

## ESTUDO DO EFEITO DA FIBRA DE POLIPROPILENO EM CONCRETO EXPOSTO A ALTAS TEMPERATURAS

Felipe Rocha Cimolin (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)felipecimolin@hotmail.com, (2) dss@unesc.net

### RESUMO

Entre as adições utilizadas para melhorar as propriedades do concreto, as fibras tem tido papel de destaque nos últimos anos, sendo objeto de muito estudo e desenvolvimento. As fibras naturais ou sintéticas são empregadas principalmente para minimizar o aparecimento das fissuras originadas pela retração plástica do concreto. O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento do concreto com a adição de fibras de polipropileno exposto a altas temperaturas. Este material foi exposto a um aquecimento de 100°C, 400°C e 800 °C, simulando uma situação de incêndio através da moldagem de corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura (10x20cm), e comparados com uma amostra de referência sem incorporação de fibras. Durante o processo de manuseio e incorporação das fibras ao concreto, as dificuldades de trabalhabilidade também foram abordadas e sintetizadas neste estudo. Em um laboratório, foram obtidos os resultados dos ensaios, sendo eles a perda de massa, resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral. Os resultados foram apresentados em formas de gráficos, com os quais é possível concluir que a adição de fibras juntamente com o aquecimento do concreto tende a reduzir a perda de massa, piorar as propriedades de tração do concreto, reduzindo a resistência à compressão do mesmo, assim como diminui seu módulo de elasticidade, no entanto verifica-se que por mais que seja aquecido o concreto com fibras, não há lascamentos, ao contrario do concreto de referência.

**PALAVRAS CHAVE:** *Concreto. Fibras. Polipropileno. Incêndio. Propriedades mecânicas.*

### 1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material base da construção civil, possuindo uma serie de atributos que garantem o cargo de material mais utilizado no mundo. Segundo Figueiredo (2011, p. 1327) este material possui uma série de limitações, como o comportamento marcadamente frágil e a baixa capacidade de deformação apresentada antes da ruptura quando o material é tracionado.

O fogo nada mais é, que, o desprendimento de calor e luz, produto da combustão de materiais inflamáveis, que frequentemente vem sendo estudado no campo da engenharia, em casos de estruturas em incêndio.

Segundo Silva (2009):

O concreto é formado basicamente por dois componentes principais: argamassa e agregados graúdos. A argamassa é formada pela pasta e agregados miúdos. Assim sendo, o comportamento do concreto ao fogo é influenciado por vários fatores, tais como: composição, permeabilidade, tamanho, taxa de aumento de temperatura, grau de fissuração.

Um dos fatores principais referente a um elemento estrutural de concreto em relação à ação do fogo é a sua capacidade de isolar o calor impedindo que ele atinja a armadura. De acordo com Neville (1995, *apud* AITCIN, 2000) quando exposto a altas temperaturas, a capacidade estrutural do concreto é reduzida, embora não ao ponto de resultar no colapso da estrutura. No entanto, fazendo com que as distintas propriedades térmicas de seus constituintes provoquem a fissuração.

As fissuras são encontradas com frequência nas estruturas devido a elevadas deformações. Sempre que as tensões atuantes no concreto superarem sua resistência à tração, poderá ocorrer a fissuração.

Em uma estrutura de concreto na ocasião de incêndio os fatores que induzem a ocorrência da fissuração são as expansões diferenciadas e consequentes perda de aderência entre o aço e o concreto, tipo de agregado, entre outras.

Outro fator que é causado pelo aumento da temperatura é o efeito *spalling*, que seria o deslocamento (lascamento explosivo) do concreto na estrutura.

O fenômeno físico conhecido com *spalling* pode ser definido como sendo o violento/explosivo (ou não violento/explosivo) deslocamento de camadas ou pedaços de concreto da superfície de um elemento estrutural quando exposto a altas temperaturas e a rápidas taxas de aquecimentos, ambas caracterizadas por um cenário de incêndio. (FIB, 2007 *apud* BRITTEZ E COSTA, 2011, p.1050)

Ainda assim, de acordo com Sullivan (2004, *apud* CASTRO, 2011), existem dois lascamentos: o normal e o explosivo.

O lascamento normal acontece quando a resistência à tração do concreto é alcançada na superfície da amostra durante o aquecimento, promovendo a fissuração e, conseqüentemente, o desprendimento do material. Por outro lado, o lascamento explosivo é uma ruptura frágil e que ocorre repentina e violentamente.

Com isso a integridade e a capacidade de suporte da estrutura de concreto podem ser afetadas, as armaduras de reforço podem estar sujeitas diretamente ao fogo e a estrutura inteira fica comprometida. De acordo com Neville (1997, p. 390) o risco de descascamento explosivo é tanto maior quanto menor a permeabilidade do concreto enquanto maior a velocidade de aumento da temperatura.

Na prática, o que se exige do concreto estrutural é que sua atuação estrutural seja preservada durante um período de tempo estabelecido, conhecido como TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo). Pode se observar que em um incêndio ocorrem elevados gradientes de temperatura e, como resultado, as camadas superficiais quentes tendem a se separar, com descamamento do interior do concreto, mais frio. A fissuração é intensificada nas juntas, nas regiões mal adensadas ou nos planos das barras da armadura: depois de exposta, a armadura passa a conduzir calor acelerando o efeito da temperatura elevada. A água no interior do concreto, com o aquecimento do mesmo, tende a virar vapor, e se não existir capilaridade esse vapor irá gerar tensões podendo ocorrer lascamentos explosivos no concreto.

Para melhorar seu desempenho quanto à ocorrência de lascamentos explosivos, podem-se adicionar fibras de polipropileno, por exemplo, na mistura. Com o aquecimento, estas fibras irão se decompor, gerando assim, espaços vazios dentro do concreto (porosidade) e possibilitando assim que o vapor gerado pelo aumento de temperatura encontre um caminho para escapar para o ambiente, evitando, dessa forma, a ocorrência de lascamentos explosivos (LIMA, 2005).

De acordo com Figueiredo (2011, p.1332):

Quando se adicionam fibras de resistência e módulo adequado ao concreto num teor apropriado, esse material deixa de ter o caráter marcadamente frágil. Isso ocorre pelo fato da fibra servir como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, diminuindo a concentração das mesmas nas extremidades da fissura. Com isso, tem-se uma grande diminuição da velocidade de propagação das fissuras no material que passa a ter um comportamento pseudo-dúctil ou não frágil. Ou seja, o concreto reforçado com fibras apresenta certa capacidade resistente após a sua fissuração descaracterizado o comportamento frágil típico do material quando tracionado. Assim, com a utilização de fibras, será assegurada menor fissuração do concreto.

Ainda, segundo Castro (2011, p.28):

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, espessura e comprimento das fibras e da taxa de aquecimento adotada.

Neste artigo será apresentado um estudo experimental com a adição de fibras no concreto para reduzir o efeito de *spalling* quando os mesmos são submetidos a situações de alta temperatura.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho e também o método adotado para a análise dos resultados.

### 2.1 MATERIAIS

Este artigo tem como objetivo determinar através de ensaios, a resistência do concreto após uma situação de incêndio (resistência residual), utilizando corpos de prova cilíndricos de concreto com e sem fibras de polipropileno inseridas.

Dentre os materiais utilizados, tem-se o agregado graúdo que diâmetro máximo característico de 19 mm e é do tipo diábasio. Os agregados miúdos tem diâmetro máximo de 9,5 mm e módulo de finura 2,40, sendo classificado como média. Tais materiais foram disponibilizados em uma obra em execução na cidade de Criciúma/SC. O cimento usado para as misturas foi o cimento Portland CP IV-32, com densidade de 2,82 g/cm<sup>3</sup> e as fibras de polipropileno 0,90 g/cm<sup>3</sup>, ambos disponibilizados pelo Laboratório Experimental de Estruturas (LEE).

Figura 1 – Materiais utilizados para concretagem



Fonte: Autor, 2015

O  $f_{ck}$  de projeto adotado é de 30 MPa. Para atingir o  $f_{ck}$  especificado, o traço de concreto utilizado para referência foi 1:2,85:3,15 com relação água/cimento de 0,55, tal traço utilizado por Bonifácio (2014), a qual realizou uma análise similar de fibras inseridas no concreto.

O teor de fibras adicionadas ao concreto é de 0,5 % do volume total do mesmo, sendo esta a porcentagem utilizada por Bonifácio (2014). A Tabela 1 a seguir indica a quantidade de materiais utilizada para cada traço.

Tabela 1 – Características das misturas de concreto

Material	Traço 01 (Kg) - Referência	Traço 02 (Kg) - Polipropileno
Cimento	23,20	23,20
Areia	66,13	66,13
Brita	73,09	73,09
Água	12,76	12,76
Aditivo Plastificante	0,1623	0,4552
Fibras	-	0,315
Volume	70 litros	70 litros
Quantidade de CPs cilíndricos (10x20 cm)	40	40

Fonte: Autor, 2015

## 2.2 MÉTODOS

Para tomar a iniciativa da concretagem foi necessário retirar a umidade dos agregados, realizando a secagem do material através de uma estufa de esterilização e secagem, modelo 400 – 9D, com capacidade para 300 °C, disponibilizada para a

utilização pelo Laboratório da Pozolana localizado no Iparque/UNESC, com temperatura constante na faixa de 105°C à 110°C, como determina a ABNT NBR 9939:2011, por um período de 48 horas. Após a retirada dos materiais da estufa, indicadas na Figura 2, os agregados foram pesados com o auxílio de uma balança e armazenados em sacos plásticos, com a quantidade de areia e brita necessária para cada traço de concreto.

Figura 2 – Estufa para secagem dos agregados



Fonte: Autor, 2015

A concretagem foi realizada no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE), em uma betoneira de 400 litros. O processo de concretagem e moldagem dos corpos de prova foram realizados da seguinte forma: primeiro foi concretado o traço 01 correspondente ao de referência e após 3 dias o traço 02, com adição de fibras de polipropileno, ilustrados na Figura 3 abaixo. Para este estudo foram concretados 40 corpos de prova cilíndricos com as dimensões 10x20 cm a partir do traço de referência e 40 corpos de provas também cilíndricos com as dimensões 10x20 cm, no entanto estes com a adição da fibra de polipropileno, conforme os procedimentos de moldagem previsto na ABNT NBR 5738:2003.



Figura 3 – Corpos de prova concretados



a) Corpos de prova traço 01

b) Corpos de prova traço 02 (Polipropileno)

Fonte: Autor, 2015

Para a verificação da consistência do concreto, o mesmo foi submetido nas duas misturas ao *Slump Test*, e teve-se a verificação do abatimento de tronco de cone de 10 cm para o traço 01, enquanto o traço 02 com as fibras, teve um abatimento de apenas 2 cm devido à um “travamento” que as mesmas fazem no concreto, assim indicados na Figura 4.

Figura 4 - *Slump Test*



a) Traço 01 (Referência)

b) Traço 02 (Polipropileno)

Fonte: Autor, 2015

Três dias após a concretagem os corpos de prova sem fibras foram desmoldados e permaneceram em cura submersa por 35 dias. Após a desforma foi realizada a concretagem dos corpos de prova com fibras de polipropileno, e destes, após dois dias foram desmoldados e permaneceram em cura submersa por 32 dias (Figura 5).

Figura 5 – Corpos de prova em processo de cura



Fonte: Autor, 2015

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UNESC. Para avaliar o efeito da adição de fibras de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto, foi primeiramente necessário submeter os corpos de prova ao aquecimento, nas temperaturas determinadas neste estudo, verificar sua perda de massa, e em seguida realizar os ensaios de resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral.

### 2.2.1 Aquecimento dos corpos de prova

Os corpos de prova foram aquecidos a 3 níveis de temperatura: 100 °C, 400 °C e 800 °C a uma taxa de aquecimento de 12,0 °C/min até alcançarem o patamar desejado, em seguida permaneceram expostos por mais 30 minutos. Apesar de Rilem TC129MHT (2000 *apud* SILVA, 2009) recomendar que a taxa de aquecimento para concreto material deve ser de 3 °C/min, neste experimento não foi possível adotar esta taxa devido às condições limitantes do equipamento disponível. Para cada temperatura adotada, a curva de aquecimento foi calculada em função da taxa de aquecimento, conforme se pode observar na Tabela 2.



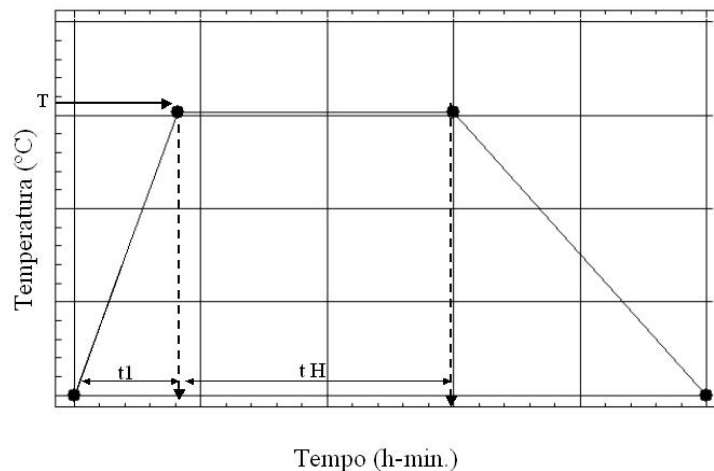
Tabela 2 – Programa de aquecimento

Temperatura (°C)	T (°C)	t1 (h:min)	t H (h.min)
100	108	00:09	00:30
400	408	00:34	00:30
800	804	01:07	00:30
1000	1008	01:24	00:30

Fonte: Autor, 2015

Conforme observa-se na Figura 6, o programa de aquecimento está em função do tempo.

Figura 6 – Curva de aquecimento



Fonte: Silva, 2009

Onde:

T: temperatura que representa o patamar desejado;

t1: tempo necessário para que a temperatura atinja o patamar desejado;

t H: tempo de patamar desejado, ou seja, tempo de exposição do concreto na temperatura desejada;

Após os corpos de prova permanecerem em aquecimento durante o tempo determinado, a mufla foi desligada e permaneceu fechada durante 24 horas para que ocorresse o resfriamento natural dos concretos. Sabe-se que em casos reais de

incêndio, as estruturas de concreto armado são resfriadas com água na maioria das vezes. Contudo, neste trabalho, não foi possível simular esta situação, pois a mufla só poderia ser aberta em temperaturas inferiores a 150 °C para não danificar o seu revestimento cerâmico.

O equipamento utilizado no aquecimento foi um forno mufla CT 095 – pequeno (cód. serv. 19013), com controle digital de temperatura microprocessado, tendo dimensões úteis de 500x470x500 mm e com capacidade de até 1200 °C, conforme ilustra a Figura 7. Para monitorar a temperatura no interior da mufla durante o aquecimento dos corpos de prova, foram utilizados termopares do tipo K.

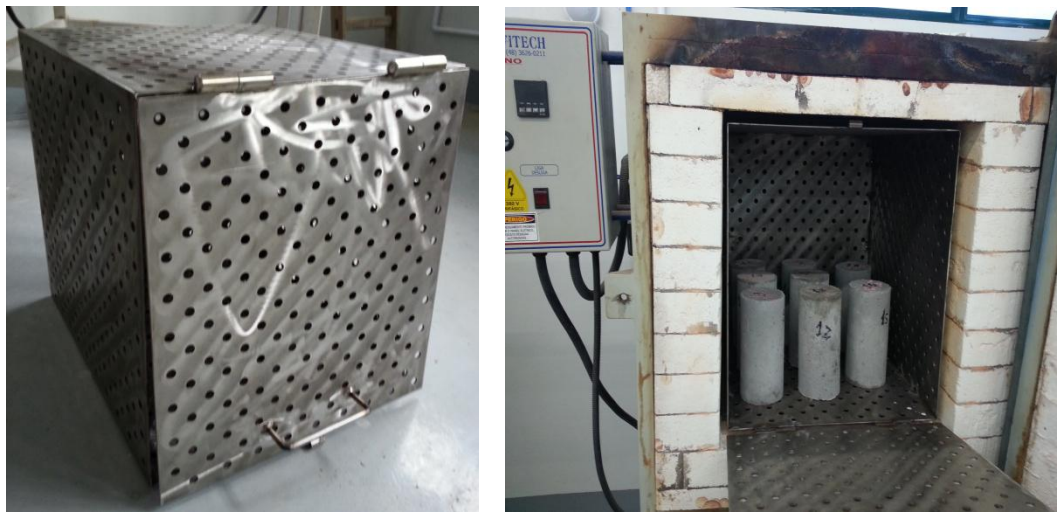
Figura 7 – Mufla utilizada para o aquecimento dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2015

Para evitar que os possíveis lascamentos explosivos danificassem o revestimento cerâmico da mufla, foi confeccionada uma gaiola de proteção em aço inoxidável para que os corpos de prova fossem colocados dentro da mesma durante o aquecimento (Figura 8). Esta proteção foi produzida em tela moeda com aberturas de 12 mm de diâmetro, espaçadas a cada 18 mm. Foi adotada a tela moeda para confecção da proteção da mufla, para que as aberturas da tela garantissem a homogeneização da temperatura no interior da mufla.

Figura 8 – Tela moeda utilizada para proteger a mufla de possíveis lascamentos do concreto



Fonte: Autor, 2015

## 2.2.2 Determinação da perda de massa

A perda de massa dos corpos de prova ocorrida durante o ensaio foi determinada pela diferença entre as massas antes do aquecimento e 24 horas após, empregando-se a equação 1:

$$pm = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100$$

Equação (1)

Onde:

pm é a perda de massa do corpo de prova (%);

m1 = massa do corpo de prova de referência (kg), antes do aquecimento;

m2 = massa do corpo de prova 24 horas após ser exposto à altas temperaturas, em (kg).

A balança usada para a pesagem dos corpos de prova foi da marca Marte, modelo AS 5000, com capacidade de 5000 g.

A Figura 9 ilustra os corpos de prova com fibra de polipropileno e os de referência após sofrerem o aquecimento.

Figura 9 – Corpos de prova após o aquecimento



a) Corpo de prova com fibra



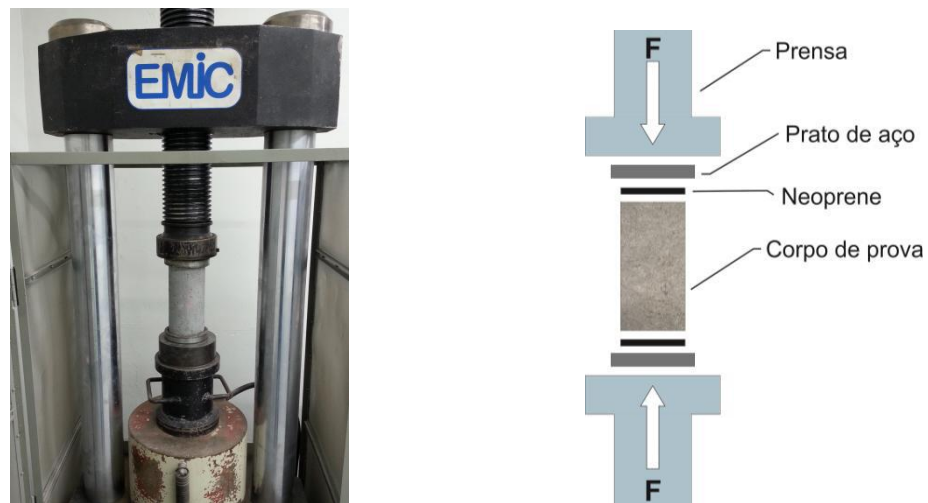
b) Corpo de prova de referência (*spalling*)

Fonte: Autor, 2015

### 2.2.3 Resistência à compressão axial

Para este método, foram ensaiados dois corpos de prova com dimensões padrão, diâmetro 10 cm e altura 20 cm, após receberem o aquecimento em diferentes temperaturas e serem submetidos a uma força axial distribuída de maneira uniforme em toda seção transversal do corpo de prova. Para obtenção da resistência à compressão axial, foram seguidas as orientações da ABNT NBR 5739:2007. Para este ensaio, foram utilizados tais equipamentos: prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200I, com capacidade máxima de 2000 kN (Figura 10.a), juntamente com um computador utilizando o software TESC - Test Script, que fornece recursos para leitura e obtenção de resultados dos ensaios. A carga é aplicada de forma contínua até que haja uma queda na força de carregamento indicada no equipamento, a qual mostra a ruptura do corpo de prova.

Figura 10 – Ensaio de compressão axial



a) Corpo de prova sendo ensaiado

b) Ilustração do ensaio

Fonte: Autor, 2015

Para cálculo da resistência à compressão, a equação 2 foi utilizada:

$$f_c = \frac{F}{A}$$

Equação(2)

Onde:

$f_c$  = resistência à compressão (MPa);

F = carga máxima obtida no ensaio (N);

A = área do corpo de prova (mm)

#### 2.2.4 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade do concreto é, portanto, um dos parâmetros utilizados nos cálculos estruturais, que relaciona a tensão aplicada à deformação instantânea obtida. O método de ensaio é determinado pela ABNT NBR 8522:2003 e para este serão utilizados tais equipamentos: prensa servo-hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS, com capacidade máxima de 2000 kN acoplada a um computador com software TESC - Test Script.



Para determinar o módulo de elasticidade e medir as pequenas deformações nos corpos de prova cilíndricos, é adicionado à prensa um extensômetro eletrônico.

Foram três corpos de prova ensaiados para cada traço de concreto nas diferentes temperaturas informadas no estudo. Primeiramente foi realizada uma marcação no corpo de prova que funciona como linha de auxílio para posicionar o extensômetro, que posteriormente é fixado na amostra por meio de uma fita elástica.

Para dar início a determinação do módulo de elasticidade, foi calculada a média da resistência à compressão do concreto, obtida através dos resultados do ensaio anterior de compressão axial.

Após a centralização do corpo de prova em relação à prensa, foi iniciada a aplicação da carga (Figura 11). O carregamento se dá por meio de ciclos, que consistem em aplicar a carga de maneira crescente até atingir a carga correspondente a 30% da resistência de ruptura do mesmo, que é mantida por 60 segundos, até que a carga seja reduzida com a mesma velocidade com que foi aplicada, e atinja a tensão básica estabelecida em 0,5 MPa, permanecendo nessa condição também por um período de 60 segundos. Esse ciclo de pré-carga é realizado três vezes antes da aplicação final, sendo que no último ciclo é realizada a leitura das deformações sofridas pelo concreto, lidas em um tempo máximo de 30 segundos. A partir desse processo de carregamento de cargas em ciclos, é gerado o relatório de resultados do ensaio dos módulos de elasticidade dos dois traços de concreto estudado.

A ABNT NBR 8522:2003, estabelece que o módulo de elasticidade seja calculado pela equação 3:

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3}$$

Equação (3)

Onde:

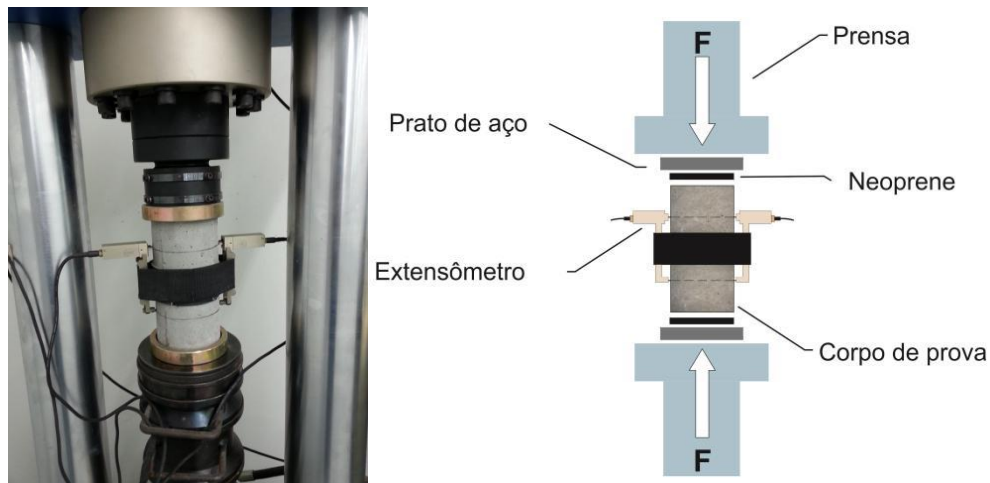
$\sigma_b$  é a tensão maior, em megapascals ( $\sigma_b = 0,3f_c$ );

$\sigma_a$  é a tensão básica, em megapascals ( $\sigma_a = 0,5 \text{ MPa}$ );

$\varepsilon_b$  é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior;

$\varepsilon_a$  é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica.

Figura 11 – Ensaio de módulo de elasticidade



a) Corpo de prova sendo ensaiado

b) Ilustração do ensaio

Fonte: Autor, 2015

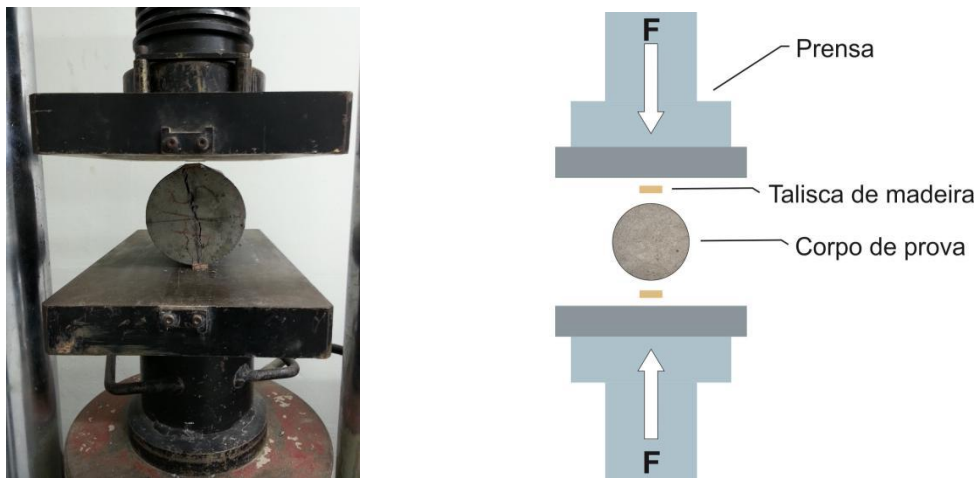
### 2.2.5 Resistência à tração por compressão diametral

Foram utilizados os mesmos equipamentos neste ensaio e no ensaio para resistência a compressão axial, porém foi acoplado à prensa um par de placas metálicas retangulares.

Em seguida, de acordo com a ABNT NBR 7222:2011 foi colocado em posição horizontal o corpo de prova, repousando, segundo uma geratriz, sobre a placa inferior da prensa. Verifica-se visualmente a retilineidade das geratrizes de contato com ambas as placas e utiliza-se como ligação entre elas duas taliscas de madeira.

A partir de então, a carga de compressão é aplicada progressivamente, até haver a ruptura da amostra no plano vertical diametral. Para este ensaio foram utilizados dois corpos de prova para cada traço, rompidos nas diferentes temperaturas informadas no trabalho.

Figura 12 – Ensaio de compressão diametral



a) Corpo de prova sendo ensaiado

b) Ilustração do ensaio

Fonte: Autor, 2015

Para determinar a resistência à tração por compressão diametral, a equação 4 é dada pela ABNT NBR 7222:2011:

$$f_{t,D} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot L}$$

Equação (4)

Sendo:

$f_{t,D}$  = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F = carga máxima obtida no ensaio (N);

d = diâmetro do corpo de prova (mm);

L = largura do corpo de prova (mm)

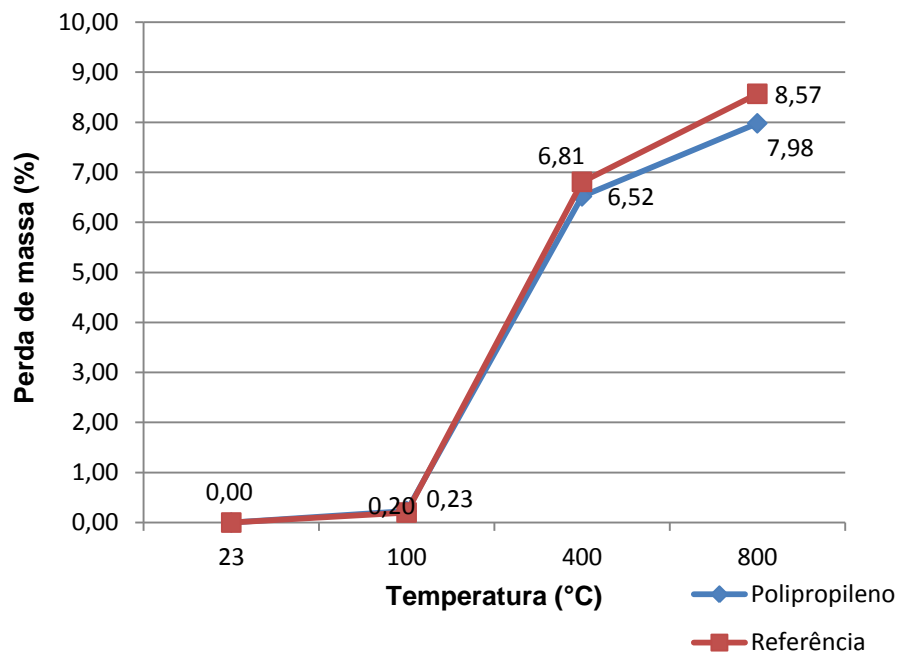
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos após os ensaios mecânicos realizados durante este estudo.

### 3.1 PERDA DE MASSA

A Figura 13 ilustra os resultados da perda de massa obtidos após o ensaio na temperatura ambiente e após o aquecimento às temperaturas de 100°C, 400°C e 800°C.

Figura 13 – Resultados perda de massa



Fonte: Autor, 2015

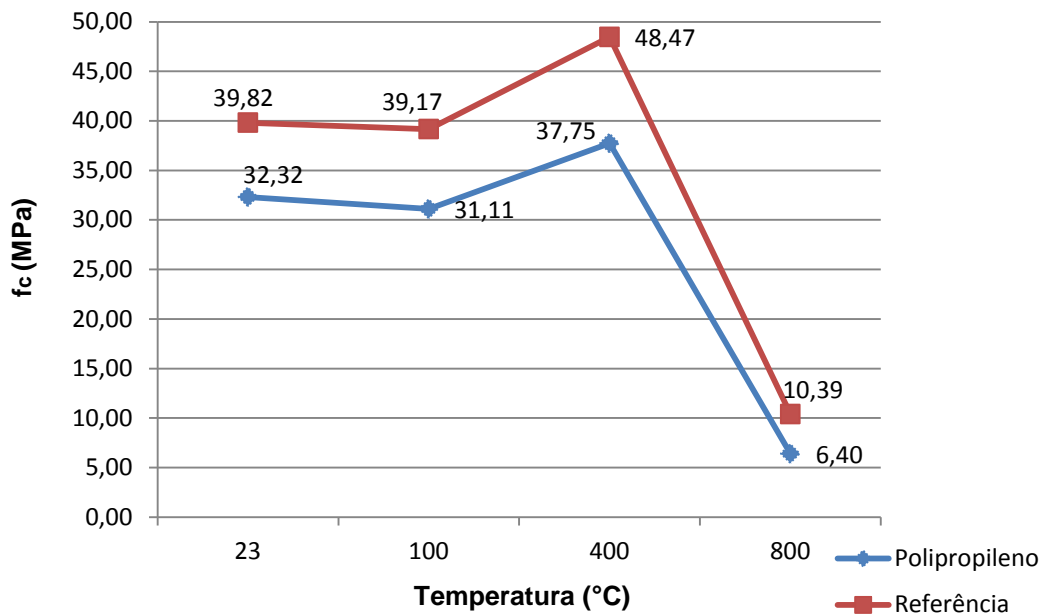
Para a perda de massa, pode-se observar que a 100°C existiu uma diferença de 13,04%, já aos 400°C foi de 4,26% e aos 800°C de 6,88% entre o traço de fibra de polipropileno e o de referência.

Pode-se verificar que a adição de fibras de polipropileno no concreto reduziu a perda de massa para os concretos expostos em temperaturas distintas. Esse efeito pode ser explicado pelo fato das fibras de polipropileno fundir próximo aos 170 °C. Elas têm um efeito expressivo sobre o comportamento hidráulico do concreto sob temperaturas elevadas, ou seja, nesta temperatura inicia-se a formação de uma rede permeável que permite a migração dos gases para o exterior, reduzindo as tensões geradas por ele sobre o material e, conseqüentemente, eliminando a possibilidade de ocorrência do lascamento explosivo nos concretos.

### 3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A Figura 14 ilustra os resultados de resistência à compressão axial obtido após o ensaio na temperatura ambiente e após o aquecimento às temperaturas de 100°C, 400°C e 800°C.

Figura 14 – Resultado de resistência à compressão axial



Fonte: Autor, 2015

Ao analisar a Figura 14, pode-se observar uma queda na resistência com o aumento da temperatura em ambos os traços estudados. Aos 23°C o traço com fibra apresentou uma diferença de 18,83% em relação ao de referência. Aos 100°C essa diferença já aumenta para 20,57% e aos 800°C para 38,40 %, onde sua resistência já se torna praticamente insignificativa. Verificando a diferença entre as resistências nas temperaturas de 100 a 400°C é possível perceber um aumento. Porém diante deste dado não é possível fazer uma análise exata, pois a tendência seria a diminuição da resistência. Uma redução mais acentuada ocorre em temperaturas após 500 °C, conforme Castellote *et al.* (2003 *apud* SILVA, 2009), neste nível de temperatura ocorre a dissociação do C-S-H em CaO e água, visto que a principal função do C-S-H é manter a pasta de cimento unida por meio de ligações químicas e das forças coesivas de Van der Waals, contribuindo satisfatoriamente para a

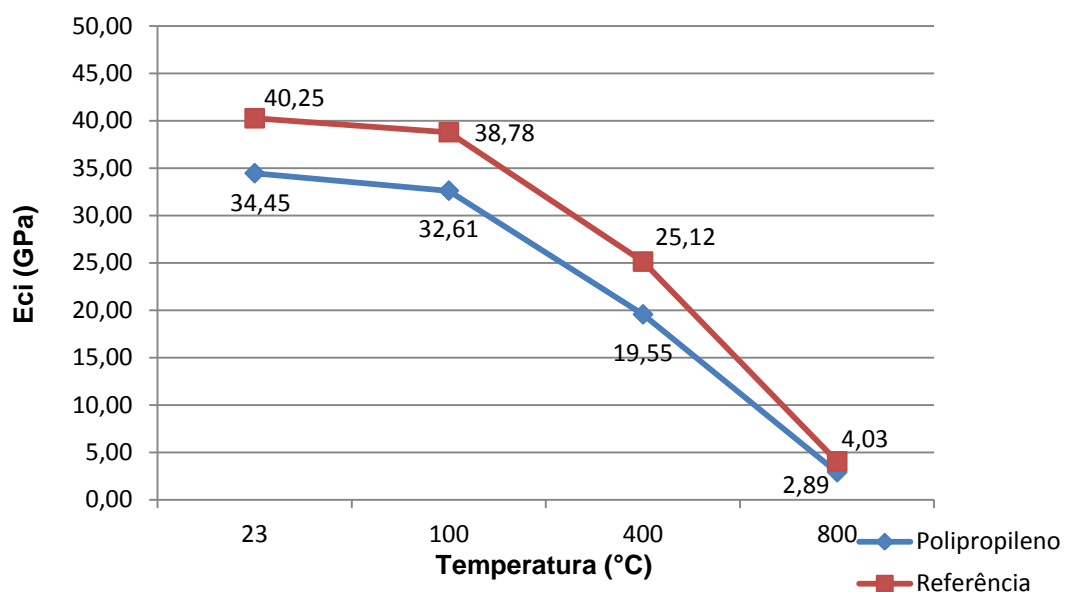


resistência do concreto. O mesmo efeito foi encontrado nos resultados da presente pesquisa.

### 3.3 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

A Figura 15 ilustra os resultados do módulo de elasticidade obtido após o ensaio na temperatura ambiente e após o aquecimento às temperaturas de 100°C, 400°C e 800°C.

Figura 15 – Resultado do módulo de elasticidade



Fonte: Autor, 2015

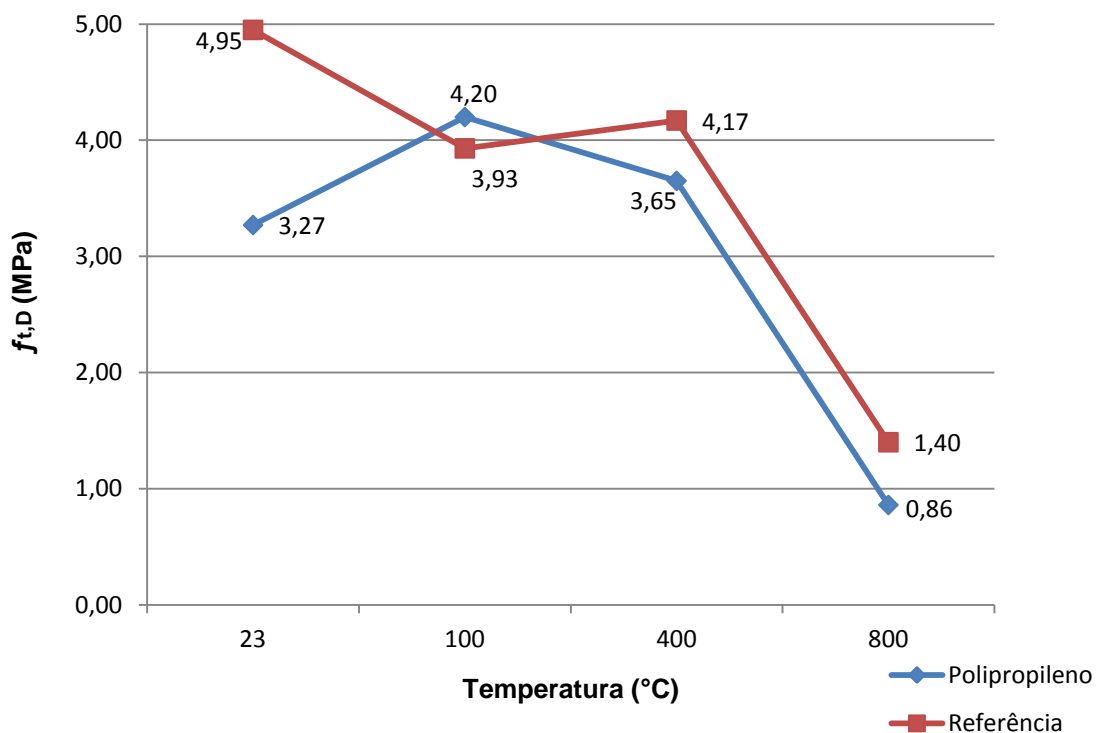
Assim como os resultados do ensaio de compressão axial, à medida que se elevou a temperatura os traços de concreto com adição de fibras também tiveram uma queda nos resultados comparados ao traço de referência, como mostra a Figura 15. Sendo que em 23°C foi de 14,41%, a 100°C foi de 15,91%, a 400°C essa diferença aumenta ainda mais para 22,17% e aos 800°C foi de 28,29%. Este efeito já era esperado, uma vez que o módulo de elasticidade está diretamente ligado à resistência à compressão axial do concreto. Isto também foi observado no programa experimental desenvolvido por Costa e Pignatta (2002 *apud* SILVA, 2009), e pode ser explicado pela existência de microfissuração na zona de transição por exposição ao fogo, que tem grande influência sobre a rigidez ou o módulo de elasticidade do concreto. De acordo com Lima (2005 *apud* SILVA, 2009), esta redução pode originar deformações não previstas para os elementos estruturais submetidos a elevadas

temperaturas. Mesmo que a peça não entre em colapso, isto poderá torná-la inadequada para uso.

### 3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A figura 16 ilustra os resultados da resistência à tração por compressão diametral obtido após o ensaio na temperatura ambiente e após o aquecimento às temperaturas de 100°C, 400°C e 800°C.

Figura 16 – Resultado de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autor, 2015

Ao analisar a Figura 16, é possível verificar a redução na resistência à tração por compressão diametral, assim como ocorreu na compressão. Tal acontecimento está correlacionado pelo fato da tração representar em torno de 10% do valor da compressão. A 100°C houve uma redução de 20,6% na resistência para a amostra de referência e um aumento na resistência de 22,14% para a amostra com fibras. A 400°C não é possível fazer uma análise exata, pois a tendência seria a redução da resistência para ambas as amostras. A 800°C reduz consideravelmente a resistência à tração comparada aos 23°C, para ambos os traços a redução foi superior a 70%.

Tais resultados não coincidem exatamente com os de Bonifácio (2014), o qual apresentou uma melhora nos resultados à tração com a utilização de fibras a temperatura ambiente, no entanto tais diferenças possam ter ocorrido neste estudo pelo fato da temperatura ter influenciado.

As Tabelas 3 e 4 a seguir apresentam os resultados dos ensaios realizados neste artigo.

Tabela 3 – Resultados da perda de massa e resistência à compressão axial

Temperatura (°C)	Perda de massa (%)		Compressão axial (Mpa)	
	Polipropileno	Referência	Polipropileno	Referência
23	0,00	0,00	32,32	39,82
100	0,23	0,20	31,11	39,17
400	6,52	6,81	37,75	48,47
800	7,98	8,57	6,40	10,39

Fonte: Autor, 2015

Tabela 4 – Resultados do módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral

Temperatura (°C)	Módulo de elasticidade (GPa)		Tração por compressão diametral (Mpa)	
	Polipropileno	Referência	Polipropileno	Referência
23	34,45	40,25	3,27	4,95
100	32,61	38,78	4,20	3,93
400	19,55	25,12	3,65	4,17
800	2,89	4,03	0,86	1,40

Fonte: Autor, 2015

#### 4. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi realizado um estudo do efeito da adição de fibras de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto e a exposição dos mesmos a diferentes temperaturas. A partir da análise dos resultados, pode-se observar que:

- As fibras tiveram um resultado positivo quanto à perda de massa. Sua fusão devido ao aquecimento gerou formação de uma rede permeável que permitiu

a migração dos gases para o exterior, reduzindo as tensões geradas por ele sobre o material e, conseqüentemente, eliminando a possibilidade de ocorrência do lascamento explosivo nos concretos (perda de massa).

- As fibras reduziram a resistência à compressão axial do concreto. Pelo fato de terem uma menor trabalhabilidade no momento de moldagem dos corpos de prova de concreto, ocasionado uma possível concentração de ar na mistura ou ainda nichos de concretagens, funcionando como pontos de fragilidade na estrutura, resultando na diminuição da resistência.
- O módulo de elasticidade foi reduzido com a adição de fibras, pois o módulo de elasticidade está diretamente ligado à resistência à compressão axial do concreto.
- A resistência à tração por compressão diametral apresentou resultado positivo com a utilização de fibras apenas na temperatura de 100°C, a qual teve um aumento na resistência de 22,14%, no entanto para as demais temperaturas sua resistência passou a ser inferior em relação ao traço de referência.

## 5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Ajustar a trabalhabilidade do concreto com aditivos, a fim de melhorar e nivelar o mesmo abatimento para todos os traços de concreto;
- Alterar o percentual de adição de fibras no concreto;
- Alterar o tipo de fibra;
- Expor o concreto a outras temperaturas;
- Utilizar corpos de prova de concreto armado.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222: Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522: Concreto: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformações e da curva tensão-deformação.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 9939: Agregado graúdo: Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011.

AITCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto Desempenho.** São Paulo: Pini, 2000. p.590.

BONIFÁCIO, Jéssica Spricigo da Rocha. **Estudo do Efeito das Fibras de Vidro e Polipropileno nas Propriedades Mecânicas do Concreto** (2014) 19p.

BRITEZ, Carlos Amado; COSTA, Carla Neves. Desplacamento do concreto em elevadas temperaturas. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: G.C.Isaia, 2011, v2. p.1050.

CASTRO, A. L. de; TIBA, P. R. T.; PANDOLFELLI, V. C. 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, v. 57, n. 341 , p.22-31, mar. 2011.

FIGUEIREDO, A.D. de. Concreto com fibras. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: G.C.Isaia, 2011, v2. p.1327-1332.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto.** 2.ed. São Paulo: Pini, 1997. p.390

SILVA, Daiane dos Santos da. **Propriedades Mecânicas Residuais Após Incêndio de Concretos Usados na Construção Civil na Grande Florianópolis.** 2009. 102p. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. de Santa Catarina, Florianópolis.