aos 3, 7 e 28 dias de idade do betão.

7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos podem ser estabelecidas as seguintes conclusões:

- o processo de galvanização altera as características mecânicas do aço;
- o aço, ao ser submetido a um processo de galvanização, em que é sujeito a temperaturas que rondam os 450°C, sofre uma alteração das suas características mecânicas. Verificou-se uma diminuição da

tensão de cedência e da tensão de rotura de cerca de 8% e a extensão após rotura sofreu um ligeiro acréscimo;

- a aderência aumenta com o evoluir do tempo, excepção feita aos provetes de aço galvanizado ensaiados aos 7 dias que contrariam esta afirmação. Isto sugere que pode ter acontecido uma anomalia, uma vez que se verificou uma perda de aderência face aos 3 dias de idade do betão, sendo que aos 28 dias o valor da aderência voltou a aumentar. Assim, seria de todo o interesse voltar a realizar novos ensaios aos 3 e 7 dias de forma a corroborar esta afirmação ou, se pelo contrario, é desencadeado um qualquer tipo de fenómeno que leva a uma súbita perda de aderência;
- comparando as duas soluções de revestimento superficial (aço galvanizado e aço galvanizado com revestimento epoxídico), verificou-se que os varões de aço galvanizado aderem melhor ao betão, sendo que os varões com revestimento epoxídico estão mais sujeitos a danos superficiais provocados, por exemplo, pelo seu manuseamento e transporte;
- os varões de aço galvanizado apresentaram perdas de aderência que variam entre 21 %, aos 3 dias de idade do betão, e 37 %, aos 28 dias, relativamente aos varões de aço sem revestimento;
- os varões de aço galvanizado revestidos com epoxi apresentaram perdas de aderência que variam entre os 52 % e os 57 %, relativamente aos varões de aço sem revestimento.

REFERÊNCIAS

- [1] ROBERGE, R.; ZHENG, W. - Hydrogen embrittlement susceptibility of galvanized 4135 steel in cement environment. *Advances in corrosion and protection: International conference*. Manchester, UK, Vol. 35, nº 1-4, 1993. pp. 507-514.
- [2] BELAÏD, F.; ARLIGUIE, G.; FRANÇOIS, R. - Porous structure of the ITZ around galvanized and ordinary steel reinforcements. *Cement and concrete research*, Vol. 31, nº11, 2001. pp. 1561-1566.
- [3] Impact of Concrete Cracking on Bridge Decks Constructed with Epoxy Coated Reinforcing Bars. *Research Series*, N.º 10, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, 2003.
- [4] GRAZINA, J.; REBELO, C. - Contribuição da aderência para o comportamento não-linear do betão armado. *Estudos de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra*, Vol. 8, n.º 2, 1996.
- [5] YOULIN, X. - Experimental study of bond-anchorage properties for deformed bars in concrete. *International Conference Bond in Concrete: from research to practice, Proceeding topic 1: Bond of ordinary reinforcement*, Vol. 1, October 1992.
- [6] RILEM/CEB/FIP - Recommendations on reinforcement steel for reinforced concrete. Revised edition of: RC5 Bond test for reinforcement steel (1) Beam test, Comité Euro International du Béton, CEB News n.º 61, Paris, April 1982.
- [7] RILEM/CEB/FIP - Recommendations on reinforcement steel for reinforced concrete. Revised edition of: RC6 Bond test for reinforcement steel (2) Pull-out test, Comité Euro International du Béton, CEB News n.º 73, Lausanne, May 1983.
- [8] LNEC E460-2002 – Varões de aço A500 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado – Características, ensaios e marcação. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, 2002.
- [9] ASTM C234-91a - Standard test method for comparing concretes on the basis of the bond developed with reinforcing steel. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, Pa, 1991.
- [10] RIBEIRO, J. - Análise experimental dos fatores que influenciam a aderência de barras nervuradas. *Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da UFRGS, Brasil*, 1985.