



DURABILIDADE DE ARGAMASSAS DE BASE CIMENTÍCIA REFORÇADAS COM FIBRAS SINTÉTICAS

Cristina Frazão¹, Joaquim Barros², Delfina Gonçalves³

¹ISISE, Departamento de Eng^a Civil, Universidade do Minho, frazao_cristina@hotmail.com,

²ISISE, Departamento de Eng^a Civil, Universidade do Minho, barros@civil.uminho.pt,

³CiviTest – Pesquisa de Novos Materiais para a Engenharia Civil, Lda., delfinagoncalves@civitest.com

RESUMO

O presente artigo apresenta os resultados obtidos num programa experimental de caracterização de três argamassas de matriz cimentícia reforçadas com diferente tipo de fibras, nomeadamente, fibras de poliácridonitrila (PAN), vidro (GF), polipropileno (PP) e de álcool polivinílico (PVA). A avaliação do desempenho das fibras como reforço efetivo de materiais de matriz cimentícia, foi realizada com ensaios de avaliação das propriedades reológicas, mecânicas (compressão e flexão) e de durabilidade (absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao ar e à água). De modo a comparar e analisar os resultados obtidos, foram também realizados os mesmos ensaios com uma argamassa comercial de base cimentícia. Os ensaios são descritos e os principais resultados obtidos são apresentados e discutidos.

Palavras-chave: Durabilidade / Argamassa cimentícia / Fibras sintéticas

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do projeto de investigação **InoTec** – *Material inovador de ultra elevada ductilidade para a reabilitação do património construído*, promovido pela empresa CiviTest – *Pesquisa de Novos Materiais para a Engenharia Civil, Lda.* e a *Universidade do Minho*, foi desenvolvido um novo material de matriz cimentícia reforçado com fibras, aqui designado por FRCC – “*Fiber Reinforced Cement Composite*”, para aplicação em reforço de estruturas de materiais frágeis, através da técnica de projeção de argamassas, capaz de preencher os espaços existentes entre os elementos que constituem a estrutura a reforçar e sem ocorrer escorrimento do material de reforço, nem ressalto dos elementos da estrutura.

Pretendia-se que o FRCC tivesse resistência última à tração superior à tensão de início da fendilhação da sua matriz, e extensão máxima de rotura por tração superior a 2%, o que



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

garante elevada capacidade de absorção de energia, e desenvolvimento de padrão de fendilhação difuso de reduzida abertura, com diretas consequências na proteção a efeitos nefastos de agentes de agressividade ambiental.

No presente trabalho é apresentada a campanha experimental realizada de avaliação das propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade de três argamassas de FRCC desenvolvidas, nomeadamente: FRCC-PAN, FRCC-GF e FRCC-PVA cujo reforço é constituído por fibras de PAN (Poliacrilonitrila), fibras de vidro (GF) e fibras de polipropileno (PP) e fibras de PVA (Álcool polivinílico), respetivamente. De modo a comparar e analisar os resultados obtidos, foram também realizados os mesmos ensaios com uma argamassa comercial de base cimentícia.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1. Materiais

Nas composições das argamassas desenvolvidas foram adotados os seguintes materiais base: cimento (CEM) do tipo I 42.5R, cinzas volantes (CV), fíler calcário (FC), areia fina (AF), superplastificante (SP) (SIKA Viscocrete 3002), controlador de viscosidade (VMA), 3 tipos de fibras de PAN (PAN6, PAN12 e PAN6_L62), fibras de vidro (GF), fibras de polipropileno (PP) e fibras de PVA. Na Tabela 1 apresentam-se as principais propriedades geométricas e mecânicas das fibras utilizadas.

Tabela 1 – Propriedades das fibras sintéticas

Fibras	Comprimento (mm)	Diâmetro (µm)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de Tração (MPa)	Densidade (kg/m ³)	Alongamento (%)
PAN6	6	26	8.47	482	1.19	14-18
PAN12	12	58	5.86	226	1.19	13-17
PAN6_L62	6	16	12.04	690	1.19	15-20
GF	12	5-15	70-80	2000-4000	2.58	2.5-4.8
PP	12	-	-	-	0.91	-
PVA	8	40	40	1560	1.3	6.5



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Na argamassa FRCC-PAN foram utilizados 1% PAN6+3% PAN12+1% PAN6_L62, na FRCC-GF utilizou-se 4% GF+1% PP, enquanto na FRCC-PVA aplicou-se 2% PVA (percentagem em volume).

Para efeitos de comparação utilizou-se uma argamassa comercial de base cimentícia de elevada resistência mecânica e durabilidade, comercializada para utilização em reforço estrutural, através de aplicação por projeção por via húmida no substrato em combinação com uma rede de fibras de carbono. Esta argamassa é um produto de um componente constituído por ligantes inorgânicos, fibras, agregados selecionados, adições, polímeros e por um componente especial reativo com a malha de fibras de carbono que pretende assegurar aderência entre estes dois componentes. A argamassa é preparada por mistura mecânica com a adição de água (14% do peso) até se obter uma mistura homogénea.

2.2. Procedimentos de ensaio

Para caracterizar o comportamento das argamassas no estado fresco, foram realizados ensaios de espalhamento (“by flow table”) de acordo com a norma EN 1015-3, ensaios de determinação do teor em ar, da massa volúmica e da retenção de água de acordo com as normas EN 1015-7, EN 1015-6 e EN 1015-8, respetivamente.

A caracterização mecânica das argamassas foi realizada através de ensaios de determinação do módulo de elasticidade secante, da resistência à compressão e do comportamento à flexão. A determinação do módulo de elasticidade e de resistência à compressão foi realizada em 4 provetes cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, de acordo com a norma NP EN 12390-13 e NP EN 12390-3, respetivamente. O comportamento em flexão foi avaliado em 6 provetes prismáticos normalizados de 160 x 40 x 40 mm³, de acordo com o recomendado na norma EN 1015-11.

Com o objetivo de caracterizar as argamassas do ponto de vista da sua durabilidade, foram avaliados alguns indicadores em provetes de FRCC aos 28 dias de idade, nomeadamente, a absorção de água por capilaridade (EN 1015-18) - “meio-provetes” resultantes das argamassas em estudo após os ensaios de flexão e a permeabilidade ao ar e à água - 6 provetes cilíndricos caroteados de 50 mm de diâmetro e 40 mm de altura.



3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1. Estado fresco

A trabalhabilidade das argamassas foi avaliada através de ensaios de espalhamento e de ensaios de determinação do teor de ar, da massa volúmica e da retenção de água. Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades das argamassas no estado fresco

Argamassa	Espalhamento (mm)	Teor em ar (%)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Retenção de água (%)
FRCC-PAN	124	9.0	1664.66	99.46
FRCC-GF	185	6.5	1828.82	98.41
FRCC-PVA	185	10.0	1819.25	99.82
Comercial	194	3.7	2190.73	92.79

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que as fibras PAN provocaram uma redução mais significativa da trabalhabilidade da argamassa, por ter apresentado menor consistência por espalhamento, maior teor de ar e elevada retenção de água. Este facto poderá ser explicado por as fibras PAN absorverem na sua superfície uma elevada quantidade de água, diminuindo a água livre na mistura e a distância entre as diferentes partículas na argamassa, prejudicando, assim, a sua fluidez.

Das restantes argamassas não comerciais, as FRCC-GF e FRCC-PVA desenvolveram igual trabalhabilidade, próxima da apresentada pela argamassa comercial. No entanto, a FRCC-PVA apresentou valores de teor em ar e de retenção de água similares aos demonstrados pela FRCC-PAN, por razões similares às então indicadas.

Conforme se verifica, obtiveram-se valores elevados de retenção de água em todas as argamassas em estudo, o que permite evitar a sua evaporação e/ou sucção rápida por parte do suporte, como benefícios que aí deriva de diminuição do risco de fendilhação da argamassa. A elevada retenção de água é ainda essencial para se obter um endurecimento adequado, promovendo as reações de hidratação do cimento e um consequente ganho de resistência mecânica e de aderência.



3.2. Estado endurecido

3.2.1 Propriedades mecânicas

3.2.1.1 Comportamento à Compressão

O módulo de elasticidade e a resistência à compressão de cada argamassa foram avaliados aos 14 e 28 dias de idade. O procedimento adotado consistiu em determinar a resistência à compressão em um provete, a cada idade, de modo a estabelecer o valor máximo da força de compressão nos ciclos de carga/descarga, realizados para determinar o módulo de elasticidade. Para os restantes três provetes, determinou-se primeiro o módulo de elasticidade e de seguida, procedeu-se ao carregamento dos provetes até à rotura para obter a relação tensão-extensão em compressão.

Na Figura 1 apresentam-se as curvas médias tensão-extensão em compressão, obtidas para as argamassas aos 14 e 28 dias de idade. Os valores médios do módulo de elasticidade, E_{cm} , e da resistência à compressão, f_{cm} , para as diferentes idades, encontram-se apresentados na Tabela 3, com os correspondentes coeficientes de variação, CoV.

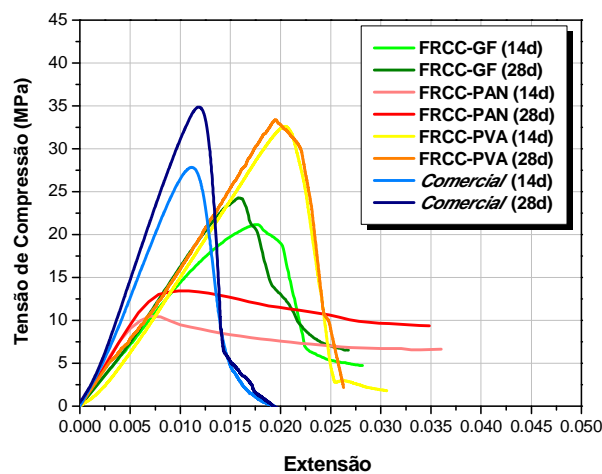


Fig. 1 - Curva média tensão - extensão em compressão de quatro respostas obtidas das argamassas, aos 14 e 28 dias de idade

Tabela 3 - Resultados obtidos nos ensaios de compressão

	FRCC-PAN		FRCC-GF		FRCC-PVA		Comercial	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
E_{cm} (MPa)	7.03	9.67	8.74	14.11	18.36	18.82	32.43	38.24
CoV (%)	10.36	13.96	18.02	6.61	2.97	3.40	18.08	5.97
f_{cm} (MPa)	10.61	14.17	18.42	24.68	33.10	36.63	29.99	36.46
CoV (%)	3.81	9.77	19.70	2.41	3.37	4.63	17.98	6.85



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

A argamassa comercial e o FRCC-PVA apresentaram maior módulo de elasticidade e resistência de compressão, no entanto, o FRCC-PAN e o FRCC-GF apresentaram maior resistência pós pico, o que significa maior capacidade de absorção de energia por unidade de volume de material.

3.2.1.2 Comportamento em Flexão

O comportamento em flexão das argamassas FRCC-PAN e *comercial* foi avaliado em 6 provetes de dimensões $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$, de acordo com o recomendado na norma EN 1015-11, às idades de 8 e 28 dias de idade. Os ensaios foram realizados numa prensa servo-controlada de elevada precisão, em controlo de deslocamento à velocidade de 0.2 mm/min, com recurso a uma célula de carga de 10 kN de capacidade.

O comportamento em flexão das argamassas FRCC-GF e FRCC-PVA foi avaliado de modo semelhante ao adotado para as outras argamassas, com a diferença de se ter realizado um entalhe a meio-vão dos provetes, com uma espessura de 0.4 mm e profundidade de 8 mm (de modo a se obter uma única fissura quando submetido a carga crescente). Neste ensaio registaram-se o deslocamento vertical a meio vão e a abertura de fissura na boca do entalhe (*CTOD – Crack Tip Opening Displacement*), recorrendo a LVDTs.

Na Figura 2 apresentam-se as curvas médias força-flecha registadas nos ensaios de flexão com provetes de FRCC-PAN e argamassa comercial aos 8 e 28 dias de idade.

Da análise dos resultados apresentados na Figura 2, é possível verificar que após ser atingido o ponto de carga máxima suportado pelas vigas da argamassa comercial, estas apresentaram uma diminuição abrupta da capacidade de carga, devido ao seu comportamento frágil. No caso das vigas de FRCC-PAN é claro o aumento da sua resistência à flexão pós-fissuração da sua matriz, em virtude dos mecanismos de reforço assegurados pelas fibras.

De acordo com a norma europeia EN 1015-11, os valores médios obtidos da resistência à flexão na argamassa FRCC-PAN foram de 8.23 MPa aos 8 dias (CoV=8.80%) e 11.27 MPa aos 28 dias (CoV=9.15%). No caso da argamassa comercial, os mesmos valores foram de 5.56 MPa aos 8 dias (CoV=5.86%) e 6.25 MPa aos 28 dias (CoV=4.81%).

Na Figura 3 apresentam-se as curvas médias força-flecha registadas nos ensaios de flexão com provetes de FRCC-GF e FRCC-PVA aos 8 e 28 dias de idade.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

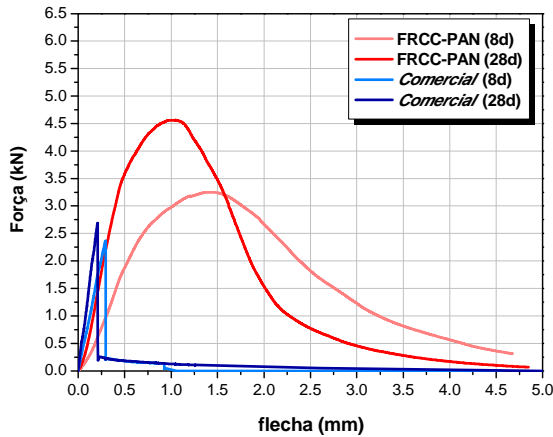


Fig. 2 – Relação força-flecha do FRCC-PAN e da argamassa comercial

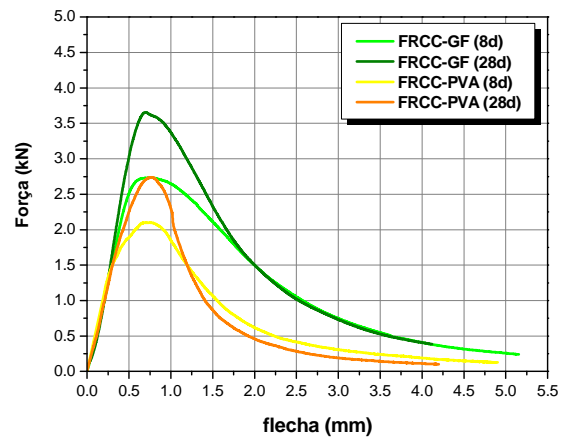


Fig. 3 – Relação força-flecha do FRCC-GF e do FRCC-PVA (8 e 28 dias)

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados obtidos das resistências residuais $f_{R,i}$ determinados segundo as recomendações adaptadas (a geometria do provete é diferente) do CEB-FIP MODEL CODE. São também apresentados os resultados obtidos da energia absorvida durante o processo de fratura até uma abertura de fenda de 4 mm, G_f , determinada segundo a expressão proposta pela RILEM TC 50-FMC e a resistência máxima à tração por flexão, f_m

Tabela 5 - Resistências residuais médias, energia de fratura e resistência máxima à tração por flexão de acordo com o CEB-FIP MODEL CODE

	$f_{R,1m}$ (MPa)	$f_{R,2m}$ (MPa)	$f_{R,3m}$ (MPa)	$f_{R,4m}$ (MPa)	G_{fm} (N/mm)	f_{flm} (MPa)
CMOD	0.5	1.5	2.5	3.5		
FRCC-GF (8d)	9.00	6.03	3.72	2.44	5.26	9.56
CoV (%)	15.82	18.90	19.10	18.27	17.38	12.67
FRCC-GF (28d)	11.37	6.43	3.64	2.21	5.26	12.55
CoV (%)	21.73	25.63	25.37	26.04	22.85	18.04
FRCC-PVA (8d)	8.00	3.74	1.73	1.06	2.39	7.93
CoV (%)	12.65	25.66	26.35	25.16	15.31	12.18
FRCC-PVA (28d)	11.07	4.10	1.84	0.96	2.95	8.97
CoV (%)	12.77	5.65	15.22	22.19	2.77	14.07



Pelos resultados obtidos é identificável a relativa elevada resistência pós fissuração da matriz destas argamassas, principalmente até abertura de 0.5 mm ($f_{R,1m}$), bem como a energia de fratura, G_{fm} (cerca de 100 vezes a que seria obtida numa argamassa convencional de classe de resistência similar às FRCC desenvolvidas). Constata-se ainda que entre os 8 e os 28 dias o aumento dos valores destas propriedades foi relativamente baixo, e que a FRCC-GF apresentou maiores valores de resistência à flexão (f_{fm}) de resistência residual ($f_{R,im}$) e de G_{fm} .

3.2.2 Indicadores de durabilidade

3.2.2.1 Absorção de água por capilaridade

Relativamente à absorção de água por capilaridade, os resultados obtidos permitiram determinar, para cada instante de tempo, a respetiva absorção capilar, A_c , expressa em kg/m^2 , calculada através da divisão do aumento da massa registado pela área da superfície inferior do provete que esteve em contacto com a água. Este procedimento permitiu elaborar diagramas representativos da cinética de absorção capilar, expressando a absorção capilar em função da raiz quadrada do tempo (Figura 4).

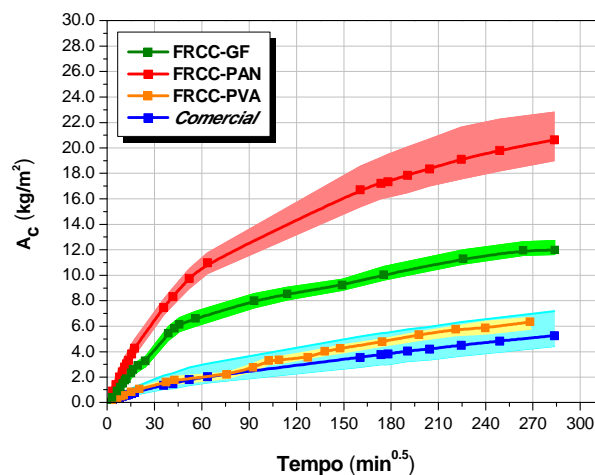


Fig. 4 – Absorção capilar dos provetes de FRCC-PAN, FRCC-GF, FRCC-PVA e Comercial

Na Tabela 6 apresentam-se os coeficientes de absorção de água por capilaridade, para as argamassas FRCC-PAN, FRCC-GF, FRCC-PVA e Comercial.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Tabela 6 – Coeficientes de absorção de água por capilaridade

	FRCC-PAN	FRCC-GF	FRCC-PVA	Comercial
C (kg/(m².min^{0.5}))	1.44	1.09	0.30	0.26
CoV (%)	14.64	16.46	17.19	27.03

Verifica-se que os coeficientes de absorção capilar obtidos nas argamassas em estudo refletem a estrutura porosa cuja dimensão e continuidade é controlada pela razão água/ligante (A/L), isto é, quanto maior a razão A/L, maior a porosidade capilar da superfície das argamassas, facilitando a penetração de agentes deteriorantes das propriedades mecânicas e de durabilidade. Os valores da razão A/L foram de 0.39 na FRCC-PAN, 0.26 na FRCC-GF e 0.24 na FRCC-PVA.

O facto da argamassa FRCC-PVA ter apresentado o valor máximo de teor em ar (10%) e um reduzido valor do coeficiente de absorção capilar poderá ser justificado pela utilização de uma misturadora diferente na sua produção com o propósito de assegurar uma melhor dispersão das fibras de PVA na matriz, mas cuja ação de corte da lâmina contribuiu para um aumento de bolhas na amassadura (Portland Cement Association, 1998). Um outro fator justificativo deste facto poderá ser as adições químicas utilizadas para melhorar a viscosidade da argamassa, que poderão ter proporcionado a formação de micro-poros na interface fibra/matriz (Chen *et al.*, 2014). Três dos principais parâmetros que controlam a dimensão e continuidade da estrutura porosa de uma argamassa são a razão A/L, a granulometria dos agregados e as condições de cura (Roque *et al.*, 2009). Neste caso, a argamassa FRCC-PVA possui uma reduzida razão A/L, o que produz um baixo volume de poros capilares, sendo estes bloqueados pelos produtos de hidratação durante o processo de cura (Roque *et al.*, 2009). Além disso, na sua composição foi utilizada uma areia de sílica de uma granulometria muito homogénea originando uma matriz muito densa e uniforme de reduzida porosidade e, consequentemente, reduzida absorção capilar e permeabilidade ao ar e à água (3.2.2.2).

3.2.2.2 Permeabilidade ao ar e à água

A permeabilidade ao ar e à água das argamassas em estudo foi medida numa célula de permeabilidade de Leeds. Este permeâmetro permite submeter provetes a uma determinada pressão durante um dado período, garantindo que o fluxo do fluido que atravessa o provete é estável e uniaxial.



As Figuras 5 e 6 apresentam, respetivamente, os valores médios obtidos do coeficiente de permeabilidade ao ar, K_G e do coeficiente de permeabilidade à água, K_w , para os provetes das argamassas em estudo.

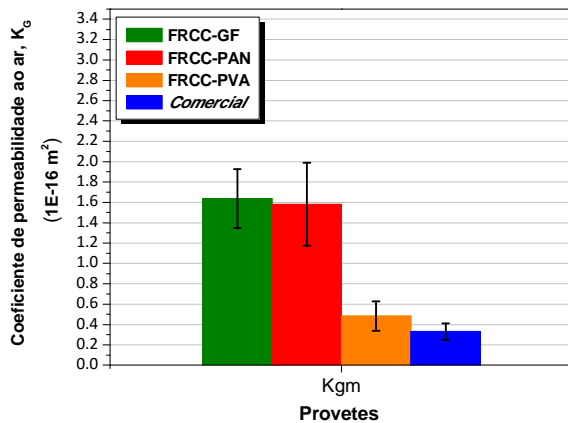


Fig. 5 – Coeficiente de permeabilidade ao ar nos provetes de FRCC-PAN, FRCC-GF, FRCC-PVA e Comercial

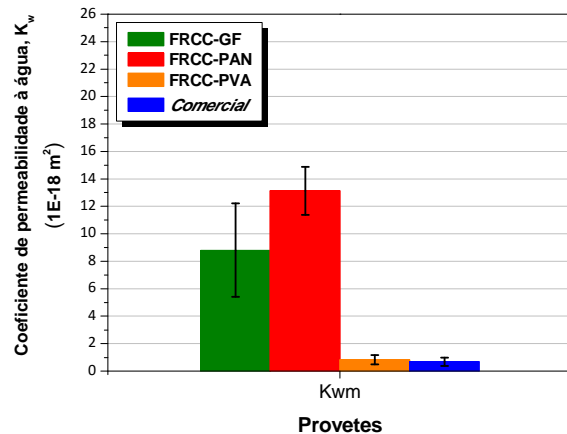


Fig. 6 – Coeficiente de permeabilidade à água nos provetes de FRCC-PAN, FRCC-GF, FRCC-PVA e Comercial

Analisando os resultados obtidos da permeabilidade ao ar e à água, verificou-se um aumento muito significativo destes valores nas argamassas FRCC-PAN e FRCC-GF comparativamente com as argamassas FRCC-PVA e Comercial. Este aumento é devido ao maior volume de fibras utilizadas nestas argamassas, que origina um maior teor de poros na interface fibra-matriz resultando um aumento da permeabilidade. Esta microestrutura porosa e o relativo elevado número de fibras permitem que o fluxo de gases e líquidos penetre mais facilmente no interior das argamassas.

4. CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta os trabalhos experimentais desenvolvidos no âmbito da avaliação da trabalhabilidade, do comportamento mecânico e da durabilidade de quatro argamassas de base cimentícia reforçadas com fibras sintéticas, FRCC-PAN, FRCC-GF, FRCC-PVA e uma argamassa comercial.

Todas as FRCC apresentaram menor trabalhabilidade, maior teor em ar e maior retenção de água que os respetivos valores registados na argamassa comercial, no entanto a trabalhabilidade da FRCC-GF e FRCC-PVA foi igual e próxima da determinada na argamassa comercial.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

No que concerne ao comportamento mecânico, a argamassa *comercial* e FRCC-PVA apresentaram valores de módulo de elasticidade e resistência de compressão mais elevados do que os obtidos na argamassa FRCC-PAN e FRCC-GF. No entanto, as argamassas FRCC-PAN e FRCC-GF apresentaram maior resistência pós pico, o que significa maior capacidade de absorção de energia, de deformação axial por compressão, por unidade de volume de material. Foi no entanto nos ensaios de flexão que mais se revelou o efeito benéfico das fibras PAN, das fibras de vidro e das fibras PVA, que para além de ter causado um aumento significativo da resistência à tração por flexão, provocou um aumento da ductilidade, comprovada pelos parâmetros de resistência residual. A argamassa *comercial*, apesar de conter micro-fibras na sua composição, apresentou uma diminuição abrupta de capacidade de carga imediatamente após a fendilhação da matriz.

Do ponto de vista da durabilidade, verificou-se no caso das argamassas FRCC-PAN, FRCC-GF e *comercial* que quanto maior os valores de teor de ar na argamassa fresca, maior é a porosidade capilar. Este facto também foi verificado na avaliação da permeabilidade ao ar e à água, uma vez que as argamassas FRCC-PAN e FRCC-GF apresentaram elevados valores destes parâmetros comparativamente com a argamassa *comercial*.

5. AGRADECIMENTOS

Esta investigação foi realizada no âmbito do projeto *InoTec - Material inovador de ultra elevada ductilidade para a reabilitação do património construído*, promovido pela Empresa CiviTest e pela Universidade do Minho e financiado pelo COMPETE / QREN / FEDER (NORTE-07-0202-FEDER-023024). O primeiro autor agradece a bolsa de investigação atribuída ao abrigo deste projeto. Um especial agradecimento à empresa Owens Corning pelo fornecimento das fibras de vidro, à Exporplas pelas fibras de polipropileno, à Sika pelo superplastificante, à Secil pelo cimento, à CHRYSO pelo VMA e à S&P Clever Reinforcement Ibérica pelo fornecimento da argamassa comercial.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM C88-05. Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, ASTM International.
- CEB FIB Model Code.2010. V.1, pp. 350.



IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Chen, D., Du, C., Feng, X., e Ouyang, F. 2013. An Elastoplastic Damage Constitutive Model for Cementitious Materials under Wet-Dry Cyclic Sulfate Attack, Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, Article ID 562410, pp. 7.
- Chen, Z., Yang, E.-H., Yang, Y., e Yao, Y. 2014. Latex-modified Engineered Cementitious Composites (L-ECC), Journal of Advanced Concrete Technology, V. 12, pp. 510-519.
- EN 1015-3. 1999. Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of dry bulk density of hardened mortar, norma europeia aprovada por CEN.
- EN 1015-6. 1998. Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar", norma europeia aprovada por CEN.
- EN 1015-7. 1998. Methods of test for mortar for masonry – Part 7: Determination of air content of fresh mortar", norma europeia aprovada por CEN.
- EN 1015-8. 1998. Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar", norma europeia aprovada por CEN.
- EN 1015-11.1999. Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, norma europeia aprovada por CEN, pp. 8.
- EN 1015-18. 2002. Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar, norma europeia aprovada por CEN, pp. 8.
- Meriem, M. e Nasser, C. 2013. Mechanical behavior of self compacting concrete equivalent mortar attacked by sodium sulfate solution, Civil and Environmental Research, V.5, pp. 91-95.
- NP EN 12370. 2001, Métodos de ensaio para pedra natural: Determinação da resistência à cristalização de sais, IPQ, Lisboa, pp. 9.
- NP EN 12390-3. 2011. Ensaio do betão endurecido, Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio, IPQ, Lisboa, pp. 21.
- NP EN 12390-13. 2012. Testing hardened concrete – Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression, Technical Committee CEN/TC 104, pp. 10.
- Portland Cement Association, 1998. Control of Air Content in Concrete, Concrete Technology Today, Vol. 19/Nº 1;
- RILEM TC 50-FMC. 1985. Determination of fracture energy of mortar and concrete by means of threepoint bend tests on notched beams, Materials and Structures, 18(106), pp. 285-290.
- Roque, R., Kim, N., Kim, B., Lopp, G. 2009. Durability of Fiber-Reinforced Concrete in Florida Environments, Final Report, UF Project No. 00050493, Dept. of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, pp. 255.