

Comportamento mecânico de compósitos cimentícios com adições de fibra de polipropileno submetidos à altas temperaturas

Mechanical behavior of cement compound with polypropylene fiber at high temperatures

Felipe Augusto Alves Dos Santos¹, Isabella De Sousa Oliveira², Júlia Vitória Leovegildo Assumpção Borges³, Gustavo José Da Costa Gomes⁴

Como citar esse artigo. dos Santos FA A, Oliveira IS, Borges JVLA, Gomes GJC. Comportamento Mecânico de Compósitos Cimentícios com Adições de Fibra de Polipropileno Submetidos à Altas Temperaturas. Rev Teccen. 2022;15(1);44-50.

Resumo

A utilização fibras de polipropileno para concreto vêm crescendo nos últimos anos, fator que leva a um grande aumento no número de estudos e avanços. As fibras são utilizadas para provocar um estado de formação de múltiplas microfissuras, que são contidas quando atravessadas pelas fibras, que desempenham a função de uma ponte de transferência de carga, o que ocasiona um aumento a capacidade de deformação (ductilidade) do concreto, impactando diretamente na capacidade de suportar solicitações de tração. O polipropileno é um polímero termoplástico, ou seja, possui capacidade de se moldar quando submetido a altas temperaturas, indicando uma possível diminuição de sua capacidade resistente quando encontrado em ambientes com altas cargas térmicas. Este trabalho tem como objetivo apresentar o comportamento mecânico de compósitos cimentícios com adições de fibra de polipropileno submetidos à altas temperaturas. Para realizar a análise foram confeccionados corpos de provas prismáticos 10 cm x 10 cm x 35 cm de concreto com adição de fibra polipropileno e submetidos às temperaturas de 50°C, 130°C, 220°C e 300°C e posteriormente a realização do ensaio de flexão de três pontos. Através dos resultados obtidos nos ensaios concluiu-se que a adição de fibra aumentou significativamente a resistência a flexão do concreto. Além disso, o aumento da temperatura a qual os corpos de prova de concreto com fibra foram submetidos, ocasionou um decréscimo da resistência à flexão, de importante relevância e conhecimento desta redução para estimar as perdas de resistência e a capacidade em manter as características necessárias das estruturas, dados que sugerem, por exemplo, a estimativa do tempo de evacuação em situações de incêndio.

Palavras-Chave: Ecompósito cimentício; fibra de polipropileno; altas temperaturas.

Abstract

The use of polypropylene fibers for concrete has been increasing in recent years, a factor that has led to a great increase in the number of studies and advances. The fibers are used to cause a state of formation of multiple microcracks, which are contained when crossed by the fibers, which perform the function of a load transfer bridge, which causes an increase in the deformation capacity (ductility) of the concrete, directly impacting the ability to support traction requests. Polypropylene is a thermoplastic polymer, that is, it has the ability to mold itself when subjected to high temperatures, indicating a possible decrease in its resistant capacity when found in environments with high thermal loads. This work aims to present the mechanical behavior of cementitious composites with polypropylene fiber additions subjected to high temperatures. To carry out the analysis, prismatic specimens 10 cm x 10 cm x 35 cm of concrete were made with the addition of polypropylene fiber and subjected to temperatures of 50°C, 130°C, 220°C and 300°C and then the realization of the three-point bending test. Through the results obtained in the tests it was concluded that the addition of fiber significantly increased the flexural strength of the concrete. In addition, the increase in temperature to which the fiber-concrete specimens were subjected, caused a decrease in bending strength, which is of important relevance and knowledge of this reduction to estimate the strength losses and the ability to maintain the necessary characteristics structures, data that suggest, for example, the estimation of evacuation time in fire situations.

Keywords: cementitious composite; polypropylene fiber; high temperatures.

Afiliação dos autores:

¹Graduado em Sistemas de Informação/Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Vassouras, Vassouras, RJ, Brasil.

²Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Vassouras, Vassouras, RJ, Brasil.

³Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Vassouras, Vassouras, RJ, Brasil

⁴Mestre, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

Email para correspondência: felipeaugusto_bertulino@hotmail.com

Recebido em: 18/11/2021. Aceito em: 13/04/2022.

Introdução

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, segundo Figueiredo (2011) entre as principais vantagens, pode-se listar o baixo custo e a capacidade de se adequar as várias condições de produção, além de possibilitar infinitas variações de forma para as peças moldadas.

Já é de conhecimento que o concreto resiste bem mais ao fogo que o aço, mas esse material tem suas limitações como sua resistência à tração e sua baixa capacidade de deformação antes da ruptura. Para vencer essas limitações são adicionados em sua estrutura fibras ou barras de aço para auxiliar na elevação da ductibilidade e aumentar sua resistência.

A adição de fibra na composição do concreto em quantidade adequada possibilita o aumento de sua resistência. Com isso ocorre a diminuição da concentração de tensões nas extremidades das fissuras, pois as fibras atuam transferindo essas tensões. A sua distribuição aleatória ao longo da massa cimentícia proporciona certa ductibilidade após a fissuração, permitindo que as suas aberturas permaneçam pequenas. Com isso o comportamento frágil do concreto pela sua baixa resistência a tração, passa a ser reforçado com a utilização das fibras, assegurando menor fissuração do concreto, sendo uma adição muito benéfica.

Ainda segundo Castro (2011): As fibras podem ser corretamente distribuídas por toda a matriz do concreto, ao redor das partículas de agregados e ainda nas camadas de contorno dos elementos. Por possuírem um baixo módulo de elasticidade, as fibras de polipropileno não evitam a formação e a propagação de trincas sob altos níveis de tensões. Porém sua utilização em concreto reduz consideravelmente a ocorrência de lascamento no material quando exposto ao fogo, sendo este efeito função da densidade da matriz, da umidade inicial das amostras, do tipo e da quantidade de agregado, da espessura e comprimento das fibras e também da taxa de aquecimento adotada.

Através desse trabalho foram realizados testes de resistência em um concreto com microfibras de polipropileno em sua composição e em um concreto simples, sem fibra, expostos à altas temperaturas, simulando uma situação de incêndio de uma edificação, possibilitando o estudo do seu comportamento.

A temperatura adotada para a realização dos testes se iniciou em 25 °C e foi concluída na temperatura de 300 °C, pois a partir de 400° o concreto começa a sofrer lascamento por explosões, e a medição de sua capacidade de resistência após este limite se tornaria insuficiente.

Revisão bibliográfica

Concreto em situação de incêndio

Em situações de incêndio, são dois os fatores principais que governam o comportamento do concreto: a permeabilidade do concreto e o tipo e agregado utilizado (Mehta e Monteiro, 2008).

Quando o concreto é aquecido, a água presente na pasta evapora-se e quando fica totalmente seco significa que o concreto ultrapassou os 100° C. Durante esse aquecimento, as massas de concreto mais saturadas desenvolvem uma pressão interna de vapor muito mais elevada em relação as massas de concreto mais compactas. Com essa liberação elevada acontecem os “spalling” explosivos, o vapor liberado ultrapassa a capacidade de liberação do vapor nos poros. Isso acontece com muito mais frequência nos concretos de alta resistência por serem menos porosos e mais compacto em relação ao concreto comum.

Os agregados por comporem cerca de 70% do concreto armado, quando expostos a uma temperatura muito elevada sofrem expansões que podem ser indestrutíveis para o concreto.

Fibras para concreto

Existem no mercado fibras que podem ser utilizadas junto ao concreto armado para aumentar sua resistência de trabalho e estudos para aumentar sua resistência à altas temperaturas.

O papel que as fibras desempenham junto ao concreto dependem de uma série de características da mesma. As propriedades mais relevantes são a resistência mecânica e seu módulo de elasticidade, que irão definir a capacidade de esforço que a fibra pode proporcionar ao concreto (Figueiredo, 2005).

Fibras Naturais e Sintéticas

Existem vários tipos de fibras, cada uma com suas características diferenciais e que influenciam diretamente na durabilidade, conforto e local de uso. Elas podem ser naturais, como algodão, linho, lã e seda, ou sintéticas como o poliéster, poliamida, acrílico, elastano e entre outras.

As fibras naturais são aquelas tiradas da natureza. Elas apresentam como vantagens conforto, flexibilidade, exemplo disso, é a palha, bambu, junco, juta, coco e vários tipos de raízes e cipós, como o apuí. Entretanto, apesar da beleza inegável, elas se estragam com muita facilidade em contato com o sol e a umidade, a tendência então é que tenham a vida útil muito curta. Além disso, são sujeitas a praga, precisando de tratamento regular com verniz e outros produtos químicos.

A fibra sintética, ao contrário da fibra natural, traz como qualidade de não desbotar, desmanchar, nem

deforma quando exposta ao sol e a chuva, mal oferecem a mesma sensação ao toque do que naturais. Produzida basicamente de polipropileno ou poliamida, a fibra sintética é sustentável, porque são facilmente recicláveis e não são extraídas da natureza, onde a matéria prima é finita. Outrossim, é o fato da manutenção ser simples. Basta sabão neutro e água corrente para resgatar suas propriedades originais em cor e beleza.

Fibras de polipropileno

A fibra de propileno é um material obtido a partir de multifilamentos oriundos de matérias-primas poliméricas específicas. Ainda não são totalmente conhecidas por grande parte da sociedade comercial e industrial, mas é certo que representa um grande avanço tecnológico que busca aumentar a segurança das estruturas de concreto, resultando em um concreto mais resistente aos impactos e com excelentes propriedades mecânicas.

Existem dois tipos de fibras de propileno, as microfibras que não possuem função estrutural e trabalham a retração plástica no processo das primeiras idades do concreto (cura), e as macrofibras, que são fibras para concreto incorporados como elementos estruturais substituindo a tela metálica eletrosoldada e fibras de aço na construção de pisos industriais, pisos de galpões logísticos e concreto projetado.

Existem diversas aplicações para a fibra de polipropileno no setor da construção civil. São utilizados em pisos industriais, lajes, pré-moldados, pavimentos rodoviários e ferroviários, túneis e obras de todos os portes. O material pode ser aplicado a qualquer empreendimento em que seja necessário aprimorar as propriedades de retração e reduzir a fissuração do concreto.

Materiais e métodos

Para realização desse trabalho foram confeccionadas 14 formas para corpos de prova prismático medindo 10 cm x 10 cm x 35 cm (conforme Figura 1) de acordo como especificado na NBR 5738:2015 Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Os materiais utilizados foram folhas de isopor medindo 50 mm x 50 cm x 100cm, cola para isopor, fita adesiva para reforçar os corpos de prova, estilete, trena e régua.

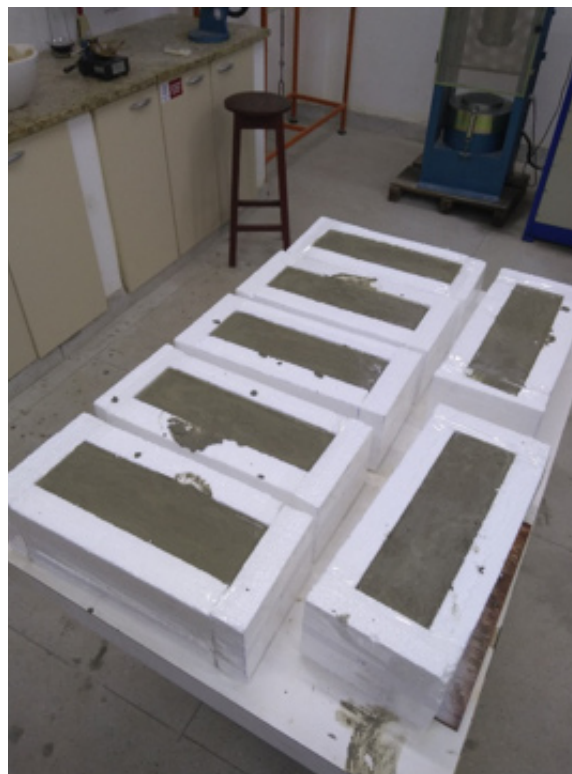


Figura 1. Corpo de prova finalizado.

Fonte: Autores (2021).

A cada teste foram utilizados 2 corpos de prova (Figura 2), um contendo concreto simples e outro contendo concreto com adição da fibra de polipropileno, conforme as especificações da tabela 1. No primeiro teste os corpos de prova foram levados diretamente à prensa para realização do ensaio de flexão à 3 pontos submetidos apenas à temperatura ambiente. Sequentemente, cada par de corpo de prova foi submetido a temperatura de 50°C, 130°C, 220°C e 300°C, em uma mufla, durante o tempo de 60 minutos cada.

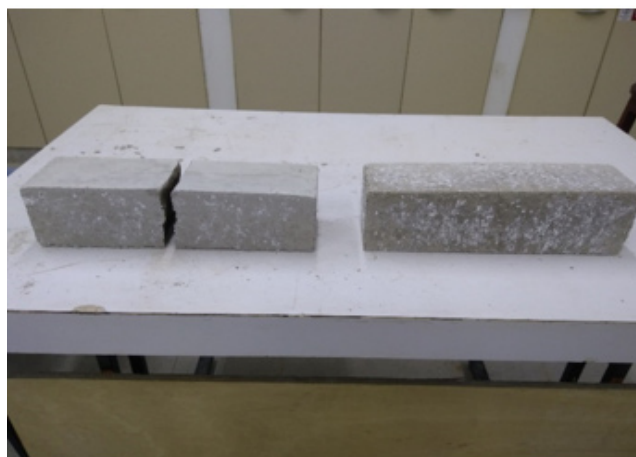


Figura 2. Corpo de prova sem fibra a esquerda e corpo de prova com fibra a direita.

Fonte: Autores (2021).

Para a elaboração das amostras, foram utilizados os traços, conforme a tabela 1 e tabela 2, na proporção de 1:2,17, ou seja, 1 kg de cimento CPIII RS, da marca Votorantim e 2,17 kg de areia de quartzo lavada, peneirada em uma peneira com abertura de 1,18 mm, conforme sugere a Tabela de Traços já elaboradas de Caldas Branco (1974). O fator água cimento estipulado foi de 0,6 sendo que a água utilizada é proveniente da rede de abastecimento de água do município de Vassouras – RJ. O teor de fibra de polipropileno (conforme Figura 6) utilizado foi de 4% em relação à massa de cimento utilizada, sendo que o valor se manteve o mesmo para todos os corpos de prova, a fim de que apenas a temperatura fosse a variável responsável pelas divergências dos resultados.

Tabela 1. Especificação dos corpos de prova.

Corpo de Prova	Traço	teor de fibra	Temperatura máxima de submissão
CP1	1:2,17	40g	Ambiente (25°C)
CP2	1:2,17	sem adição	Ambiente (25°C)
CP3	1:2,17	40g	50°C
CP4	1:2,17	sem adição	50°C
CP5	1:2,17	40g	130°C
CP6	1:2,17	sem adição	130°C
CP7	1:2,17	40g	220°C
CP8	1:2,17	sem adição	220°C
CP9	1:2,17	40g	220°C
CP10	1:2,17	sem adição	220°C
CP11	1:2,17	40g	300°C
CP12	1:2,17	sem adição	300°C
CP13	1:2,17	40g	300°C
CP14	1:2,17	sem adição	300°C

Fonte: Autores (2021).

Tabela 2. Quantitativo de materiais utilizados no traço do concreto.

Materiais	Concreto de 20 mpa	
	Concreto sem fibra	Concreto com fibra
Cimento	1 kg	1 kg
Areia	2,17 kg	2,17 kg
Água	600 mL	600 mL
Fibra de polipropileno	-	40g

Fonte: Autores (2021).

O ensaio de flexão a 3 pontos, seguindo as preconizações da NBR 12142:2010 Concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, foi realizado na prensa hidráulica do Laboratório de Materiais de Construção e Técnicas Construtivas da Universidade de Vassouras (conforme Figura 3), após serem submetidos a altas temperaturas no forno (conforme Figura 4). A carga foi aplicada no centro corpo de prova e os apoios ficaram com uma distância de 30 centímetros (conforme Figura 5).



Figura 3. Prensa hidráulica do laboratório da Universidade de Vassouras.

Fonte: Autores (2021)



Figura 4. Forno do laboratório da Universidade de Vassouras.

Fonte: Autores (2021)

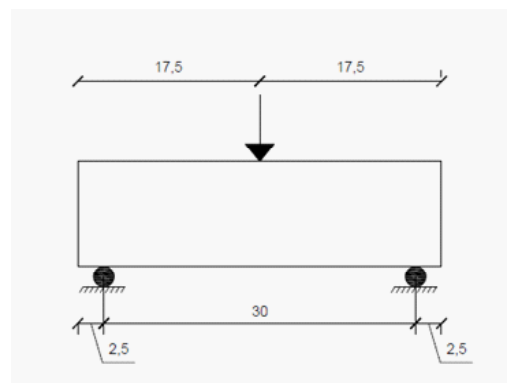


Figura 5. Desenho do corpo de prova no ensaio de três pontos (unidade de medida em centímetros).

Fonte: Autores (2021)



Figura 6. Fibra de Polipropileno.

Fonte: Autores (2021)

Resultados e discussões

É possível observar que o aumento de temperatura diminui a resistência a flexão nos corpos de prova de concreto sem a adição da fibra e nos corpos

de prova de concreto com adição de fibra ocorreu um comportamento não padronizado (conforme Tabela 3, Figuras 7 e Figura 8), uma vez que as fibras se dispersam de maneira aleatória nas misturas, e tal fato dificulta o estreitamento de um desvio padrão.

Mesmo com a diminuição da resistência dos corpos de prova de concreto com adição de fibra, houve um aumento na média do tempo de ruptura quando comparado ao concreto sem adição de fibra, ou seja, mesmo que ocorra o seu rompimento com uma carga menor, o rompimento levou um tempo maior para atingir o estado-limite último (conforme Tabela 3, Figuras 7 e Figura 8), se tornando um concreto com uma capacidade maior de deformação, ou seja, mais dúctil. Com isso podemos afirmar que a adição de fibra de polipropileno no concreto submetido a altas temperaturas, proporciona um tempo maior para evacuação das edificações em situações de incêndio.

Tabela 3. Resultados obtidos através do ensaio de flexão.

Corpo de prova sem fibra				
CP	Temperatura (°C)	Carga de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tempo (seg)
CP2	Ambiente (25°C)	830	2,4	114
CP4	50 °C	800	2,4	102
CP6	130 °C	850	2,5	57,5
CP8	220 °C	700	2,1	72,5
CP10	220 °C	980	2,9	69
CP12	300 °C	790	2,3	72
CP14	300 °C	760	2,2	49
Corpo de prova com fibra				
CP	Temperatura (°C)	Carga de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tempo (seg)
CP1	Ambiente (25°C)	900	2,6	138
CP3	50 °C	1060	3,1	206
CP5	130°C	660	1,9	190
CP7	220 °C	730	2,1	186
CP9	220 °C	870	2,6	108
CP11	300 °C	890	2,6	137
CP13	300 °C	1010	3	186

Fonte: Autores (2021).

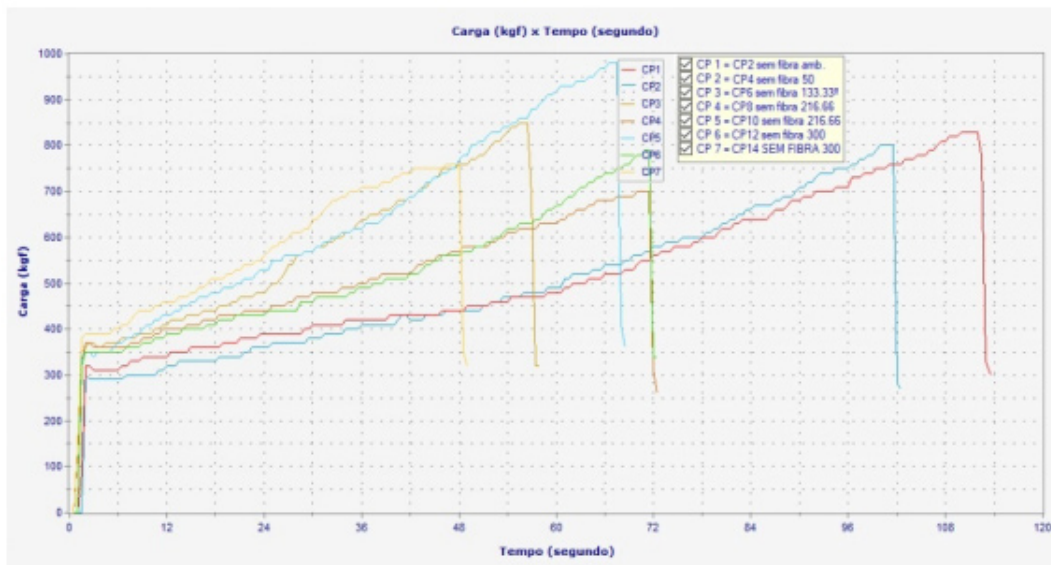


Figura 7. Gráfico Carga (kgf) x Tempo (segundo) dos corpos de prova de concreto sem fibra de polipropileno.

Fonte: Sistema da prensa hidráulica da Universidade de Vassouras (2021).

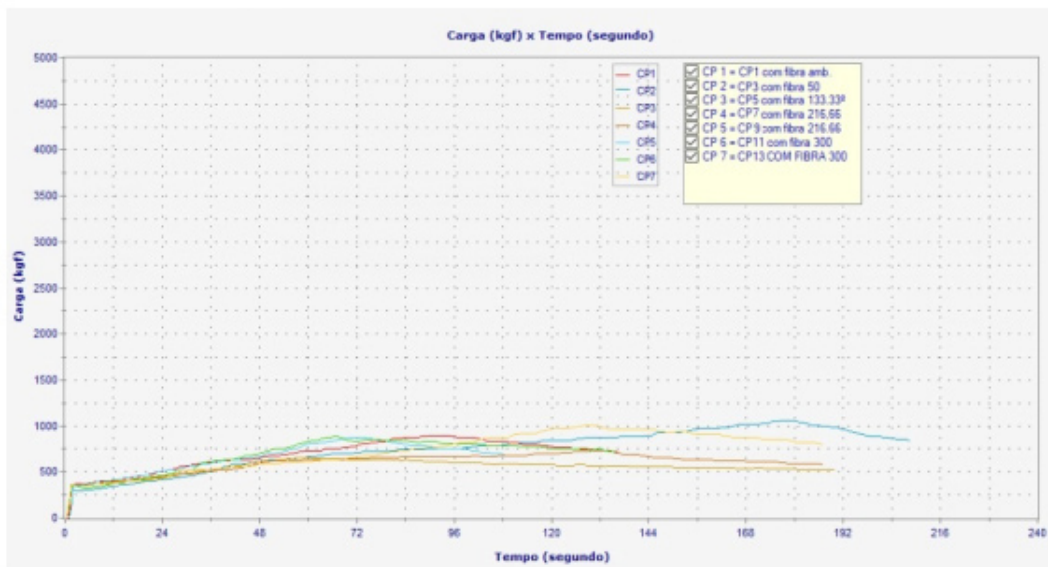


Figura 8. Gráfico Carga (kgf) x Tempo (segundo) dos corpos de prova de concreto com fibra de polipropileno.

Fonte: Sistema da prensa hidráulica da Universidade de Vassouras (2021).

Conclusão

Nos últimos anos diversos trabalhos estão sendo realizados com objetivo de avaliar a adição de diferentes tipos de fibras no concreto, para estudar melhorias em suas propriedades mecânicas.

Baseado nos experimentos descritos no presente artigo, é possível concluir que mesmo que tenha uma diminuição da capacidade, em todas as hipóteses, o concreto com fibra apresentou capacidade superior de resistência à flexão, o que é um indicativo de que a fibra não causa ações deletérias no concreto, quando exposta a alta temperatura e também foi comprovada a diminuição da resistência da fibra com o aumento da temperatura.

Conclui-se que a adição de fibra de polipropileno aumenta a resistência do concreto, apresentando um maior tempo de ruptura, aumentando a sua capacidade de deformação, atingindo primeiramente o seu limite plástico, com aviso prévio através do aparecimento de fissuras. Portanto a sua utilização é bastante vantajosa em edificações que estão sujeitas a situações de incêndio, com grandes fluxos de pessoas, como em hospitais, centros comerciais, grandes construções residenciais multifamiliares, proporcionando um maior tempo de evacuação.

Referências

1. Aitcin, Pierre-Claude. (2000). Concreto de Alto Desempenho. São Paulo.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). NBR 5738: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 6118: Projeto de execução de obras de concreto armado.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). NBR 8522 Concreto: Determinação dos módulos estáticos e elasticidade e de deformações e da curva tensão-deformação.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). NBR 12142 Concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.
7. Bonifácio, Jéssica Spricigo da Rocha.(2014). Estudo do Efeito das Fibras de Vidro e Polipropileno nas Propriedades Mecânicas do Concreto. Santa Catarina.
8. Caldas Branco, A. de A. Tabela de Traços Eng. Caldas Branco, 1974.
9. Castro, A. L., Tiba, P. R. T., & Pandolfelli, V. C. (2011). Fibras de polipropileno e sua influência no comportamento de concretos expostos a altas temperaturas: revisão = Polypropylene fibers and their influence on the behavior of concretes exposed to high temperatures: review. Cerâmica. São Paulo.

10. Costa, C. N., Figueiredo, A. D., & Silva, V. P. (2002). O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica. In: 44º Congresso Brasileiro Concreto. Belo Horizonte.

11. Figueiredo, A. D. D. (2011). Concreto reforçado com fibras (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).