

Rafael Rocha Maiarafael.maia01@fatec.sp.gov.br<http://orcid.org/0000-0002-6935-5032>Faculdade de Tecnologia de Itaquera
(FATEC), São Paulo, São Paulo, Brasil.**Douglas Morais**douglas.mporais@fatec.sp.gov.br<http://orcid.org/0000-0001-6427-0331>Faculdade de Tecnologia de Itaquera
(FATEC), São Paulo, São Paulo, Brasil.**Paulo Henrique Ogata**paulo.ogata@fatec.sp.gov.br<http://orcid.org/0000-0002-9219-7140>Faculdade de Tecnologia de Itaquera
(FATEC), São Paulo, São Paulo, Brasil.**Fabio Conte Correia**fabio.correia@fatec.sp.gov.br<http://orcid.org/0000-0002-6971-7881>Faculdade de Tecnologia de Itaquera
(FATEC), São Paulo, São Paulo, Brasil.

Avaliação do efeito da incorporação de fibra de carbono na resistência a compressão de argamassas

RESUMO

A utilização de fibras naturais ou sintéticas tem ao longo dos anos ganhado espaço na produção de argamassas, na composição do concreto ou sendo incorporado como reforço em estruturas de concreto armado. Este trabalho apresenta o efeito da incorporação de fibras de carbono na resistência a compressão das argamassas, para posterior estudo em concretos. Foi utilizado um agregado miúdo classificado com granulometria média, fibras de carbono comerciais com comprimento de 2 cm e cimento Portland CPV ARI. O agregado miúdo e as argamassas foram obtidos e caracterizadas de acordo com as normas ABNT-NBR. Nas argamassas foram realizadas substituições de 0; 0, 1; 2 e 3% p/p de fibra de carbono em relação a massa total de agregado miúdo. Os resultados obtidos mostram que a incorporação de 1% de fibra de carbono proporciona um aumento de 26% na resistência a compressão.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa; Fibra de Carbono; Compósitos.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas observa-se um crescente número de trabalhos na área de argamassa devido sua grande importância na construção civil. Dentre os diversos tipos de argamassa uma das mais estudadas é a argamassa de revestimento de parede, que tem por objetivo revestir a estruturas de alvenaria (KURGER, BREUS, KONOFAL, 2011; CAMPELLO, 2013; DIAS, JOSE, 2012; LADEIRA *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2009; OLIVEIRA, LEANDRO, PEREIRA, 2012; SANTOS, LIRA, RIBEIRO, 2012). Uma estrutura de alvenaria revestida é composta por três etapas: chapisco, emboço e reboco (KURGER, BREUS, KONOFAL, 2011; SANTOS, AMARAL, SOMMERFELD, 2014).

Estudos recentes mostram que a adição de fibras em argamassas de emboço é uma forma eficiente na redução da fragilidade por ruptura dessas argamassas. Entretanto a eficácia só é atingida quando existir sinergia entre as propriedades da argamassa e das fibras, desta forma haverá uma boa absorção de energia durante a solicitação mecânica (CAMPELLO, 2013; GAMA, BITTENCOURT, 2017; GAMELEIRA, HORIZONTE, 2010; GOMES *et al.*, 2009;). Os parâmetros a serem considerados para que uma fibra possa ser utilizada como reforço são segundo Peruzzi (2002): razão de aspecto, densidade linear, comprimento crítico e o módulo de elasticidade. Razão de aspecto pode ser compreendido como a relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra. Este parâmetro é de extrema importância uma vez que ele está relacionado com a ductilidade. Entretanto deve se levar em consideração que o aumento no comprimento da fibra pode levar a perdas na trabalhabilidade da argamassa (PERUZZI, 2002), para melhorar a trabalhabilidade pode-se utilizar aditivos plastificantes ou superplastificantes de modo a compensar a perda de trabalhabilidade. Densidade Linear: este parâmetro pode ser descrito em termos de massa por unidade de comprimento. Cabe aqui ressaltar os diversos tipos de fibras que podem ser utilizadas em argamassas; fibras naturais (sisal, etc.) ou sintéticas (fibras de vidro, fibras de carbono, etc.) onde para cada tipo de material haverá uma densidade linear diferente (PERUZZI, 2002). Comprimento crítico: este parâmetro relaciona o comprimento mínimo para que a tensão resistida pela fibra seja no mínimo igual a sua resistência mecânica. Esse comprimento apresenta influência direta na trabalhabilidade da argamassa, e tem influência direta no comportamento à fratura. Comprimentos inferiores ao comprimento crítico, a ruptura será pelo mecanismo de arrancamento das fibras; para comprimentos superiores haverá a ruptura da fibra antes que seu arrancamento ocorra da matriz de argamassa (PERUZZI, 2002). Módulo de Elasticidade: este parâmetro está relacionado com a composição química do material formador da fibra. Fibras poliméricas (fibra de PP) apresenta um baixo módulo de elasticidade (de 6 a 8 kN/mm²) e alta capacidade de deformação sob tensão, desta forma irá gerar compósitos com pequenos incrementos de resistência, mas com boa tenacidade e resistência ao impacto (PERUZZI, 2002).

Para que haja uma boa interação entre a matriz e a fibra é necessário conhecer alguns parâmetros como: condição da matriz; composição da matriz; geometria da fibra; tipo de fibra; características da superfície da fibra; rigidez da fibra em comparação a da matriz, orientação das fibras; quantidade de fibras adicionadas; velocidade de carregamento e durabilidade das fibras quando inseridas na matriz de argamassa. Em compósitos onde há boa interação entre fibra e a matriz (argamassa) durante a solicitação mecânica, o mecanismo de transferência de tensões elásticas da matriz para as fibras ocorre por cisalhamento. O mecanismo

de cisalhamento na interface matriz-fibra distribui as tensões na interface fibra-matriz desde que apresentem módulos de elasticidade diferentes, contudo a deformação será a mesma para os dois componentes (PERUZZI, 2002 ; CAMPELLO, 2013).

A incorporação de fibras na argamassa apresenta como vantagens: o aumento na resistência mecânica do compósito e um aumento da resistência a fissuração (associado ao fenômeno de fissuras por grampeamento). As fissuras podem ocorrer antes da sollicitação mecânica, uma vez que nas matrizes de argamassa há a presença de microdefeitos como vazios e pequenas fissuras. Durante a sollicitação mecânica há coalescências dessas microfissuras até se encontrar com uma microfissura externa. Com a adição das fibras na matriz de argamassa, as fibras atuam como obstáculo para o fenômeno de coalescência das microfissuras (PERUZZI, 2002). Cabe ressaltar que a introdução de qualquer tipo de fibra irá afetar de forma negativa a trabalhabilidade tanto da argamassa quanto de concretos, onde esse efeito é maior quanto maior for a adição volumétrica de fibra. Logo a perda de trabalhabilidade deverá ser contornada seja pelo aumento da relação água cimento (gera perda de resistência mecânica) seja pela utilização de aditivos plastificantes e superplastificantes. Este trabalho visa avaliar a influência da adição de fibras de carbono em argamassas de emboço.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios realizados seguiram os requisitos exigidos pelas Normas Brasileiras Regulamentadoras: NBR 7215 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019) (Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão); NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015) (Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto); NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018) (Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos); da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a verificação dos resultados foram feitos em conformidade com a disponibilidade dos materiais necessários. Normas para utilização em concreto foram utilizados uma vez que se trata de estudo preliminar para posterior aplicação na obtenção de concretos reforçados.

MATERIAIS

A preparação dos corpos-de-prova de argamassa, seguiram as especificações da NBR 7215:2019; utilizou-se os seguintes materiais: fibra de carbono como aditivo, nas proporções de 1%, 2% e 3% p/p (peso/peso em relação ao cimento); Cimento Portland V ARI – Alta resistência Inicial – Marca Caue; areia natural (nas proporções recomendadas na norma); água; misturador mecânico; e balança com resolução de 0,1 g. A fibra de carbono utilizada neste trabalho foi fornecida por Taxiglass denominada carbontape 32-U-050, contudo poucos dados de propriedades são fornecidos pelo fabricante. As fibras foram cortadas tesoura com tamanho 1 cm, sendo separadas de forma manual para posterior incorporação. A **figura 1** apresenta a fibra de carbono como recebido.

Figura 1 - Fibra de carbono



Fonte: Autor (2019).

MÉTODOS

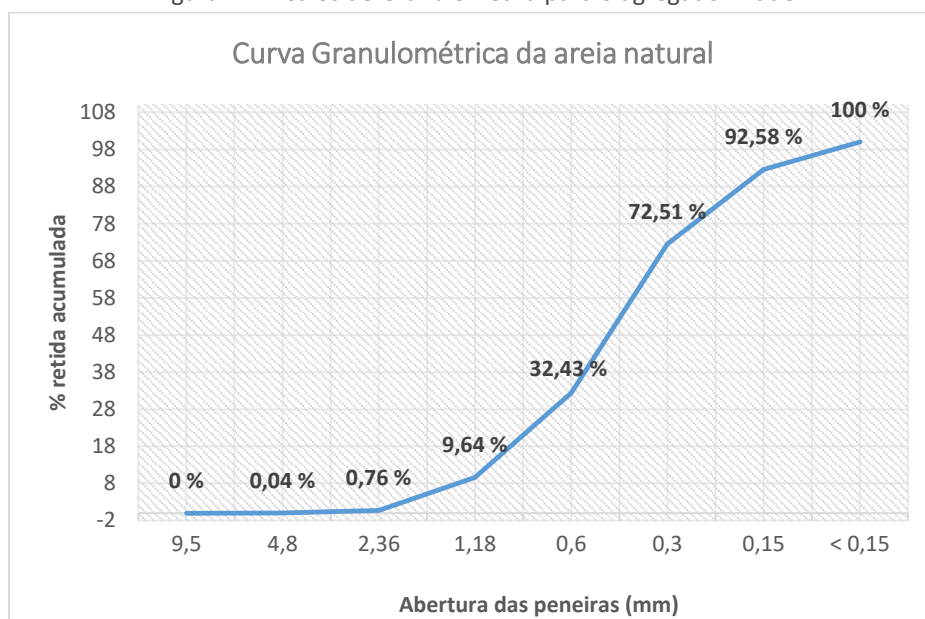
Os testes foram realizados seguindo as atribuições e especificidades da normatização. A preparação da argamassa foi realizada em conformidade com a NBR 7215:2019 e a NBR 5738:2015. Utilizando em ambos o Cimento Portland CPV ARI (Alta Resistência Inicial) e a adição de fibra nas proporções citadas anteriormente. Para a argamassa, os moldes que contiveram os corpos-de-prova foram conservados em atmosfera úmida para cura inicial; em seguida os corpos-de-prova foram desmoldados e submetidos à cura em água saturada de cal até a data de ruptura. Posteriormente, realizou-se os ensaios de compressão no 3º, 7º e 14º dia respectivamente, seguindo as atribuições da NBR 5739:2018.

Os corpos de prova foram moldados em moldes cilíndricos de 5x10 cm. Após a moldagem, as amostras foram colocadas em um recipiente com uma fina lâmina d'água para cura inicial de 24 horas. Após esse período os CPs foram retirados dos moldes e imersos em água saturada de cal até a data do ensaio de compressão. As etapas desenvolvidas basearam-se no Método de Ensaio NBR-7215. Transcorridos os períodos de cura de 3, 7 e 14 dias foram realizados os ensaios de resistência a compressão uni axial utilizando a prensa manual, para cada condição foram preparados cinco corpos de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva característica do ensaio granulométrico do agregado miúdo está apresentada na **figura 2**. Através desse ensaio e tendo como referência a norma ABNT NBR 7211, obtiveram-se os valores de 2,08 para o módulo de finura, classificando assim a areia como fina e a Dimensão Máxima Característica (DMC) de 2,36 mm.

Figura 2 - Ensaios de Granulometria para o agregado miúdo



Fonte: Autor (2019).

A **figura 3** apresenta corpos de prova contendo 1% de fibra de carbono, onde é possível observar que o processo de mistura não foi muito eficaz na da distribuição homogênea da fibra, onde na figura a direita pode-se observar a presença de aglomerados. Para todas as composições foram observados aglomerados sendo em maior quantidade para frações maiores e fibra.

Figura 3 - Corpos de prova de resistência a compressão uniaxial

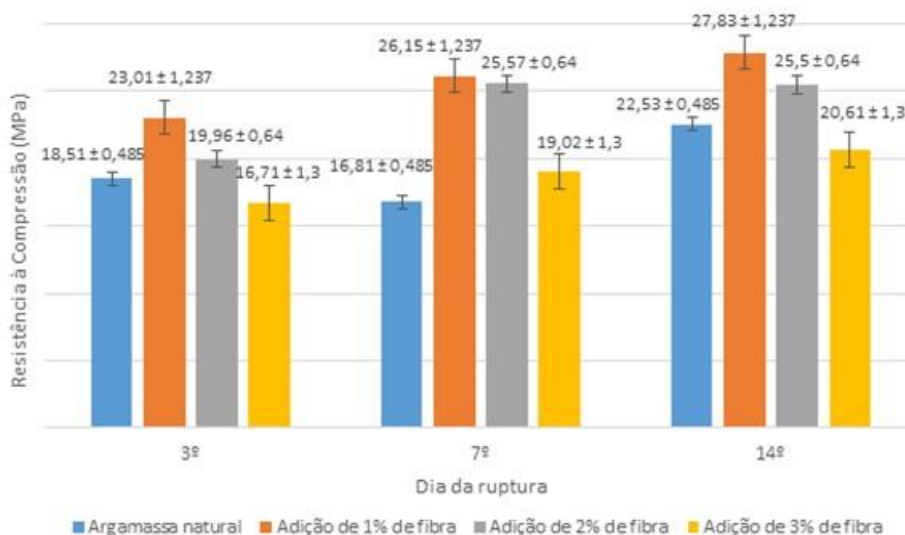


Fonte: Autor (2019).

A **figura 4** apresenta os resultados de compressão axial dos corpos de prova sem (CP) e com adição de 1% (CP1), 2% (CP2) e 3% (CP3) de fibra de carbono, onde é possível observar que o maior aumento na resistência, cerca de 24% de incremento, ocorreu para o CP1, para o CP2 houve também aumento da resistência porem abaixo do CP1 e para CP3 praticamente não houve incremento na resistência a compressão. Ensaios de resistência a formação de trincas não foram realizadas, no entanto a literatura (PERUZZI, 2002 ; CAMPELLO, 2013) indica

que as adições de fibras de carbono na matriz aumentam a resistência a formação de trinca devido ao fenômeno de grampeamento das trincas.

Figura 4 - Resultados do ensaio de compressão



Fonte: Autor (2019).

CONCLUSÃO

Foi verificado aumento na resistência a compressão em relação à argamassa natural até o limite de 2% de adição como o aumento máximo ocorrendo para adições de 1% de fibra de carbono, demonstrando que o aumento na concentração de fibra não gerou proporcionalmente aumento na resistência a compressão das argamassas. Os resultados mostraram ainda que com o aumento na quantidade de fibra leva a uma perda de trabalhabilidade da argamassa, fato esse que pode ter influenciado nos resultados dos CP2 e CP3 e pode ser a explicação para os melhores resultados do CP1 já que pode ter havido uma melhor dispersão das fibras devido a melhor trabalhabilidade e ao fenômeno de grampeamento das trincas.

Evaluation of the Effect of Carbon Fiber Incorporation on Resistance Compression to Mortar

ABSTRACT

The use of natural or synthetic fibers has gained space over the years in the production of mortars, in the composition of concrete or being incorporated as reinforcement in reinforced concrete structures. This work presents the effect of the incorporation of carbon fibers on the compressive strength in the production of mortars. In the production of mortars, a fine aggregate classified with medium granulometry, commercial carbon fibers with a length of 2 cm and Portland cement CII ARI was used. The fine aggregate and mortar were obtained and characterized according to ABNT-NBR standards. Mortars were replaced with 0; 0.5; 1; 1.5 and 2% carbon fiber in relation to the total mass of fine aggregate. The results obtained show that the incorporation of 1% carbon fiber provides a 26% increase in compressive strength.

KEYWORDS: Mortar; Carbono fiber; Composite material.

Evaluación del efecto de la incorporación de fibra de carbono sobre la resistencia a la compresión de mortero

RESUMEN

El uso de fibras naturales o sintéticas ha ganado a lo largo de los años una gran cobertura dentro de la ingeniería civil, ya sea en la producción de mortero, hormigón o como refuerzo de estructuras de concreto armado. Este trabajo presenta el efecto de la incorporación de fibras de carbono sobre la resistencia a la compresión en la producción de morteros. Para la fabricación del mortero, se utilizó agregado fino con tamaño de partícula medio, fibras de carbono comerciales con longitud de 2 cm y cemento Portland CPII ARI. El agregado fino y los morteros fueron obtenidos y caracterizados siguiendo la norma ABNT-NBR. Se realizaron 5 sustituciones de 0, 0.5, 1, 1.5 y 2% de fibra de carbono en relación con la masa total de agregado fino. Los resultados mostraron que la incorporación del 1% de fibra de carbono proporciona un aumento del 26% en la resistencia a la compresión.

PALABRAS CLAVE: Mortero; Fibra de carbono; Compuestos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**: ABNT. NBR 5738, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**: ABNT. NBR 5739, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**: ABNT. NBR 7215, Rio de Janeiro, 2019.

CAMPELLO, E. D. F. **Comportamento Mecânico de Argamassas Reforçadas por Fibras Sintéticas e Metálicas**. [s.l.] Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 168. 2013.

DIAS, P.; JOSE, E. **A influência de pó de brita substituindo areia e cimento na argamassa com vistas à produção de telhas**. Pindorama Revista Eletrônica Científica do IFBA, Eunápolis, Ba, v. 2, 2012.

GAMA, P. V. C. N.; BITTENCOURT, T. N. **Economic viability of ultra high-performance fiber reinforced concrete in prestressed concrete wind towers to support a 5 MW turbine eólicas de concreto protendido para sustentação de**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 10, n. 1, 2017.

GAMELEIRA, N.; HORIZONTE, B. **Compósito cimentício reforçado com fibras de carbono para recuperação de monumentos históricos (Cementitious composites made with steatite residue**. Cerâmica, São Paulo, SP, v. 56, p. 405–410, 2010.

GOMES, C. *et al.* **Comportamento Carga-Deformação de Vigas Reforçadas com Fibras de Carbono**. X Salão de Iniciação Científica PUCRS, Porto Alegre, RS, p. 2954–2957, 2009.

KURGER, P.; BREUS, A.; KONOFAL, W. U. **Estudo da trabalhabilidade em argamassas e concretos com utilização de RCD**. 8 Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, Ponta Grossa, PR, v. 8, 2011.

LADEIRA, L. O. *et al.* **ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND CONTENDO NANOTUBOS DE CARBONO E ADITIVO DE MELAMINA** Resumo Introdução Programa experimental. Construindo, v. 3, p. 21–26, 2011.

LIMA, S. A. *et al.* **Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo.** Revista Tecnológica, ENTECA, p. 87–97, 2009.

OLIVEIRA, M. C. R. DE; LEANDRO, A.; PEREIRA, F. F. A. **Argamassa produzida com resíduo de vidro substituindo o agregado miúdo.** VII CONNEPI, Palmas, TO, 2012.

PERUZZI, A. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento portland modificada com látex e adição de sílica ativa.** [s.l.]Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002.

SANTOS, L.D. dos; AMARAL, F. F.; SOMMERFELD, K. C. **SISTEMA DE REVESTIMENTO COM ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA: um estudo de caso em Belo Horizonte, Minas Gerais.** Pensar Engenharia, Belo Horizonte, MG, v. 2, n.2, 2014.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. M. **Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito.** HOLOS, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, v. 5, p. 125–135, 2012.

Recebido: 26 de outubro de 2020.

Aprovado: 06 de abril de 2021.

DOI:

Como citar: MAIA, R.R. *et al.*, Avaliação do efeito da incorporação de fibra de carbono na resistência a compressão de argamassa, **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 8, n.1, p. 1-10, abril. 2021.

Rafael Rocha Maia: rafael.maia01@fatec.sp.gov.br

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

