

## A Influência da Textura, Retracção e Rigidez Diferenciais na Resistência da Interface entre Betões de Diferentes Idades



Pedro M. D. Santos<sup>1</sup>



Eduardo N. B. S. Júlio<sup>2</sup>

### RESUMO

O comportamento monolítico de elementos resistentes de betão armado com partes betonadas em diferentes fases, e.g. prefabricação e reforço estrutural, depende da resistência da interface entre ambas, a qual é influenciada por diversos parâmetros, entre os quais: a textura da superfície do substrato, a retracção diferencial e a diferença de rigidez das partes.

O Eurocódigo 2 [1] adopta uma avaliação qualitativa da rugosidade da superfície do substrato, baseada numa inspecção visual, a qual conduz à classificação da superfície como “muito lisa”, “lisa”, “rugosa” ou “muito rugosa”. Este tipo de abordagem, sendo subjectiva, apresenta o inconveniente de agrupar numa mesma categoria diferentes superfícies, às quais correspondem diferentes valores da resistência da interface.

Outros parâmetros com influência na resistência da interface entre betões de diferentes idades, como a retracção diferencial e a diferença entre os módulos de elasticidade de ambos os betões, não são considerados no Eurocódigo 2 [1].

Nesta comunicação é apresentado um novo método de quantificação da textura de uma dada superfície, baseado num rugosímetro laser portátil, desenvolvido especificamente para o efeito. Esta metodologia não destrutiva permite quantificar com elevada precisão, *in situ* e em laboratório, a rugosidade da superfície do substrato de betão. Apresenta-se um estudo experimental que permitiu correlacionar parâmetros de textura, calculados a partir de perfis obtidos com a metodologia proposta, com a resistência ao corte e à tracção de interfaces entre betões de diferentes idades.

Apresentam-se ainda os resultados de um estudo experimental em curso sobre a influência da retracção diferencial e da diferença entre os módulos de elasticidade do betão do substrato e do betão adicionado na resistência da interface betão-betão.

### PALAVRAS-CHAVE

Betão; Interface; Aderência; Resistência; Retracção; Rigidez

<sup>1</sup> ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra. pedromdsantos@gmail.com

<sup>2</sup> ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra. ejulio@dec.uc.pt

## 1. INTRODUÇÃO

A quantificação da resistência da interface em elementos resistentes de betão armado, com partes betonadas em diferentes fases, é essencial para assegurar o comportamento monolítico do conjunto. Vigas préfabricadas com betonagem complementar *in situ* e reforço de elementos de betão armado por adição de uma nova camada de betão são exemplo típicos de elementos estruturais compósitos de betão armado.

Os actuais códigos e regulamentos de estruturas de betão armado, tais como o Eurocódigo 2 [1], ACI 318 [2] e CSA-A23.3 [3], apresentam expressões para quantificação da resistência ao corte longitudinal na interface entre partes de betão de diferentes idades. Estas expressões são baseadas na teoria do corte-atrito e consideram quatro parâmetros: a) resistência do betão mais fraco; b) tensão normal na interface; c) quantidade de armadura de corte na interface; e d) rugosidade da superfície do substrato.

Estes códigos e regulamentos não consideram as condições de cura do betão do substrato e do betão adicionado, as quais têm uma importância significativa porque podem criar tensões adicionais na interface devido à retracção diferencial entre partes de betão. A rigidez diferencial entre partes de betão é também ignorada. Por estes motivos, as actuais expressões de quantificação da resistência ao corte longitudinal devem ser melhoradas de modo a aumentar a sua precisão.

Esta comunicação apresenta um estudo experimental realizado para avaliar a influência da textura, retracção e rigidez diferenciais na resistência da interface entre partes de betão com diferentes idades. A influência das condições de cura, temperatura, humidade relativa, ensaios de aderência e respectivos modos de rotura são tidos em consideração na análise de resultados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Descrevem-se a seguir os materiais e os métodos utilizados no desenvolvimento deste estudo experimental, incluindo: a) condições de cura; b) diferenças de idade consideradas entre betão do substrato e betão adicionado; c) ensaios de aderência; d) composição de betão adoptada; e) instrumentação utilizada para medir a retracção do betão; e f) métodos utilizados para preparar e aumentar a rugosidade da superfície do betão do substrato.

### 2.1 Condições de cura

Consideraram-se duas condições de cura distintas. Um conjunto de provetes de betão foi armazenado no laboratório e outro foi armazenado no exterior, ficando directamente exposto às condições ambientais como radiação solar, precipitação e vento.

Foram registadas a temperatura e a humidade relativa, nas duas situações, utilizando um termohigrógrafo. No Quadro 1 apresentam-se os valores médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação da temperatura e humidade relativa de ambas as situações. A evolução destes dois parâmetros no tempo, e respectivas linhas de tendência, é apresentada nas Figs. 1 a 4.

Quadro 1. Temperatura e humidade relativa.

Condição de cura	Período	Temperatura			Humidade relativa		
		Média (°C)	Desvio Padrão (°C)	Coef. Variação (%)	Média (°C)	Desvio Padrão (°C)	Coef. Variação (%)
Laboratório	Out/06 - Fev/07	18.17	2.88	15.88	70.28	12.56	17.87
Exterior	Fev/07 - Mai/07	17.50	5.15	29.42	70.75	22.28	31.49

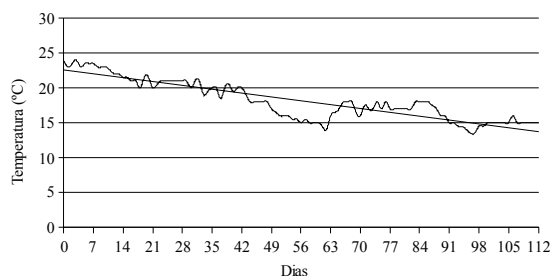


Figura 1. Evolução da temperatura no laboratório

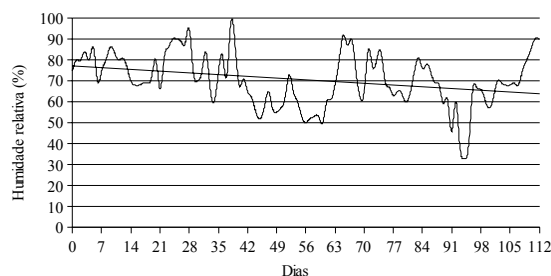


Figura 2. Evolução da humidade relativa no laboratório

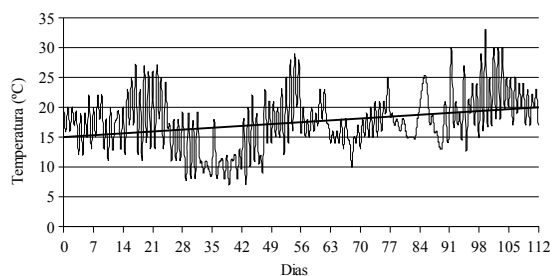


Figura 3. Evolução da temperatura no exterior

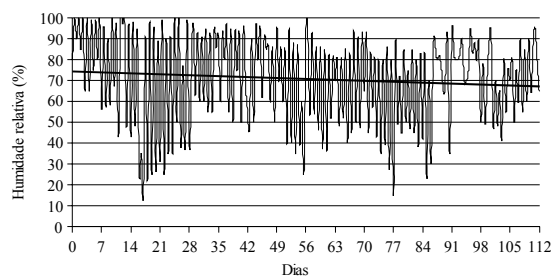


Figura 4. Evolução da humidade relativa no exterior

## 2.2 Diferença de idades entre betões

Para estudar a influência da retracção diferencial na resistência da interface betão-betão, consideraram-se três diferenças de idade entre betão do substrato e betão adicionado: 28 dias; 56 dias; e 84 dias.

Foram realizados seis conjuntos de provetes de betão: a) L28, L56 e L84 (séries L) para os provetes com cura realizada no laboratório e com uma diferença de idades de 28, 56 e 84 dias entre a betonagem do substrato e a colocação do betão adicionado, respectivamente; e b) E28, E56 e E84 (séries E) para os provetes com a cura realizada no exterior do laboratório e com uma diferença de idades de 28, 56 e 84 dias entre a betonagem do substrato e a colocação do betão adicionado, respectivamente.

## 2.3 Ensaios de aderência

A resistência da interface betão-betão foi avaliada utilizando o ensaio *slant shear* e o ensaio *splitting*. O ensaio *slant shear*, definido pela norma EN 12615 [4], foi utilizado para avaliar a resistência da interface ao corte. O provete adoptado foi um prisma de betão com dimensões de  $150 \times 150 \times 450 \text{ mm}^3$  e com a interface orientada a  $60^\circ$  com a secção transversal.

Com o ensaio *splitting*, definido pela norma EN 12390-6 [5], avaliou-se a resistência da interface à tracção, obtida por compressão do provete. O provete adoptado foi um cubo de betão com  $150 \text{ mm}$  de lado e com a interface localizada a meio.

## 2.4 Composição do betão

A composição de betão utilizada neste estudo experimental foi definida com base na expressão dos volumes absolutos [6], dada pela Eq. (1).

$$(c + s) + \sum ag_i + (w + ad) + vv = 1 \quad (1)$$

Nesta expressão,  $c$  é o volume absoluto do cimento,  $s$  é o volume absoluto da adição adoptada,  $\sum ag$  é o volume absoluto dos agregados,  $w$  é o volume de água da mistura,  $ad$  é o volume absoluto do adjuvante e  $vv$  é o volume de vazios, por unidade de volume aparente de betão.

Foi adoptado um cimento Portland tipo I 52.5R de forma a obter um betão da classe de resistência C50/60. Os agregados utilizados foram uma areia fina, uma areia grossa, uma brita calcária fina e uma brita calcária grossa. Foi utilizado como adjuvante Sika ViscoCrete 3002 HE, com o objectivo de aumentar a resistência do betão, reduzindo a quantidade de água necessária à amassadura, mas mantendo a trabalhabilidade do betão no estado fresco.

A dimensão máxima dos agregados foi de  $19.1\text{mm}$ , o volume de vazios previsto de 20% e a compactidade prevista de 0.822. A curva granulométrica de referência de Faury foi adoptada para determinar a proporção de cada constituinte da composição de betão, ajustando a curva da mistura à curva de referência pelo método dos mínimos quadrados.

A quantidade de cada constituinte da composição de betão, por metro cúbico, foi de: 295kg de areia fina; 640kg de areia grossa; 375kg de brita calcária fina; 545kg de brita calcária grossa; 350kg de cimento Portland tipo I 52.5R; 3.675kg de Sika ViscoCrete 3002 HE; e 150l de água.

Devido à consideração de duas condições de cura, três diferenças de idade entre betão do substrato e betão adicionado e de dois ensaios de aderência, foi necessário realizar diversas amassaduras de betão para a realização do estudo experimental. A resistência do betão à compressão, no dia do ensaio dos provetes *slant shear* e *splitting*, foi obtida de acordo com a norma EN 12390-3 [7], é apresentada na Fig. 5. Considerou-se a média de três provetes cúbicos de betão.

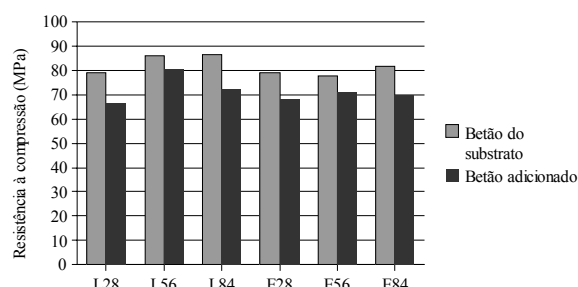


Figura 5. Resistência do betão à compressão à data do ensaio

## 2.5 Retracção

A retracção do betão foi medida em ambas as condições de cura, de acordo com a especificação LNEC E 398 [8], utilizando dois provetes prismáticos com  $150 \times 150 \times 600\text{mm}^3$  para cada situação. As deformações dos provetes foram obtidas através de dois comparadores Mitutoyo 2118SB-10, fixados a dois varões de aço calibrado embebidos no provete, posicionados a uma distância de 300mm entre si, Fig. 6. Foi considerado o valor médio da retracção dos dois provetes.

A evolução da extensão de retracção do betão no tempo é apresentada na Fig. 7, tendo os valores experimentais sido comparados com a previsão teórica obtida através do Eurocódigo 2 [1], a qual se mostrou bastante conservativa. A resistência do betão à compressão foi de 67.32MPa e 75.76MPa para ambas as condições de cura, laboratório e exterior, respectivamente. A humidade relativa média foi de 70.28% e 70.75% para ambas as condições de cura, laboratório e exterior, respectivamente. Os parâmetros utilizados no cálculo da extensão de retracção, de acordo com o Eurocódigo 2 [1], foram  $\alpha_{sd1}$  e  $\alpha_{sd2}$  iguais a 6 e 0.11, respectivamente e  $h_o$  igual a 75mm.

A semelhança entre as previsões teóricas para ambas as situações deve-se à utilização do correspondente valor médio da humidade relativa, o qual é aproximadamente igual para as duas condições de cura. Em contrapartida, a diferença entre as medições experimentais é devida às variações diárias da humidade relativa. Esta conclusão foi obtida após se comparar o valor médio, desvio padrão e coeficiente de variação deste parâmetro, Quadro 1.

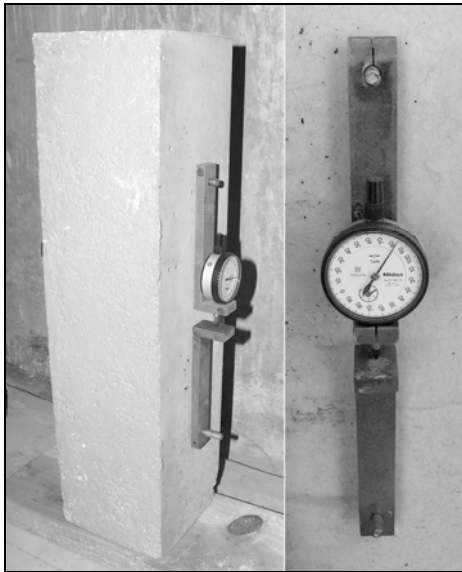


Figura 6. Provete de betão utilizado para medição da retracção

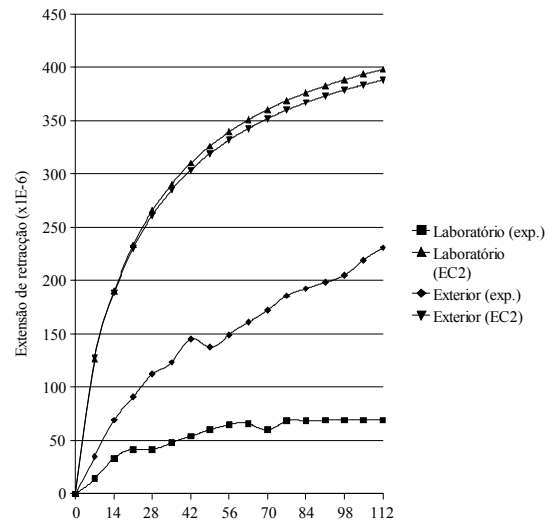


Figura 7. Evolução da extensão de retracção do betão

## 2.6 Preparação e caracterização da superfície do substrato

Foram consideradas cinco situações para a superfície da interface entre betão do substrato e betão adicionado, Fig. 8. A superfície sem tratamento (ST), resultante da betonagem contra cofragem metálica, foi considerada como situação de referência. Para aumentar a rugosidade do betão endurecido, submeteram-se as superfícies da interface aos seguintes tratamentos: a) escova de aço (EA); b) jacto de areia (JA); e c) jacto de grenalha (JG). Foi também adoptada uma técnica bastante comum na préfabricação, aplicável a betão fresco, que consiste em realizar uma raspagem manual (RM) com um acessório metálico de forma a aumentar a sua rugosidade.

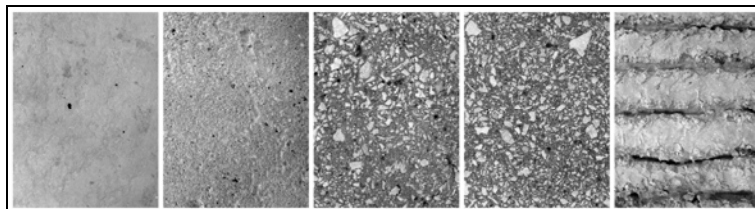


Figura 8. Preparação da superfície do substrato: a) sem tratamento; b) escova de aço; c) jacto de areia; d) jacto de grenalha; e e) raspagem manual

Realizou-se uma caracterização quantitativa da textura da interface utilizando um rugosímetro laser 2D [9]. O parâmetro de rugosidade *Profundidade Máxima do Vale* ( $R_v$ ), anteriormente identificado [9] como aquele que melhor se correlaciona com a resistência da interface, em corte e em tracção, foi adoptado neste estudo.

Realizaram-se dez medições da textura da superfície da interface para cada tipo de tratamento e determinou-se o parâmetro *Profundidade Máxima do Vale* ( $R_v$ ) para cada perfil, utilizando o perfil primário e sem recorrer à aplicação de filtros. O parâmetro de rugosidade adoptado, com base na média das dez medições efectuadas, apresentou os valores de  $0.119mm$ ,  $0.473mm$ ,  $0.604mm$ ,  $0.899mm$  e  $2.350mm$  para a superfície sem tratamento, escova de aço, jacto de areia, jacto de grenalha e raspagem manual, respectivamente.

## 2.7 Descrição das tarefas

Realizaram-se para cada situação considerada, envolvendo as diferentes condições de cura, os diferentes tratamentos da superfície do substrato e as diferenças de idade entre betão do substrato e

betão adicionado: cinco provetes *slant shear* e cinco provetes *splitting*. Para cada amassadura foram ainda realizados três provetes cúbicos para controlo da resistência do betão.

Após a preparação dos moldes metálicos, colocou-se o óleo descofrante e procedeu-se à pesagem dos constituintes do betão (agregados, cimento, adjuvante e água). De seguida realizou-se a amassadura, utilizando uma misturadora de eixo vertical, e a betonagem dos provetes.

No dia seguinte, os provetes de betão foram removidos dos moldes metálicos, numerados e armazenados no respectivo local de cura. Concluída a realização das metades dos provetes correspondentes ao betão do substrato, procedeu-se à preparação das superfícies com escova de aço, jacto de areia e jacto de grenalha. Os provetes de betão realizados para a situação de raspagem manual foram preparados no próprio dia da betonagem, com o betão ainda fresco. Adoptou-se um período de espera de, aproximadamente, duas horas após a conclusão da betonagem, para que o betão apresentasse a presa adequada à realização desta operação.

Após a preparação das superfícies, todos os provetes foram limpos com jacto de ar comprimido para remover poeiras e novamente armazenados no local de cura. Antes da colocação dos provetes dentro dos moldes metálicos, para aplicação do betão adicionado, procedeu-se a nova limpeza da interface.

Passados 28, 56 e 84 dias após a betonagem do substrato, o betão adicionado foi colocado adoptando os mesmos procedimentos da colocação do betão do substrato. Todos os provetes se encontravam secos no momento da colocação do betão adicionado, não tendo sido sujeitos a qualquer pré-humedecimento.

Quando o betão adicionado atingiu os 28 dias de idade, procedeu-se ao ensaio dos provetes *slant shear* e dos provetes *splitting* utilizando uma máquina de ensaio à compressão, AMSLER 500 TNF. A velocidade de aplicação da carga foi de 1kN/s para o ensaio *splitting*, 5kN/s para o ensaio *slant shear* e 10kN/s para o ensaio dos provetes cúbicos de controlo da resistência do betão.

### 3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A resistência da interface ao corte, avaliada de acordo com a norma EN 12615 [4], é apresentada nas Figs. 9 e 10 para a série L e série E, respectivamente. Considerou-se um valor médio, correspondente aos cinco provetes ensaiados para cada situação.

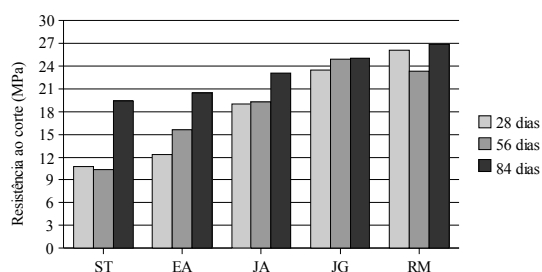


Figura 9. Resistência ao corte – Série L

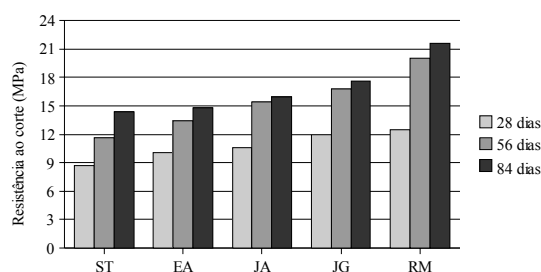


Figura 10. Resistência ao corte – Série E

A resistência da interface à tracção, avaliada de acordo com a norma EN 12390-6 [7], é apresentada nas Figs. 11 e 12 para a série L e série E, respectivamente. Considerou-se um valor médio, correspondente aos cinco provetes ensaiados para cada situação.

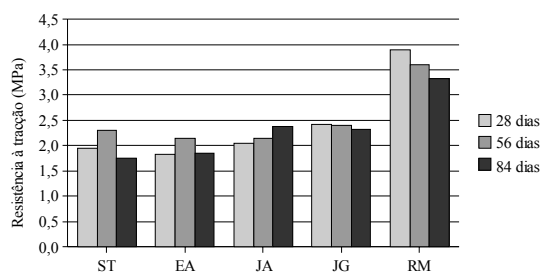


Figura 11. Resistência à tracção – Série L

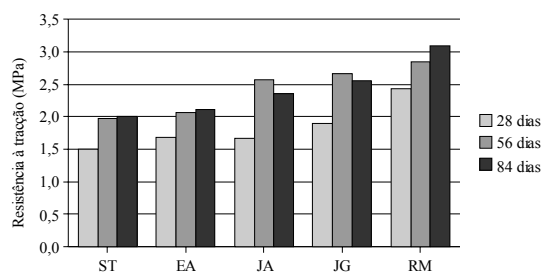


Figura 12. Resistência à tracção – Série E

Observou-se que, em geral, a resistência da interface aumenta com o aumento da rugosidade da interface. Foi igualmente observado, contrariamente ao esperado, um aumento da resistência da interface com o aumento da diferença de idades entre betão do substrato e betão adicionado. Com efeito, aumentando a diferença de idades entre o betão do substrato e o betão adicionado, aumenta a retracção diferencial entre ambas as partes e, consequentemente, os esforços na interface sendo esperada, por esta razão, uma diminuição da resistência da interface.

A avaliação da resistência da interface à tracção, utilizando o ensaio *splitting*, mostrou-se inconclusiva. Analisando a evolução da resistência da interface e comparando os resultados com o ensaio *slant shear*, verifica-se que este ensaio aparenta não ser adequado para este fim.

Os provetes *slant shear* apresentaram roturas adesivas (interface) e roturas coesivas (monolíticas), Fig. 13. Os provetes *splitting* apresentaram todos rotura adesiva. Comparando o número de roturas adesivas e roturas coesivas, concluiu-se que o ensaio *splitting* é insensível ao modo de rotura da interface.

Os resultados experimentais obtidos não podem ser comparados directamente entre si, uma vez que correspondem a modos de rotura distintos, tendo-se adoptado o critério de Mohr-Coulomb, Fig. 14, para o fazer. Através da sua aplicação a ambas as situações de cura, determinou-se a componente pura da tensão tangencial e efectuou-se a análise e discussão de resultados com base neste parâmetro.

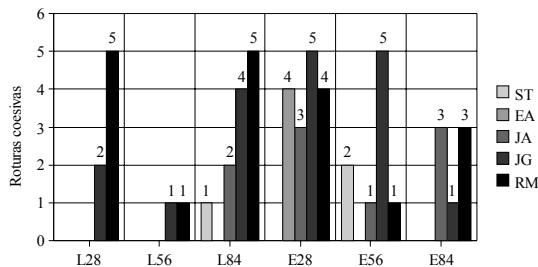


Figura 13. Número de roturas coesivas (monolíticas)

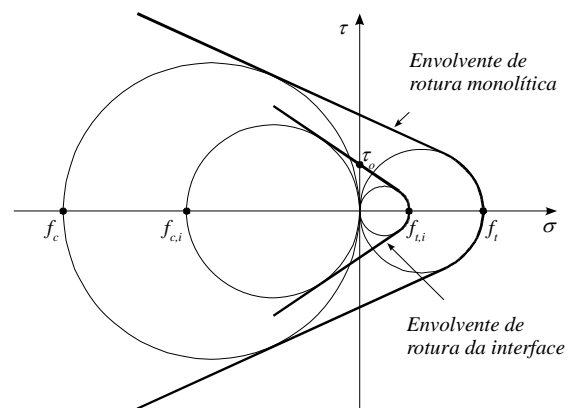


Figura 14. Critério de Mohr-Coulomb

#### 4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De forma a aplicar o critério de Mohr-Coulomb na análise dos resultados experimentais, procedeu-se à determinação da envolvente de rotura do betão monolítico. Utilizou-se o valor da resistência do betão à compressão ( $f_c$ ), obtida através dos ensaios dos provetes cúbicos de controlo da resistência, e o valor da previsão teórica da resistência do betão à tracção ( $f_t$ ), obtida através do Eurocódigo 2 [1]. A envolvente de rotura da interface foi definida utilizando os resultados experimentais do ensaio *slant shear* ( $\sigma$ ,  $\tau$ ) e do ensaio *splitting* ( $f_{t,i}$ ). A tensão de rotura dos provetes que apresentaram rotura coesiva foi também considerada. Adoptou-se o valor médio da componente pura da tensão tangencial obtida para as roturas adesivas e coesivas.

Os valores da componente pura da tensão tangencial são apresentados nas Figs. 15 e 16 e Figs. 17 e 18 para a série L e série E, respectivamente.

Assumindo uma correlação linear entre a componente pura da tensão tangencial e o parâmetro de rugosidade *Profundidade Máxima do Vale* ( $R_v$ ), obtiveram-se para os coeficientes de correlação os valores de 0.87 para a série E56, 0.94 para a série L84, 0.95 para as séries L28, L56 e E28 e 0.99 para a série E84. Demonstra-se, deste modo, que se pode utilizar uma correlação linear, com elevados coeficientes de correlação, entre a resistência da interface, aqui substituída pela componente pura da tensão tangencial, e a rugosidade da superfície do betão do substrato. Esta correlação é válida para superfícies preparadas com diferentes métodos e para diferentes idades entre as partes dos elementos compósitos de betão.

## A Influência da Textura, Retracção e Rigidez Diferenciais na Resistência da Interface entre Betões de Diferentes Idades

Observando as Figs. 15 e 17 verifica-se um aumento da componente pura da tensão tangencial com o aumento da rugosidade da interface para ambas as condições de cura. A única excepção verificou-se para a superfície preparada com jacto de areia na série E28.

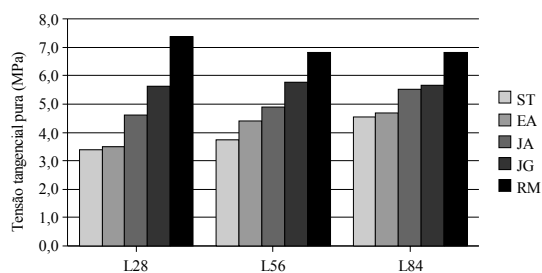


Figura 15. Tensão tangencial pura, para a série L, para uma diferença de 28, 56 e 84 dias entre betão do substrato e betão adicionado

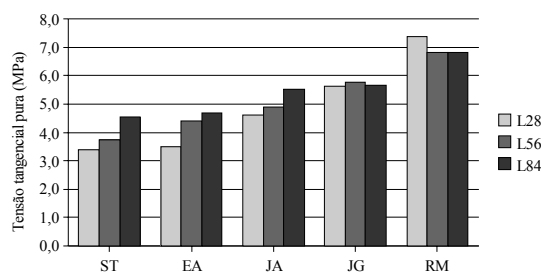


Figura 16. Tensão tangencial pura, para a série L, para os diferentes métodos de tratamento da interface

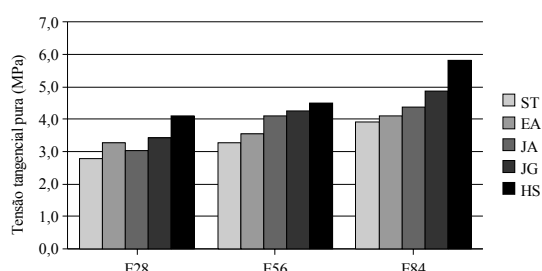


Figura 17. Tensão tangencial pura, para a série E, para uma diferença de 28, 56 e 84 dias entre betão do substrato e betão adicionado

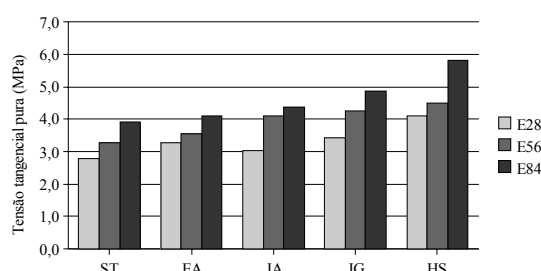


Figura 18. Tensão tangencial pura, para a série E, para os diferentes métodos de tratamento da interface

Comparando o valor da componente pura da tensão tangencial para ambas as condições de cura, Figs. 15 e 17, verifica-se uma diminuição média de  $1.16\text{MPa}$  na resistência da interface para os provetes com a cura realizada no exterior relativamente aos que realizaram a cura no laboratório.

Das Figs. 16 e 18 conclui-se que a componente pura da tensão tangencial, para ambas as condições de cura, aumenta com o aumento da diferença de idades entre betão do substrato e betão adicionado. Verificam-se três excepções para a série L, uma para a superfície preparada com jacto de grenalha e duas para a superfície preparada por raspagem manual.

O número de roturas coesivas, Fig. 13, aumentou com o aumento da rugosidade da superfície da interface, apresentando um total de 3, 4, 9, 18 e 19 roturas para as situações sem tratamento, escova de aço, jacto de areia, jacto de grenalha e raspagem manual, respectivamente.

Assumindo uma correlação linear entre o parâmetro de rugosidade *Profundidade Máxima do Vale* ( $R_v$ ) e o número de roturas coesivas obtidas com o ensaio *slant shear*, obteve-se um coeficiente de correlação de 0.82, o que indica a existência de uma correlação aceitável entre ambos os parâmetros.

Diversos provetes *slant shear* apresentaram esmagamento localizado do betão nas extremidades do plano da interface. Este fenómeno é devido à concentração de tensões, originada pelo aumento da diferença do módulo de elasticidade entre betão do substrato e betão adicionado, tendo já sido identificado anteriormente por Júlio *et al.* [10] e Austin *et al.* [11].

Embora o número de provetes ensaiados seja reduzido, observou-se um aumento do número de roturas coesivas com o aumento da diferença entre módulos de elasticidade do betão do substrato e do betão adicionado. Este tipo de relação já foi anteriormente identificada, Júlio *et al.* [10], e é de extrema importância pois possibilita a alteração do modo de rotura de elementos compósitos de betão actuando sobre a rigidez das partes de betão.

Foi ainda desenvolvido um pequeno estudo numérico, utilizando um *software* comercial de elementos finitos, de modo a analisar o inesperado aumento da resistência da interface betão-betão com o aumento da diferença de idades entre betão do substrato e betão adicionado.



Desenvolveu-se um modelo 3D do provete compósito do ensaio *slant shear*, constituído por uma malha de  $(10 \times 10 \times 10)$  elementos finitos hexaédricos de vinte nós. Para cada parte do modelo, definiu-se a extensão de retracção e o módulo de elasticidade através do Eurocódigo 2 [1], utilizando os valores obtidos experimentalmente à idade do ensaio. Os deslocamentos nodais, na base e no topo do provete, foram restringidos de modo a simular o efeito dos pratos da prensa de ensaio. Tendo-se assumido um comportamento linear do betão, o deslocamento vertical imposto para simular a compressão do provete pelos pratos da prensa de ensaio correspondeu a 40% da tensão de rotura média à compressão de um betão da classe C50/60.

Nas Figs. 19 e 20 apresentam-se as distribuições de tensões normais e tensões tangenciais na interface, respectivamente, correspondentes à soma dos efeitos devido à retracção diferencial entre betões e à carga de compressão. Observou-se que, quanto maior for o valor da retracção diferencial entre partes de betão, maior será o valor das tensões de tracção na interface. Deste modo, a resistência da interface, determinada com o *slant shear test*, aumentará com o aumento da diferença de idades entre as partes de betão, uma vez que é necessário anular as tensões de tracção na interface de modo a atingir a rotura do provete.

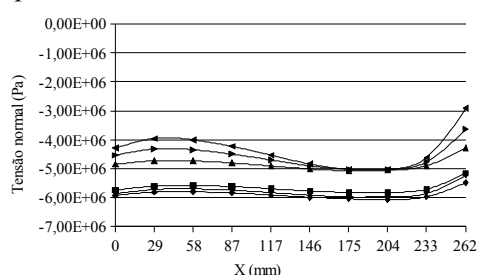


Figura 19. Distribuição de tensões normais na interface

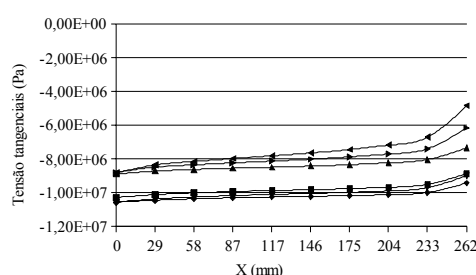


Figura 20. Distribuição de tensões tangenciais na interface

## 5 CONCLUSÕES

As condições de cura consideradas apresentaram valores médios semelhantes para a temperatura e humidade relativa. O coeficiente de variação destes parâmetros é aproximadamente o dobro para a situação de cura no exterior, quando comparado com o mesmo parâmetro para a situação de cura no laboratório, devendo-se esta diferença à variação diária de ambos os parâmetros.

Comparando os valores experimentais da retracção do betão com a previsão teórica do Eurocódigo 2 [1], conclui-se que este regulamento é muito conservativo.

O rugosímetro laser 2D, desenvolvido especificamente para caracterizar quantitativamente a textura de superfícies de betão, mostrou que os métodos adoptados para preparar o substrato conduziram a cinco situações totalmente distintas para a interface, às quais correspondem diferentes resistências em corte e em tracção.

O ensaio *slant shear* provou ser adequado para previsão da resistência e modo de rotura da interface betão-betão. O ensaio *splitting* mostrou ser inadequado para este fim.

A resistência da interface betão-betão aumenta com o aumento da rugosidade da superfície do substrato e com a diferença de idades entre betão do substrato e betão adicionado. O número de roturas coesivas aumentou com a rugosidade do substrato mas também com o aumento da rigidez diferencial entre partes de betão. O critério de Mohr-Coulomb mostrou-se eficaz na análise dos resultados obtidos de provetes com roturas distintas (adesivas e coesivas).

Devido à retracção diferencial entre betão do substrato e betão adicionado, a interface encontra-se sujeita a tensões de compressão e tracção, sendo as últimas muito superiores às primeiras. O aumento da retracção diferencial conduz ao aumento das tensões de tracção na interface.

A aplicação de uma carga de compressão no provete *slant shear*, conduz numa fase inicial à eliminação das tensões de tracção devido à retracção diferencial e só numa fase posterior à rotura do provete. Por este motivo, o aumento da retracção diferencial leva ao aumento da resistência da interface com o aumento da diferença de idades entre betão do substrato e betão adicionado. Este efeito, aparentemente benéfico, necessita de ser verificado para outros estados de tensão.

A influência da textura, retracção e rigidez diferenciais na resistência da interface entre betões de diferentes idades é significativa, quer na resistência quer no modo de rotura obtido. Os actuais códigos e regulamentos de dimensionamento de estruturas de betão, em particular o Eurocódigo 2 [1], não contemplam a caracterização quantitativa da textura da superfície do betão do substrato e ignoram a influência das condições de cura e diferenças de rigidez entre partes de betão.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através da bolsa de doutoramento com a referência SFRH/BD/25510/2005.

Os agradecimentos são extensivos às empresas MAPREL – Empresa de Pavimentos e Materiais Pré-Esforçados Lda, SIKA Portugal SA, AFAssociados – Projectos de Engenharia SA, WEBER Cimenfix, CIMPOR – Cimentos de Portugal, BETÃO-LIZ Adémia e Euro-Planning – Engenharia & Gestão Lda pelo seu apoio financeiro e material.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] EN 1992-1-1. 2004, Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings: CEN. 225 p.
- [2] ACI-318. 2005, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Committee 318: ACI. 432 p.
- [3] CSA-A23.3. 1994, Design of Concrete Structures. Structures Design: CSA. 199 p.
- [4] EN 12615. 1999, Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Determination of slant shear strength: CEN.
- [5] EN 12390-6. 2004, Ensaios do betão endurecido. Parte 6: Resistência à tracção por compressão de provetes: IPQ. 14 p.
- [6] LOURENÇO, J. [et al.] - Betões de Agregados Leves: APEB, 2006. 196 p. ISBN 972-9071-30-6
- [7] EN 12390-3. 2003, Ensaios do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio: IPQ. 21 p.
- [8] LNEC E 398. 1993, Betões. Determinação da retracção e da expansão: LNEC. 2 p.
- [9] SANTOS, P. [et al.] - Development of a laser roughness analyzer to predict in situ the bond strength of concrete-to-concrete interfaces. Magazine of Concrete Research. Vol. 60, n.º 5 (Junho 2008), p. 329-337
- [10] JÚLIO, E. [et al.] - Influence of added concrete compressive strength on adhesion to an existing concrete substrate. Building and Environment. Vol. 41, n.º 12 (Dezembro 2006), p. 1934-1939
- [11] AUSTIN, S. [et al.] - Shear bond testing of concrete repairs. Cement and Concrete Research. Vol. 29, n.º 7 (Julho 1999), p. 1067-1076