

Concreto reforçado com fibra metálica: influência do modo de resfriamento na resistência à compressão após exposição a elevadas temperaturas

Fiber-reinforced concrete: influence of cooling mode on compressive strength after exposure to high temperatures

RESUMO

Tássia Mayara Fochesato
tassiafochesato@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Carlos Eduardo Tino Balestra
carlosbalestra@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

O concreto reforçado com fibra metálica tem se mostrado um grande aliado à engenharia quando se trata de resistências elevadas, porém ainda não há uma norma regulamentadora para este material em situação de incêndio. Logo, o objetivo deste trabalho é avaliar a resistência à compressão de concretos reforçados com fibras metálicas após exposição à elevadas temperaturas variando o modo de resfriamento (brusco e natural). Utilizou-se 8 corpos de prova com traço de 1:1,53:2,12:0,48 (cim.; agreg. miúdo; agreg. graúdo; água) com 1% de fibra. Os corpos de prova foram submetidos a temperatura de 1000 °C por 7 horas e, após o resfriamento, foram ensaiados à compressão axial. Os resultados mostraram que para o resfriamento natural, a resistência média foi de 9,49 MPa e para o brusco, o resultado foi de 8,82 MPa. A resistência de referência, à temperatura ambiente, foi de 57,75 MPa. Assim, o resfriamento brusco afeta de forma mais significativa a resistência em consequência do choque térmico provocado ao retirar os corpos de prova da mufla e imediatamente submetê-los à água corrente.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Fibra. Resistência à compressão. Resfriamento. Fogo.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



ABSTRACT

Fiber-reinforced concrete has proved to be a great ally for engineering when it comes to high strengths, but there is still no regulatory standard for this material in a fire situation. Therefore, the objective of this work is to evaluate the compressive strength of fiber-reinforced concrete after exposure to high temperatures by varying the cooling mode (abrupt and natural). Eight specimens of 1:1.53:2.12:0.48 (cim.; fine aggregate; coarse aggregate; water) with 1% fiber were used. The specimens were subjected to temperature of 1000 °C for 7 hours and, after cooling, were tested for axial compression. The results showed that for natural cooling, the average resistance was 9.49 MPa and for abrupt, the result was 8.82 MPa. The reference resistance at room temperature was 57.75 MPa. Thus, abrupt cooling affects significantly the resistance as a result of the thermal shock caused by removing the specimens from the muffle and immediately subjecting them to running water.

KEYWORDS: Concrete. Fiber. Compressive strength. Cooling. Fire.

INTRODUÇÃO

Em 1974, em São Paulo, ocorreu o incêndio no edifício Joelma. Uma falha na instalação de um ar-condicionado do 12º pavimento do prédio ocasionou um curto circuito dando início ao fogo que deixou 187 mortos e mais de 300 feridos (BATISTA, 2018). Cerca de 44 anos depois deste desastre, outro grande incêndio, seguido de desabamento, também ocorreu em São Paulo. No centro da capital, o edifício Wilton Paes de Almeida, com 11.083m² de área construída e 24 andares, era a morada de cerca de mais de 300 pessoas, em situação irregular, sendo que 7 pessoas morreram e duas foram dadas como desaparecidas (G1, 2018).

Posto isto, justifica-se a necessidade de se aperfeiçoar os materiais utilizados para a construção de edificações visando aumentar a segurança e estabilidade das mesmas em situações de elevadas temperaturas. O principal produto da engenharia civil é o concreto, sendo o material mais consumido no Brasil e no mundo. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013), estima-se que no ano de 2012, 51 milhões de metros cúbicos de concreto tenham sido produzidos nas concreteiras. Neste ponto, apesar de ser amplamente empregado nas construções, ainda não se tem uma norma regulamentadora para concretos reforçados com fibra de aço em situação de incêndio. Em consequência disso, este material tem sido objeto de estudo de inúmeras pesquisas.

Chan, Luo e Sun (2000, p. 248), com o objetivo de estudar as propriedades mecânicas e a estrutura dos poros do concreto de alta performance (resistência entre 50 e 100 MPa) e do concreto de resistência normal após elevadas temperaturas (800 °C), utilizou corpos de prova com dimensões de 100x100x100 mm separados em 4 grupos, sendo o primeiro grupo o concreto normal, variando o tipo de fibra (polimérica ou de aço) no concreto de alta performance (concreto com sílica ativa e cinzas volantes).

Antes da exposição dos corpos de prova a altas temperaturas, a resistência à compressão do concreto de alta performance com adição de fibra de aço foi de 113,5 MPa. Após 1 hora a 800 °C e com o resfriamento feito de forma natural, a resistência foi reduzida para 38,7 MPa, isto é, o percentual de resistência residual foi cerca de 34%. Comparando com o concreto convencional, os resultados foram: 34,9 MPa antes e 15,8 MPa depois de submetidos a 800 °C, logo tem-se 45% de resistência residual. Desse modo, conclui-se que “embora o concreto de alta performance se degenere mais rápido, sua resistência residual é maior que a do concreto convencional” (CHAN; LUO; SUN; 2000, p. 250).

Liang et al. (2018, p. 401) estudaram o comportamento do concreto de ultra alto desempenho (resistência maior que 150 MPa), isto é, o agregado miúdo foi substituído ou por areia de quartzo ou por escória de aço, além de se utilizar sílica ativa e cinzas volantes em todas as misturas. O estudo consistiu em dividir as amostras de acordo com o agregado miúdo e acrescentar a cada grupo fibra de aço (1%) e/ou fibra de polipropileno (2%). As amostras foram expostas a 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C e 1000 °C durante 2 horas e foram resfriadas naturalmente.

De acordo com Liang et al. (2018, p. 407), o concreto com areia de quartzo e fibra de aço teve uma melhora em sua ductilidade além de manter a integridade dos corpos de prova quando submetidos ao ensaio de compressão, em contraste às amostras sem fibras. Além disso, a fibra de aço reduziu a probabilidade e a

intensidade da fragmentação explosiva causada, principalmente, pela pressão de vapor.

Segalin (2018, p. 55), com o intuito de analisar a resistência à compressão do concreto convencional após exposição a elevadas temperaturas variando o modo de resfriamento, produziu 66 corpos de prova com 5 centímetros de diâmetro e 10 centímetros de altura utilizando traço de 1:1,53:2,12:0,48 (cim.; agreg. miúdo; agreg. graúdo; água). O ensaio consistiu em submeter as amostras a elevadas temperaturas (200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C e 1000 °C) por um período de 7 horas. Além disso, foram ensaiados corpos de prova sem exposição a altas temperaturas de modo a obter uma resistência de referência (57,75 MPa). Considerando a temperatura da pior situação, ou seja, 1000 °C, a resistência residual foi de 10,15 MPa para o resfriamento natural e de apenas 8,67 MPa para o resfriamento brusco.

Mediante o exposto, o presente trabalho surge devido à necessidade de se aprimorar os conhecimentos técnicos em torno das propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibra metálica em situação de incêndio, com ênfase na forma com que este é resfriado. O resfriamento lento tem por objetivo simular a situação em que o fogo se extingue naturalmente e, lentamente, a estrutura retorna à temperatura ambiente. Já o resfriamento brusco assemelha-se a situação em que o Corpo de Bombeiros combate ao incêndio utilizando a água diretamente na estrutura.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o ensaio foram utilizados 8 corpos de prova de concreto reforçado com fibra metálica reta com comprimento de 13 mm (Figura 1) cujo traço foi de 1:1,53:2,12:0,48 (cimento Portland CP II F - 32; agregado miúdo com módulo de finura de 1,85; agregado graúdo basáltico com dimensão máxima característica de 9,5 mm; água), sendo a quantidade de fibra correspondente a 1% do volume do corpo de prova. Nenhum aditivo foi utilizado. Os corpos de prova foram moldados em formato cilíndrico com 5 centímetros de diâmetro e 10 centímetros de altura devido à limitação do tamanho da mufla utilizada. Os materiais foram pesados e posteriormente misturados em um recipiente plástico utilizando uma colher de pedreiro de maneira manual. O desmolde foi realizado 24 horas após o preparo das amostras. Para a cura dos mesmos, manteve-se os corpos de prova submersos em um tanque com solução saturada de hidróxido de cálcio à temperatura ambiente de 23 ± 2 °C por um período de 28 dias.

Após a cura, as amostras foram levadas à estufa, por 24 horas, a uma temperatura de 105 °C afim de permitir a evaporação da água presente nos corpos de prova. Transcorrido este tempo, as amostras foram levadas ao Forno Mufla MARQLABOR MARMUF2-RP com 3500 W de potência, dimensões 15x15x30 cm e taxa de aquecimento de 4,62 °C/minuto no Laboratório de Saneamento da UTFPR, Campus Toledo, onde permaneceram por 7 horas, para exposição a temperatura de 1000 °C.

Figura 1 – Fibras de aço retas de 13 mm de comprimento.



Fonte: A autoria própria (2019).

Transcorrido este tempo, a mufla foi desligada para dar início ao processo de resfriamento. Todos os corpos de prova foram retirados da mufla com o auxílio de pinça e os devidos equipamentos de proteção. O primeiro grupo com 4 corpos de prova foi retirado e posto numa bandeja metálica sobre a bancada para o resfriamento natural. Para o resfriamento brusco, os demais 4 corpos de prova foram retirados da mufla e imediatamente submersos por 1 minuto num recipiente com água corrente, de modo a manter a temperatura da água constante. Em seguida, as amostras foram colocadas numa bandeja metálica e também ficaram sobre a bancada.

Com os corpos de prova à temperatura ambiente, foi realizado o ensaio de compressão axial no Laboratório de Engenharia Civil da UNIPAR, Campus Toledo, utilizando a Máquina para Teste Universal WAW-1000D com capacidade de 1000 kN. Por fim, com os resultados em mãos foi possível realizar a análise dos dados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se na Figura 2 as amostras na estufa e na Figura 3 os corpos de prova depois de retirados da mufla e com sua temperatura já em equilíbrio com o ambiente. A partir do ensaio de compressão axial, chegou-se aos valores de resistência para cada grupo de amostras os quais estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, para o resfriamento natural e brusco, respectivamente.

Figura 2 – Corpos de prova na estufa.



Fonte: A autoria própria (2019).

Figura 3 – Corpos de prova resfriados lentamente, à direita, e de forma brusca, à esquerda, após exposição à elevada temperatura.



Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 1 – Resultados obtidos para o resfriamento natural

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Resistência à compressão (MPa)
CP1	19,95	10,16
CP2	17,70	9,01
CP3	18,60	9,47
CP4	18,25	9,29

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 2 – Resultados obtidos para o resfriamento brusco

Corpo de prova	Força máxima (kN)	Resistência à compressão (MPa)
CP1	17,55	8,94
CP2	16,15	8,23
CP3	16,70	8,51
CP4	18,90	9,63

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir desses dados, tem-se que, para o resfriamento lento, a resistência média foi de 9,49 MPa. Já com o resfriamento feito de forma brusca, o resultado foi de 8,82 MPa. Para efeitos de comparação, fazendo uso da resistência de referência (57,75 MPa) obtida por Segalin (2018, p. 78), visto que o traço utilizado foi o mesmo, sendo a única diferença a utilização da fibra de aço, a resistência residual, em termos de percentual, foi de 16,43% para o resfriamento natural e de 15,30% para o resfriamento brusco. Devido a problemas de moldagem, 2 corpos de prova apresentaram “bicheira”, isto é, as amostras continham espaços vazios. Contudo, para o ensaio de compressão, optou-se por considerá-los visto que essas amostras apresentaram, no ensaio de compressão, comportamento semelhante aos outros corpos de prova.

Em vista disso, é possível notar que, devido ao resfriamento brusco ocasionar um choque térmico no concreto em decorrência de submeter as amostras à água corrente imediatamente após serem retiradas da mufla, a resistência à compressão é prejudicada mais significativamente do que em relação ao resfriamento natural pois, neste último caso, o concreto retorna à temperatura ambiente de forma gradativa e a uma taxa de resfriamento lenta.

É importante salientar também que as amostras com a fibra de aço mantiveram sua integridade mesmo com o resfriamento feito de forma brusca, diferente do que ocorreu no concreto sem fibra de aço, onde os corpos de prova

apresentaram intensa microfissuração e aspecto extremamente degradado, como apresentou Segalin (2018, p. 91).

CONCLUSÃO

Posto isto, as principais conclusões deste trabalho são:

- O resfriamento brusco, devido ao choque térmico ocasionado nos corpos de prova, afeta de forma mais expressiva a resistência à compressão do que o resfriamento lento;
- As fibras de aço mantêm a integridade do concreto, ou seja, dificulta a sua degradação, mesmo após ser exposto a elevadas temperaturas e ser resfriado de forma brusca.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a Universidade Paranaense por disponibilizarem a estrutura onde foram realizados os ensaios. Agradecemos também aos técnicos de laboratório Alex, Marcos e Wilson por todo o auxílio prestado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.** São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

BATISTA, Liz. **Joelma e Andraus: fogo e tragédia em SP.** 2018. Disponível em: <<https://acervo.estadao.com.br/noticias/acervo,joelma-e-andraus-fogo-e-tragedia-em-sp,70002290695,0.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

CHAN, Y.n.; LUO, X.; SUN, W.. **Compressive strength and pore structure of high-performance concrete after exposure to high temperature up to 800°C.** Cement And Concrete Research, [s.l.], v. 30, n. 2, p.247-251, fev. 2000. Elsevier BV. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00240-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00240-9)>. Acesso em: 13 ago. 2019.

G1 (São Paulo). **Prédio de 24 andares desabada após incêndio no centro de SP.** 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/incendio-atinge-predio-no-centro-de-sp.ghtml>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

LIANG, X.; WU C.; SU Y.; CHEN Z.; LI Z. **Development of ultra-high performance concrete with high fire resistance.** Construction And Building Materials, [s.l.], v. 179, p.400-412, ago. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.241>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

SEGALIN, Leonardo Zampieri. **Influência do modo de resfriamento na resistência à compressão do concreto após exposição a elevadas temperaturas.** 2018. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2018.