

DETERMINAÇÃO DA TENSÃO DE CISALHAMENTO NA INTERFACE FIBRA DE VIDRO E MATRIZ CIMENTÍCIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

R. Caratin¹, G. Marinucci ^{1,2}

rcaratin@ipen.br

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN/CNEN-SP

²Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo

RESUMO

Nesse trabalho foram determinadas as tensões de cisalhamento na interface fibra matriz cimentícia por meio do ensaio de arrancamento (pullout). Os corpos-de-prova foram fabricados utilizando-se fibra de vidro AR (álcalis resistant) e concreto de 29 MPa de resistência característica à compressão (f_{ck}), adotando-se a proporção 1:2,24:2,34 para cimento do tipo CP-32, areia média lavada e brita nº 1. Os valores medidos foram comparados com ensaios de corpos-de-prova de concreto com barras de aço corrugados de diâmetro 6,4 mm de uso cotidiano da construção civil. Resultados preliminares identificaram um aumento expressivo de 41% no valor médio das tensões na interface fibra-cimento utilizando fibra de vidro-AR quando comparada com o compósito de barra de aço e matriz cimentícia.

Palavras Chave: compósitos, matriz cimentícia, fibra de vidro, interface fibra/matriz, ensaio de arrancamento (pullout).

INTRODUÇÃO

Em mais de cento e cinquenta anos em que existem conhecimento e uso do cimento Portland, as armaduras metálicas têm sido aplicadas como reforço do concreto desde a fabricação de uma tampa de poço até a edificação de obras de grande porte, tais como túneis, pontes e barragens. Mas foi a partir de meados do século passado, no entanto, que o uso de fibras não metálicas associadas à argamassa, tijolos e pisos começou a ser efetivamente estudado para obtenção de um compósito mais resistente e de ampla utilização pelo mercado. Como exemplos

dessa aplicação estão as fibras vegetais de bambu, juta, sisal e coco, algumas na substituição do amianto, cujo manejo é prejudicial à saúde e outras na produção de painéis pré-fabricados esbeltos e baratos, que são adequados para áreas onde a renda per capita seja baixa e sua extração natural é fácil ⁽¹⁾. A expansão desse conhecimento sugere a experimentação de diferentes tipos de fibras como reforço estrutural que possam ser aplicadas em peças submetidas a ação contínua de agentes agressivos, como se tem com a chuva ácida, ou quando sofrem a ação de uma sobrecarga que esteja acima do limite de resistência para a qual foram concebidas, como por exemplo, devido ao aumento do tráfego em uma ponte, ou ainda na adequação estrutural em edifícios comerciais por mudança do tipo de utilização e recuperação de elementos arquitetônicos ou restaurações em edificações históricas ⁽²⁾. Atualmente há um número crescente de estudos sobre aplicações de macro fibras, tecidos ou mantas de fibras de vidro para compensar esforços axiais, de flexão e de cisalhamento ⁽³⁾. Contudo, se identificam poucos registros na literatura de trabalhos abordando o estudo da interface fibra/matriz cimentícia com filamentos contínuos de fibra de vidro-AR (álcalis resistant) em substituição à utilização das armaduras metálicas tradicionais, e que pudessem ser produzidas industrialmente. Este foi o elemento motivador para o desenvolvimento do presente trabalho, em que a tensão de cisalhamento fibra/matriz cimentícia foi obtida por meio do teste de arrancamento (*pullout*) de uma haste de fibra de vidro imobilizada em um bloco de concreto. Os parâmetros conhecidos eram a resistência à compressão do concreto, dimensões do bloco e área de atrito da interface fibrocimento.

OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi determinar os valores da tensão de cisalhamento na interface fibra de vidro e matriz cimentícia por meio de testes de arrancamento nos elementos de reforço.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Matriz de concreto

A matriz de concreto é um composto não metálico de três fases, o cimento e os agregados miúdos e graúdos. Suas características podem ser alteradas conforme a resistência final esperada e a geometria da peça a ser preenchida e estão diretamente ligadas às proporções adotadas para cada componente da mistura.

Matriz polimérica

A matriz polimérica utilizada é resultado da mistura em proporções adequadas de resina, endurecedor e acelerador, formando um material sólido com boas propriedades mecânicas e excelente resistência química.

Haste de fibra de vidro

Um material compósito é um material multifásico produzido artificialmente e composto de fases quimicamente diferentes e separadas por uma interface distinta ⁽³⁾. Segundo este conceito, foi produzida uma haste, que se trata de um material compósito bi- componente: as fibras de vidro-AR produzidas de forma contínuas não torcidas e fornecidas na forma de *rovings*, a resina, que envolve as fibras e as mantém em seu posicionamento relativo ⁽⁴⁾. Portanto, haste é a designação dada a um segmento de fibra que recebeu tratamento superficial para aumentar a aderência fibro/cimento, e que irá resistir aos esforços resultantes das cargas atuantes na estrutura de concreto ⁽⁵⁾.

Barra de aço

Para se obter elementos que permitissem comparar os valores das tensões de cisalhamento referentes aos reforços de hastes de fibra de vidro-AR, utilizou-se os resultados conseguidos com barras de aço de uso tradicional na construção civil, conhecidas comercialmente por aço CA-50, de diâmetro nominal 6,4 mm, cortadas em segmentos de 25 cm de comprimento, também submetidas a ensaios de pullout.

Métodos

Preparo das hastes de fibra de vidro

A haste foi obtida através da mistura dos materiais MY750 (resina), HY2918 (endurecedor) e DY062 (acelerador), preparada para a cura por aquecimento. Na fabricação de cada haste foram utilizados 9 rovings de fibras de vidro-AR, com 250 mm de comprimento, suas características físicas estão indicadas na Tab. 1.

Tabela 1: Características físicas da fibra de vidro e das hastes.

Descrição	Valor
Densidade da fibra	2.55 g.cm ⁻³
Seção transversal da fibra	0.96 mm ²
Diâmetro da haste	6.50 mm ²
Área de aderência da haste	451.50 mm ²

Preparo das amostras

A tensão de cisalhamento foi obtida em ensaios de arrancamento em corpos de prova de concreto, com dimensões de 100 x 100 x 100 mm, preparados com cimento, areia média lavada e brita nº1, nas proporções 1:2,24:2,34, que resulta em blocos de resistência característica à compressão (f_{ck}) de 29 N/mm². Na Tab. 2 estão indicadas as quantidades individuais em relação a um saco de cimento de 50 Kg.

Tabela 2: Traço do concreto (f_{ck} =29 MPa) em relação a 50 Kg de cimento.

Descrição	Quantidades
Cimento	50.0 Kg
Areia media lavada	112.0 Kg
Brita nº 1	117.0 Kg
Água	26.5 Kg

Dois diferentes tipos de arranjo foram preparados. Na disposição com um bloco único, a extremidade da haste ficou exposta para fixação da garra da prensa. No

arranjo a prensa tracionou diretamente os elementos de concreto, sem contato físico com a haste.

Decidiu-se que 50 mm do reforço estaria em contacto com a matriz de cimento e 50 mm seria isolado do concreto por um tubo plástico de 10 mm de diâmetro inserido no molde através de um orifício lateral, em ambos arranjos. Na Fig. 1 são indicados os detalhes dos dois arranjos utilizados.

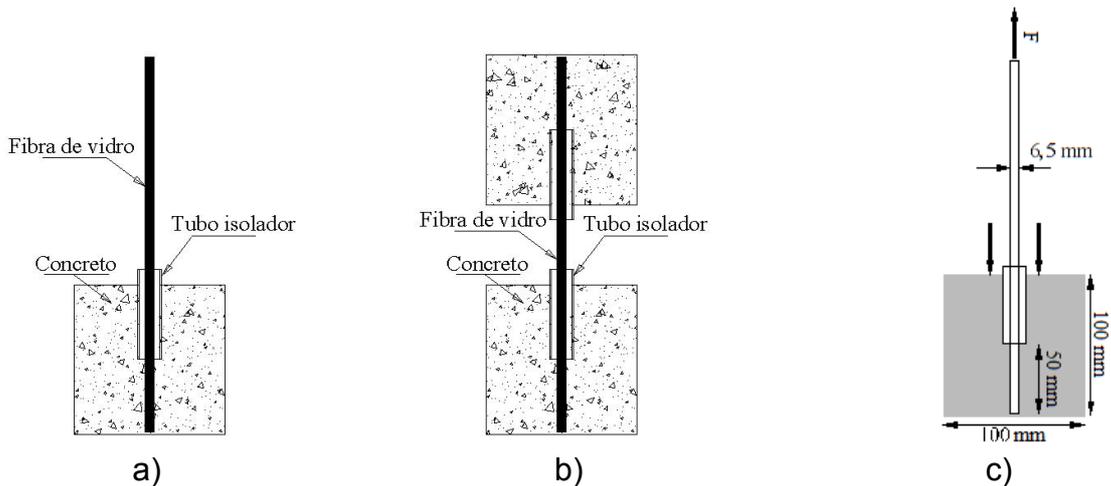


Figura 1. Detalhes dos arranjos para ensaio de arrancamento. a) bloco simples; b) bloco duplo; c) dimensões básicas utilizadas em ambos os arranjos.

Com a haste posicionada o molde foi preenchido com concreto em camadas de 25 mm, apiloadas manualmente conforme é preconizado pela NBR 05738 ⁽⁶⁾, Fig. 2.

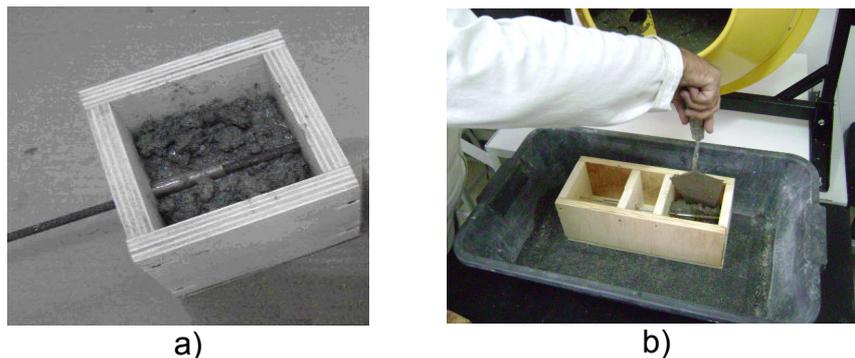


Figura 2. Preenchimento manual dos moldes em camadas de 25 mm: a) bloco único com barra de aço; b) bloco duplo com fibra de vidro.

As amostras foram mantidos ao ar livre por cerca de 3 horas, até o início da do processo de cura da matriz cimentícia, quando então foram transferidas para um

tanque com água de pH alcalino, onde permaneceram por 28 dias. Os moldes foram removidos após as primeiras 24 horas de cura, Fig. 3.

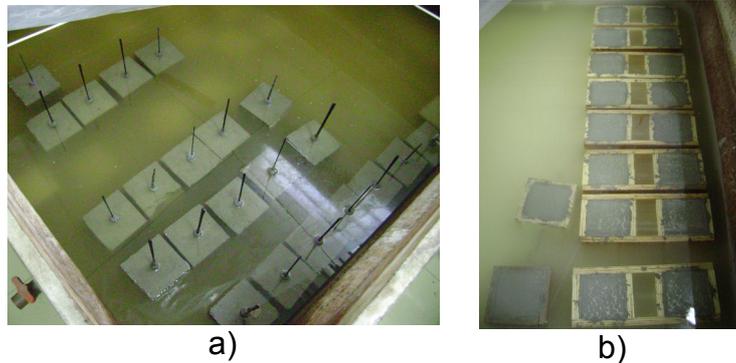


Figura 3. Cura submersa por 28 dias: a) bloco único, b) bloco duplo.

Teste de arrancamento (Pullout)

Os ensaios de arrancamento foram realizados em uma máquina universal de testes 4400R modelo Instron. O bloco único foi posicionado na base da prensa com a garra prendendo o Tab da extremidade da haste e o bloco duplo foi apoiado em dois suportes independentes fixados à base e à mesa móvel da prensa, Fig. 4.

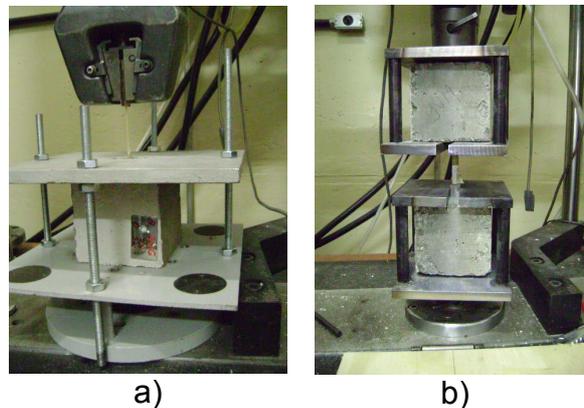


Figura 4. Amostras posicionadas para o teste de arrancamento. a) bloco único;
b) bloco duplo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados semelhantes foram obtidos nos ensaios com blocos únicos e duplos reforçados com hastes de fibra de vidro-AR. Desta forma, a média dos esforços foi calculada com a unificação dos resultados dos dois arranjos de ensaios. A

extremidade livre das hastes foi protegida por segmentos de papelão de alta densidade, de modo a evitar qualquer dano na fibra devido ao aperto das garras do equipamento de ensaio. O valor adotado como limite da resistência de aderência na interface fibra-matriz foi o último valor medido antes no início do escorregamento da haste de fibra ou da barra de aço no interior da matriz de concreto enquanto os elementos de reforço ainda estivessem intactos. A partir do início do escorregamento, há uma redução na resistência de aderência até a separação completa da haste/ matriz. Na Tabela 3 estão comparados os resultados obtidos com reforços de fibra de vidro-AR e com barras de aço.

Tabela 3. Valores de referência para a determinação da tensão de cisalhamento na interface reforço/matriz cimentícia.

Elemento de reforço	Força de arrancamento	Diâmetro do reforço	Comprimento de aderência	Tensão de cisalhamento
	(N)	(mm)	(mm)	(MPa)
Fibra de vidro-AR	11.667,50	6,5	50	11,43
Barra de aço	8.000,00	6,4	50	7,96

CONCLUSÕES

Os resultados da média dos ensaios mostraram que as tensões de cisalhamento das amostras reforçadas com hastes de fibra de vidro-AR em média atingiram um valor de 11,43 MPa, enquanto que o mesmo ensaio com reforço de barras de aço, a tensão de cisalhamento média foi de 7,96 MPa, considerando-se que os diâmetros das hastes eram respectivamente, 6,5 e 6,4 mm. Com base nestes resultados, é possível identificar um aumento significativo de 43% no fibrocimento usando fibra de vidro-AR, quando comparados com as barras de aço utilizadas como reforço em uma matriz cimentícia de 29 MPa de resistência à compressão aos 28 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castro, P. F. Elementos estruturais de concreto armado com barras de fibra de vidro. In: 36° REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, Porto Alegre, 1994. **Anais...**Porto Alegre, v. 1. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/Congresso/congresso36.htm> acesso em: 23 de janeiro de 2012.
2. MATOS B.; COREA J.R. Concrete beams reinforced with GFRP bars: structural response of hyperstatic beams in service and at failure. COMPOSITE STRUCTURES, v.1, i. 3, p. 1200-1210. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822311003989> acesso em: 02 de julho de 2012.
3. CALLISTER Jr, W. D. Ciência e engenharia de materiais ". LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora: Rio de Janeiro-BR, 2002.
4. MARINUCCI, G. Materiais compósitos poliméricos - fundamentos e tecnologia. Artliber Editora: São Paulo-BR, 2011.
5. LEONHARDT, F.; MONNING, E. Construções de concreto: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. Editora Interciência: Rio de Janeiro-BR, 1978.
6. Norma Técnica. NBR nº. 05738. **Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos**. Abril, 1994.

ABSTRACT

In the present work the shear stress in the fiber-cement interface was determined through pullout tests. The specimens were manufactured by using glassfiber – AR (alkali resistant) and concrete of 29 MPa resistant to compression (f_{ck}), and the adopted proportion was 1:2, 24:2,34 for cement type CP-32, medium washed sand and #1 gravel. The measured values were compared to concrete specimens tests with corrugated steel bars of 6,4 mm diameter normally used in civil construction. Preliminary results identified a significant increase of 43% in the average shear stress value in the fiber-cement interface by using glassfiber-AR when compared to steel bar and cement matrix composites.

Key-words: composites, cement matrix, glass-fiber, interface fiber/matrix, pullout test.