

ESTUDO DO EFEITO DA FIBRA DE POLIPROPILENO NO CONCRETO QUANDO SUBMETIDO À ALTAS TEMPERATURAS

Kelen Cristina Luiz dos Santos da Silva (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)kelencristina91@gmail.com, (2)dss@unesc.net

RESUMO

Nos últimos anos a adição de fibras em concretos com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas tem se destacado, e atualmente vem sendo objeto de muito estudo e desenvolvimento (BONIFÁCIO, 2014). As fibras naturais ou sintéticas são empregadas principalmente para minimizar o aparecimento das fissuras originadas pela retração plástica do concreto (CIMOLIN, 2015). Ainda que as características térmicas de um concreto de alta resistência sejam semelhantes aos de um concreto convencional, este material possui uma maior sensibilidade em altas temperaturas pois a sua porosidade é reduzida, proporcionando a ocorrência do lascamento explosivo na faixa de temperatura entre 100 °C e 400 °C (CASTRO, PANDOLFELLI, 2011). O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de duas classes de concreto com a adição de fibras de polipropileno exposto a altas temperaturas. Estes materiais foram expostos a um aquecimento de 100 °C, 400 °C e 800 °C, simulando uma situação de incêndio. Foram moldados 160 corpos de prova cilíndricos (10x20 cm), separados em duas classes de concreto, C30 (concreto convencional) e C50 (concreto de alta resistência). Os resultados dos ensaios foram obtidos no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IPARQUE, 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 foi 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, resistência à compressão e módulo de elasticidade para concretos convencionais e melhorar para os concretos de alta resistência em temperaturas diversas, 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 estrutural mais utilizado no mundo, possuindo uma série de características que lhe garante este posto. Embora possua uma série de limitações, como o comportamento marcadamente frágil e a baixa capacidade de deformação

apresentada antes da ruptura quando o material é submetido à tração (FIGUEIREDO, 2011).

O concreto tem um comportamento bem favorável quando exposto ao fogo, pois ele não é combustível, e continua tendo um desempenho satisfatório mesmo em um período longo de exposição ao fogo não expelindo gases tóxicos (NEVILLE, 1997).

Em decorrência do aquecimento, as pastas de cimento e agregados sofrem transformações microestruturais influenciando as propriedades macroscópicas dos elementos estruturais, fatores esses que contribuem para os deslocamentos explosivos no concreto (LIMA, 2005).

Embora as características térmicas (calor específico, a propagação, a condutividade térmica e o coeficiente de expansão térmica) entre concretos convencionais e os de alta resistência sejam semelhantes, seus comportamentos à elevadas temperaturas são diferenciadas, pois concretos de alto desempenho, apresentam uma diminuição nos poros, levando a uma perda relativa das propriedades mecânicas e a ocorrência de lascamentos explosivos (QIAN, 2006; POON, LAM, 2004 *apud* CASTRO, PANDOLFELLI, 2011).

O concreto sofre mudanças gradativas na sua coloração quando o mesmo é exposto ao calor. A mudança nas propriedades mecânicas podem estar relacionada a esse fator. Portanto após um incêndio em uma estrutura de concreto, é importante avaliar a coloração da mesma para verificar se há possíveis relações com as reduções de resistência e módulo de elasticidade (SILVA, 2009).

A fibra quando incorporado ao concreto tem o papel importante de evitar os lascamentos explosivos, que acabam deixando as armaduras expostas, acelerando ainda mais o efeito da temperatura elevada. Adicionando fibra de polipropileno na mistura de concreto, e submetendo-as à temperaturas elevadas, elas irão se decompor provocando espaços vazios dentro do concreto (porosidade) assim possibilitando que o vapor gerado pelo acréscimo de temperatura encontre um caminho para fugir para o ambiente, dessa forma evitando o acontecimento de lascamentos explosivos (LIMA, 2005).

Neste artigo será observado quais as consequências do uso de fibras de polipropileno, nos concretos convencionais e de alta resistência quando submetido a altas temperaturas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

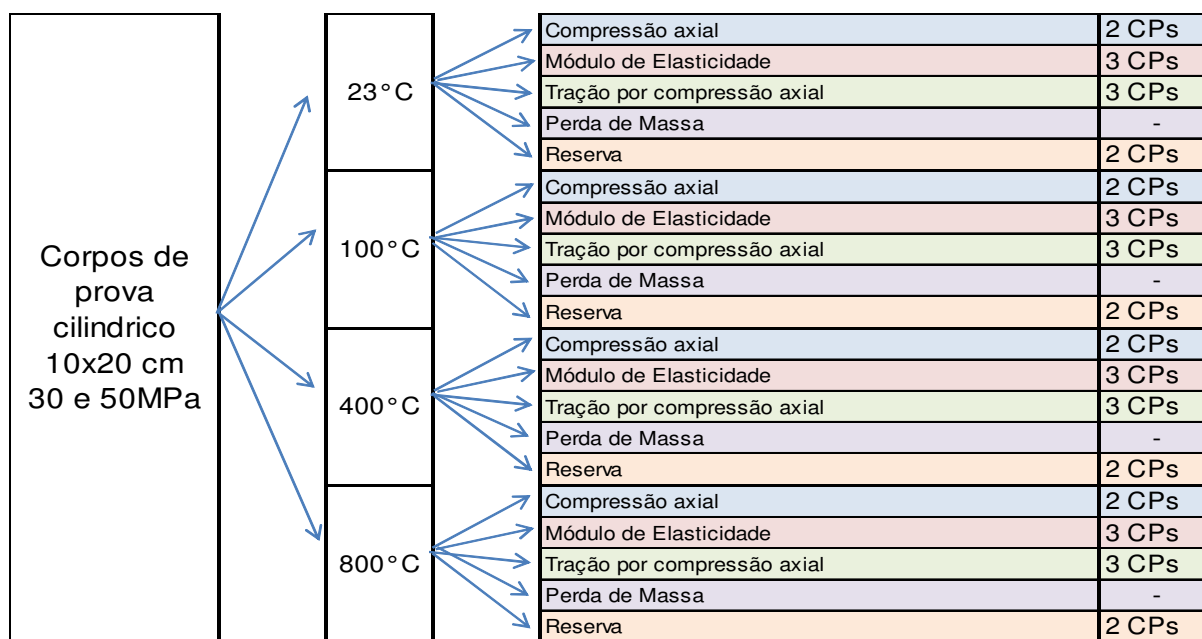
O objetivo principal deste artigo é estudar o efeito de altas temperaturas sobre as propriedades mecânicas do concreto convencional e de alta resistência, com e sem a adição de fibras de polipropileno inseridas no concreto.

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados durante a realização desta pesquisa.

2.1. MATERIAIS

A Figura 1 ilustra a separação dos ensaios e temperaturas desejadas.

Figura 1 - Fluxograma do programa experimental



Fonte: Autora, 2015

As propriedades dos materiais utilizados para a mistura do concreto nessa pesquisa encontra-se na tabela 1, com seus respectivos dados.

Tabela 1 - Materiais usados na mistura de concreto.

Material	Tipo	Dimensão máxima característica (mm)	Densidade (g/cm ³)
Cimento	CP IV-32	-	2,82
Agregado graúdo	Diábasio (Brita)	19	2,83
Agregado miúdo	Média (Areia)	6,3	2,54
Fibra	Polipropileno	-	0,90
Hiper plastificante	TEC-FLOW 8000	-	1,10

Fonte: Autora, 2015

As resistências do concreto à compressão (f_c) adotada para os concretos em estudo foram de 30 e 50 MPa. Utilizando traços de 1:3,4:3,6, com relação água/cimento de 0,59 e 1:1,7:2,3 com relação água/cimento de 0,44 respectivamente.

O teor de fibra adicionado na amostra foi de 0,5% do volume total do concreto, porcentagem utilizados por Bonifácio (2014), exceto para as amostras de referência, que não possui adição de fibra.

A tabela 2 elucida as características dos materiais utilizados para cada traço nesse trabalho.

Tabela 2 - Características das mistura de concreto

Material	Traço 01 - 30 MPa	Traço 02 - 30 MPa	Traço 03 - 50 MPa	Traço 04 - 50 MPa
	Referência (kg)	Polipropileno (kg)	Referência (kg)	Polipropileno (kg)
Cimento	23,23	23,23	34,68	34,68
Areia	78,97	78,97	58,96	58,96
Brita	83,61	83,61	79,77	79,77
Água	13,7	13,7	15,26	15,26
Aditivo Plastificante	-	0,05	-	0,07
Fibra	-	0,32	-	0,34
Volume	86,743 litros	86,743 litros	82,030 litros	82,030 litros
Quantidade de CP's cilíndricos	40	40	40	40

Fonte: Autora, 2015

2.2. MÉTODOS

Para a concretagem, foi necessário retirar a umidade dos agregados utilizados na mistura, a secagem se deu por uma estufa, por um período 48 horas a uma temperatura constante na faixa de 105 à 110° C, conforme determina a ABNT NBR 9939:2011, depois foram armazenados em latões com um fechamento adequado (Figura 2). Após serem retirados dos recipientes, os agregados foram separados e pesados com auxílio de uma balança, com a quantidade prevista nos cálculos de volume, para a obtenção de cada traço.

Figura 2 - Armazenamento e separação dos materiais.



Fonte: Autora, 2015

A preparação dos moldes e concretagem dos corpos de prova foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), para a concretagem foi utilizado uma betoneira de 400 litros. O processo de concretagem obteve-se da seguinte forma: primeiramente a concretagem do traço 01, no dia seguinte foi realizado o traço 02, posteriormente os traços 03 e 04. Nesse estudo foram concretados 40 corpos de prova cilíndricos 10x20 cm para cada traço. Todas as quatro misturas foram submetidos ao *slump test* (Figura 3) para verificação da consistência do concreto no estado fresco. Teve-se a verificação do abatimento de tronco cone de 9 cm para o traço 01, 4 cm para o traço 02, 12 cm para o traço 03 e 7 cm para o traço 04.

Figura 3 - Slump test.



a) Traço 01 - Abatimento 9 cm. b) Traço 02 - Abatimento 4 cm.
c) Traço 03 - Abatimento 12 cm. d) Traço 04 - Abatimento 7 cm.

Fonte: Autora, 2015.

Um dia após a concretagem dos corpos de prova de cada traço, os mesmos foram desmoldados, e estes se mantiveram em cura submersa por 28 dias (Figura 4) antes se serem submetidos a temperaturas elevadas.

Figura 4 - Cura submersa.



Fonte: Autora, 2015

2.2.1 Aquecimento dos corpos de prova

Os corpos de prova com 28 dias de cura foram aquecidos em 3 níveis de temperatura: 100, 400 e 800 °C, a uma taxa de aquecimento de 12 °C/min até atingirem a temperatura desejada, e em seguida permaneceram expostos por 30

minutos. Embora Rilem TC129 MHT (2000 *apud* SILVA, 2009) recomende que a taxa de aquecimento para concreto material seja de 3 °C/min, nesse experimento não foi possível adotar esse método, pelas condições limitantes do equipamento disponível. Para cada temperatura adotada, a curva de aquecimento foi calculada em função da taxa de aquecimento, conforme pode se observar na Tabela 3.

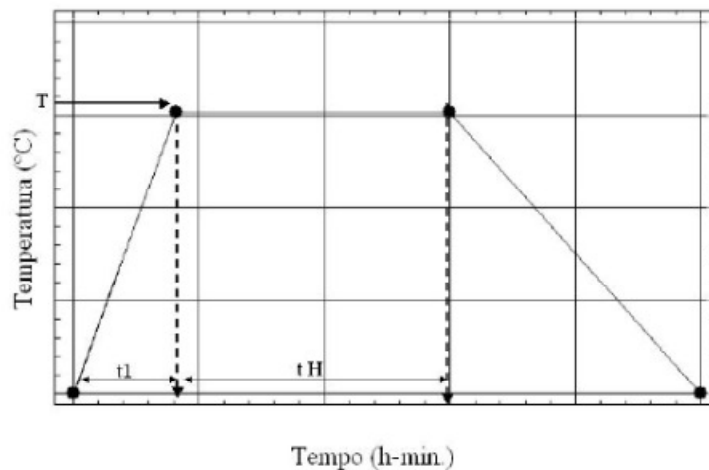
Tabela 3 - Programa de aquecimento.

Temperatura (°C)	T (°C)	t 1 (hr:min)	t H (hr:min)
100	104	00:09	00:30
400	402	00:34	00:30
800	805	01:08	00:30

Fonte: Autora, 2015

Na figura 5, pode se observar que o programa de aquecimento está em função do tempo.

Figura 5 - Curva de aquecimento.



Fonte: Silva, 2009

Onde:

T: temperatura que represente o patamar desejado;

t 1: tempo necessário para que atinja o patamar desejado;

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

Após o aquecimento dos corpos de prova na temperatura desejada, a mufla foi desligada, permanecendo assim por 24 horas para que ocorresse o resfriamento natural.

Em incêndios reais sabe-se que o resfriamento em estruturas de concreto se dá por água na maioria dos casos. No entanto nesse trabalho não foi possível fazer essa simulação pelas condições do equipamento, pois a mufla utilizada só poderia ser aberta com temperaturas abaixo dos 150 °C para que não danificasse seu material 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 mostra a figura 6. Para acompanhar e avaliar a temperatura no interior da mufla durante o aquecimento dos corpos de prova, foi utilizado um termopar.

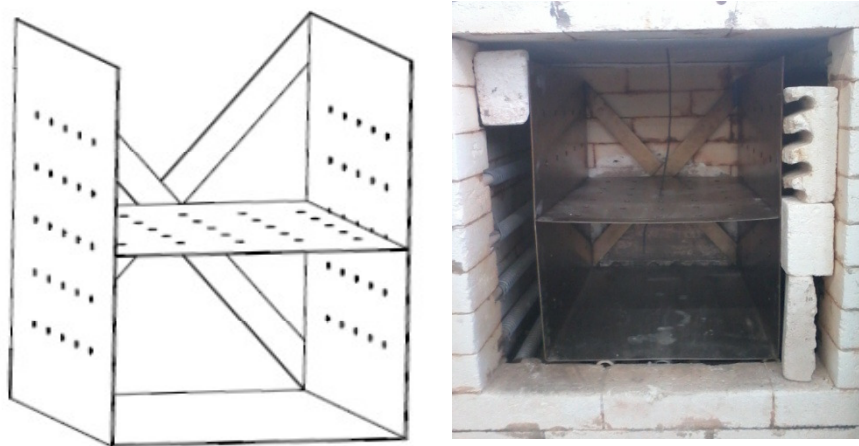
Figura 6 - Mufla utilizada no aquecimento dos corpos de prova.



Fonte: Autora, 2015

Para evitar que possíveis lascamentos danificassem o revestimento cerâmico do equipamento, foi confeccionado uma gaiola de proteção em aço inoxidável para acomodar os corpos de prova durante o aquecimento (figura 7). A proteção foi produzida com 2 mm de espessura, e aberturas com 10 mm de diâmetro, espaçadas a cada 20 mm com as dimensões úteis de 490x460x490 mm. A gaiola foi confeccionada com as aberturas, para que se mantivesse uma homogeneização da temperatura no interior da mufla.

Figura 7 - Gaiola utilizada para proteger a mufla de possíveis lascamentos do concreto.



Fonte: Autora, 2015

2.2.2 Determinação da perda de massa e coloração dos corpos-de-prova

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).

Para a pesagem dos corpos de prova foi utilizada uma balança modelo AS 5000, com capacidade de 5000 g.

As alterações na cor do concreto ocorre devido à presença de componentes ferrosos na mistura e pode ser utilizada como um parâmetro que indica a máxima temperatura atingida e a duração do fogo (NEVILLE, 1997; LIMA, 2005).

Estas informações por sua vez, são importantes para se determinar as possíveis perdas de componentes químicos que são responsáveis pelas propriedades mecânicas dos concretos em estudo (SILVA, 2009).

Na Figura 8 pode-se verificar os corpos-de-prova após terem sido aquecidos.

Figura 8 - Corpos de prova após aquecimento.



a) Corpos de prova



b) Mudança de coloração nos concretos após aquecimento



c) Corpo de prova sem fibra (*spalling*)

Fonte: Autora, 2015

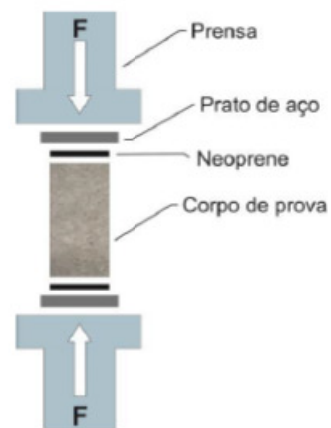
2.2.3 Resistência à compressão axial

Nesse ensaio, foram utilizados 32 corpos de prova com dimensões padrão, diâmetro 10 cm e altura 20 cm. Após o aquecimento, foram separados oito corpos de prova de cada traço, onde desses oito, dois eram para as temperaturas de 23 °C, 100 °C, 400 °C e 800 °C . Os corpos de prova foram submetidos a uma força axial distribuída de maneira uniforme em toda a 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 os seguintes equipamentos: prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC2001, 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 9 - Ensaio Compressão axial.



a) Ensaio de compressão do corpo de prova

b) Ilustração do ensaio

Fonte: Autora, 2015

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

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

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

Nesse ensaio, foram utilizados 48 corpos de prova com dimensões padrão, diâmetro 10 cm e altura 20 cm. Após o aquecimento, foram separados doze corpos de prova

de cada traço, onde desses doze, três eram para as temperaturas de 23 °C, 100 °C, 400 °C e 800 °C .

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

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 10). 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 8522:2008, 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:

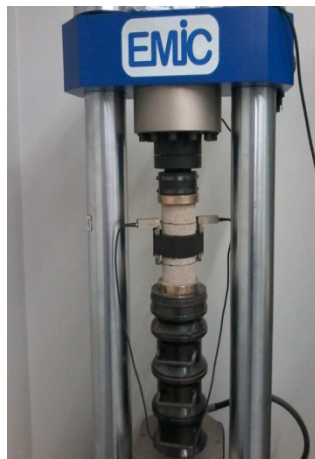
σ_b é a tensão maior, em megapascals ($b=0,3f_c$);

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

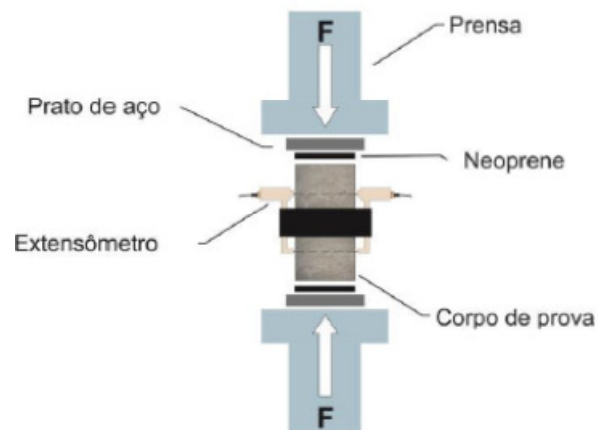
ε_b é a deformação específica média dos corpos de prova ensaiadas sob a tensão maior;

ϵ_a é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiadas sob a tensão básica.

Figura 10 - Ensaio do módulo de elasticidade.



a) Ensaio do módulo de elasticidade no corpo de prova



b) Ilustração do ensaio

2.2.5 Resistência à tração por compressão diametral

Nesse ensaio, foram utilizados 48 corpos de prova com dimensões padrão, diâmetro 10 cm e altura 20 cm. Após o aquecimento, foram separados doze corpos de prova de cada traço, onde desses doze, três eram para as temperaturas de 23 °C, 100 °C, 400 °C e 800 °C .

Esse equipamento foi o mesmo utilizado no ensaio de compressão axial, porém foi acoplado uma 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.

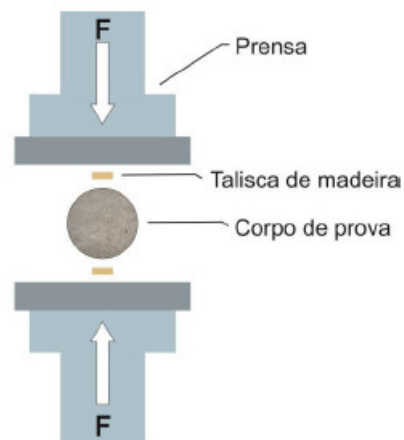
Então a carga de compressão é aplicada progressivamente, até haver a ruptura da amostra no plano vertical diametral.

Figura 11 - Ensaio de tração por compressão diametral.



a) Ensaio tração por compressão diametral no corpo de prova

Fonte: Autora, 2015



b) Ilustração do ensaio

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

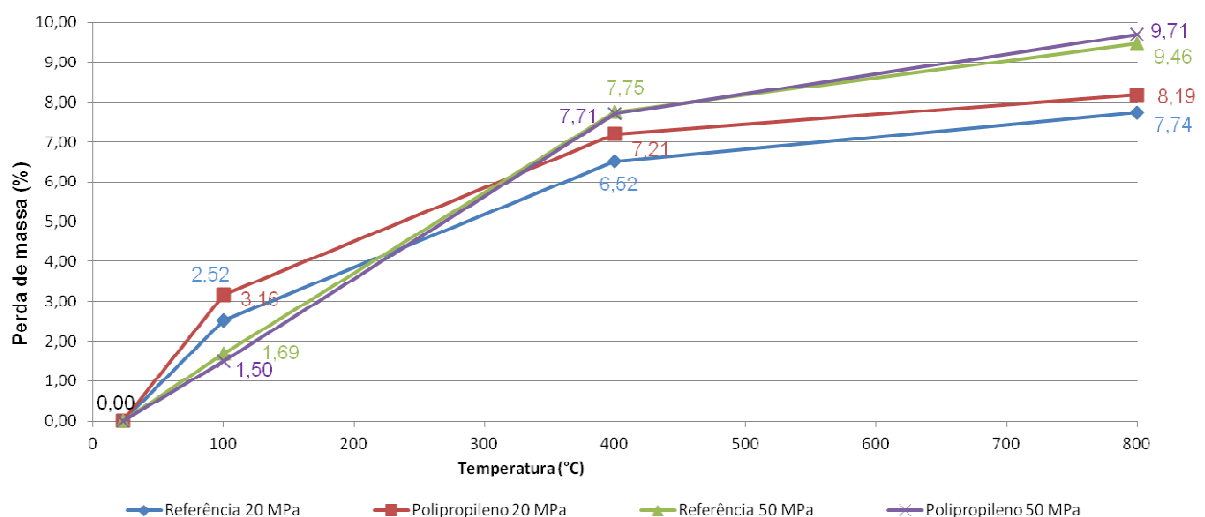
Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na presente pesquisa, analisando inicialmente os 4 níveis de temperatura de aquecimento sendo eles 23, 100, 400 e 800 °C, e a sua influência nas propriedades físico-mecânica do

concreto, tais como perda de massa, resistência à compressão axial e módulo de elasticidade e em seguida foram realizadas correlações desses parâmetros com a temperatura dos ensaios.

3.1 PERDA DE MASSA

A Figura 12 ilustra os valores das massas dos corpos-de-prova na temperatura ambiente e aquecidos às temperaturas de 100, 400 e 800 °C. As massas iniciais foram obtidas à temperatura ambiente (23 °C), antes de levar os corpos-de-prova ao aquecimento, enquanto a massa final foi obtida após o resfriamento.

Figura 12 - Resultados perda de massa.



Fonte: Autora, 2015

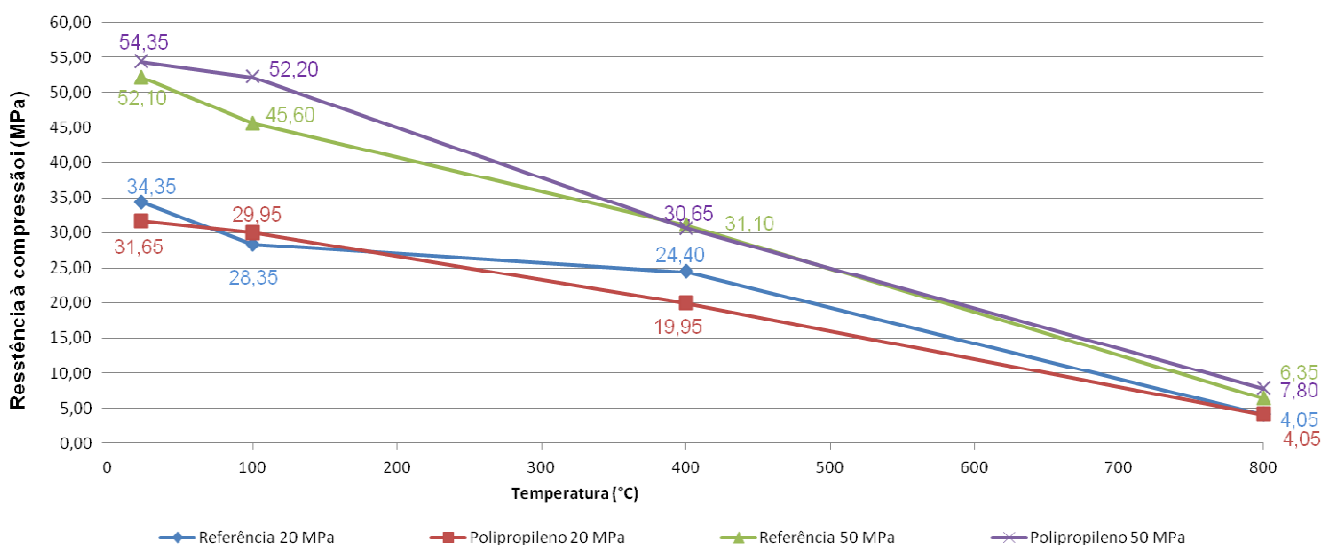
É notável que a perda de massa aumenta progressivamente com o aumento da temperatura, influenciando significativamente na redução das massas dos corpos-de-prova. A perda de massa está relacionada a evaporação de água. Há uma diferença na perda de massa nos níveis de temperaturas, até 100 °C a taxa de evaporação da água é maior em relação às temperaturas de 400 a 800 °C, isso se dá porque no primeiro estágio (até 200 °C) de exposição dos corpos de prova, a perda de massa está atribuída à evaporação da água dos capilares, já no segundo

estágio quando as temperaturas variam entre 200 e 400 °C, a perda de massa é promovida principalmente pela evaporação da água do gel de C-S-H, a taxa de evaporação encontra-se reduzida porque a saída de água dos poros intermediários é difícil. No terceiro estágio (acima de 400 °C), a perda de massa é causada principalmente pela decomposição da pasta de cimento e dos agregados (ZHANG, BICANIC 2002 *apud* CASTRO, PANDOLFELLI, 2011).

3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A figura 13 apresenta os valores de resistência à compressão axial obtido após o ensaio na temperatura ambiente e após o aquecimento às temperaturas 100, 400 e 800 °C.

Figura 13 - Resultado de resistência à compressão axial.



Fonte: Autora, 2015

Ao analisar a figura 13, pode-se observar que a resistência à compressão de todos os traços reduz à medida que a temperatura aumenta.

Fazendo uma comparação entre os dois tipos de concreto (convencional e de alta resistência) pode-se concluir que a adição de fibra de polipropileno nos concretos, modificou a resistência a compressão axial em temperaturas distintas. Aos 23 °C houve uma diminuição de 7,86%, e um aumento de 4,32% em relação a resistência

inicial (concreto sem fibra) para o concreto convencional e de alta resistência respectivamente. Para a temperatura de 100 °C houve um aumento de 5,64% (convencional) e 14,47% (alta resistência) para ambos tipos de concreto. Já aos 400 °C, pode observar-se uma diminuição de 18,24% e 1,45% também para ambos os concretos, já que a evaporação total da água capilar ocorre dentre 200 °C e 300 °C, e o processo de desidratação do gel C-S-H termina próximo aos 400 °C (LIMA *et al.*, 2004). Para a temperatura de 800 °C não houve diferenças significantes para ambos os concretos. Esse acontecimento pode estar relacionado com a perda da água de ligação, com o aumento da porosidade e, logo, com o aumento da permeabilidade, deixando o concreto cada vez mais susceptível à destruição (CASTRO, PANDOLFELLI, 2011).

O efeito sobre a perda de resistência dos concretos às altas temperatura, podem ser divididos em três faixas, isto é, entre 20 °C e 400 °C, entre 400 °C e 800 °C e acima de 800 °C. Na primeira faixa, o concreto de alta resistência sofre uma maior perda de resistência do que concreto convencional. Na segunda faixa ambos perdem a maior parte de sua resistência original, especialmente acima de 600 °C, isso porque essa é a faixa de temperatura que ocorre a indesejável desidratação do gel de C-S-H da pasta de cimento. Já na terceira faixa (acima de 800 °C) apenas cerca de 30% aproximadamente da resistência ainda é mantida para ambos os concretos (CHAN *et al.* 1999, *apud* CASTRO, PANDOLFELLI, 2011).

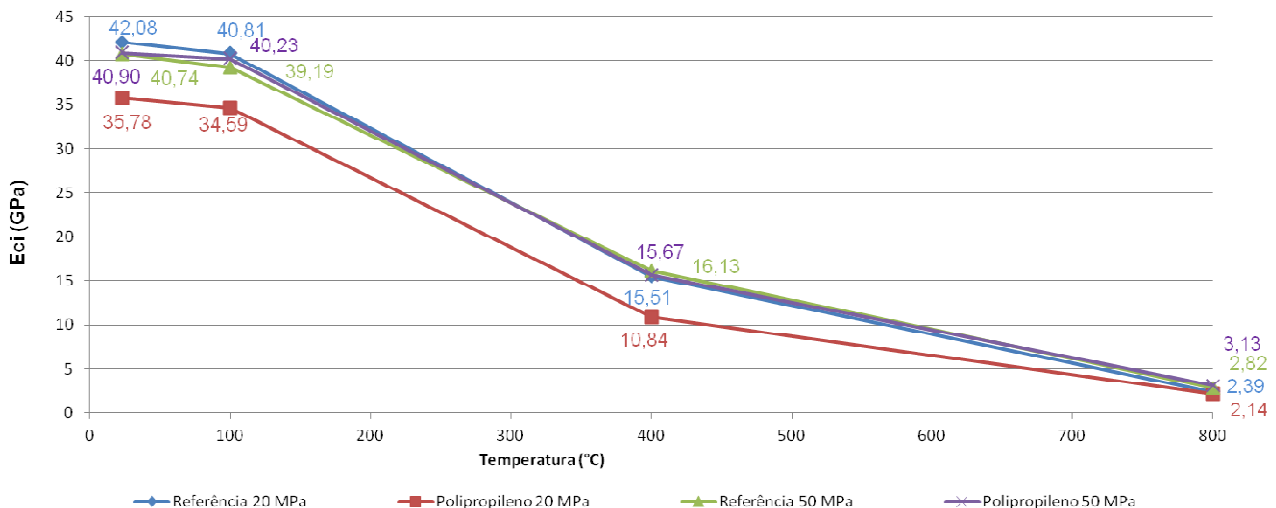
Na presente pesquisa, foi obtido os seguintes resultados, na primeira faixa os concretos convencionais perderam cerca de 32,97% da resistência original, já os concretos de alta resistência perderam cerca de 41,96%. Na segunda faixa ambos concretos perderam aproximadamente 87% de suas resistência, mantendo apenas 13% da resistência original. Esses resultados condiz com as literaturas analisadas.

3.3 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Muitas vezes o comportamento das estrutura depende do módulo de elasticidade do concreto, esse módulo por sua vez é fortemente influenciado pela temperatura (NEVILLE, 1997).

Na Figura 14 pode-se ver 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 14 - Resultado do Módulo de Elasticidade.



Fonte: Autora, 2015

Assim como no ensaio de compressão axial, também houve um decréscimo em todos os traços do módulo de elasticidade enquanto a temperatura aumentava. Na faixa de temperatura entre 23 °C e 100 °C não há uma perda significativa no módulo, houve uma diminuição aproximadamente de 3% do valor inicial para todos os traços, no entanto aos 400 °C, sua redução já foi de aproximadamente 64%, e aos 800 °C essa diminuição foi de 94%.

Resultados baseados nas referências (NASSER, CHAKRABORTY, 1983; NASSER, NEVILLE, 1965 *apud* NEVILLE, 1997) não há diferença no módulo no intervalo entre 21 °C e 96 °C, mais o módulo de elasticidade diminui a temperaturas acima de 121 °C, no entanto, (JUMPPANEM, 1989; MARECHAL, 1972 *apud* NEVILLE, 1997) quando a água pode ser expelida do concreto, se observa um decréscimo progressivo do módulo entre cerca de 50 °C e 800 °C, a relaxação da aderência pode um dos fatores.

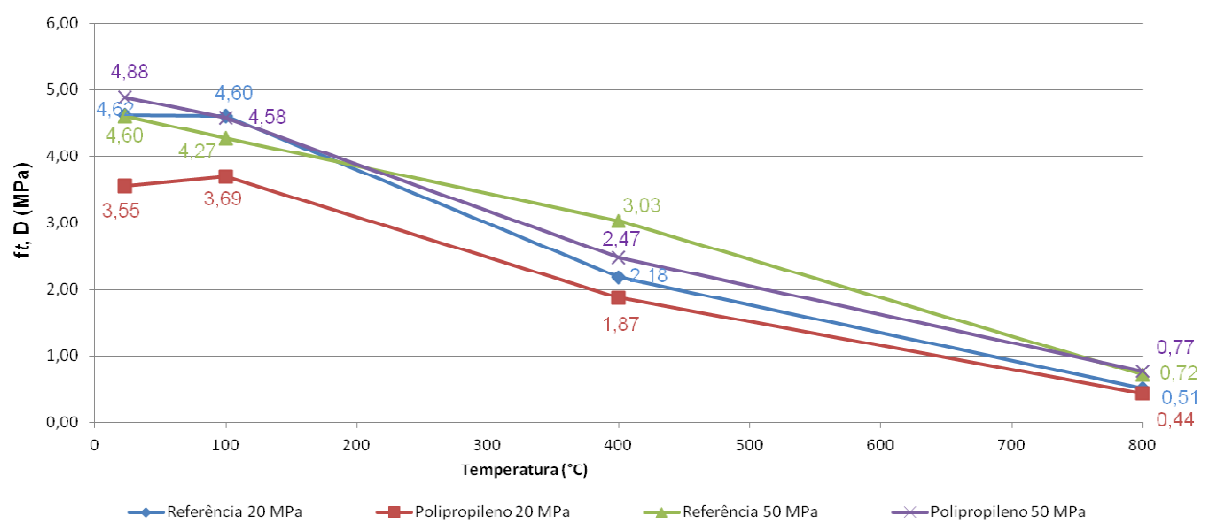
Analisando os resultados entre os dois tipos de concreto, observa-se que para os concreto convencionais, teve-se uma diminuição em todas as temperaturas nos concretos com adição de fibras de polipropileno em relação ao de referência, sendo

aos 23 °C uma redução de 14,97%, aos 100 °C 15,24%, nos 400 °C 28,45% e aos 800 °C 10,45%. Por outro lado, os concretos de alta resistência obteve-se uma elevação nas temperaturas de 23 °C, 100 °C e 800 °C, apenas reduzindo na faixa de temperatura dos 400 °C, mantendo o parâmetro encontrado na resistência à compressão, que também se mostrou dessa forma.

3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A figura 15 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 14 - Resultado de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autora, 2015

Assim como nos demais ensaios, também houve um decréscimo em todos os traços na resistência à tração enquanto a temperatura aumentava.

Verifica-se que no caso da resistência à tração por compressão diametral, o comportamento de concretos expostos às altas temperaturas é bastante distinto da perda gradual que é observada normalmente para a resistência à compressão.

Isto porque uma elevada quantidade de micro e macro-fissuras são produzidas nas amostras em função das incompatibilidades térmicas que existem no interior do concreto, bem como da decomposição do Ca(OH)_2 e de outros hidratados e/ou

componentes. Dessa maneira, a resistência à tração dos concretos é mais sensível à formação de fissuras do que a sua resistência à compressão CHAN *et al.* (1996, *apud* CASTRO, PANDOLFELLI, 2011).

Analisando os resultados entre os dois tipos de concreto, observa-se que para os concreto convencionais que haviam adição de fibras de polipropileno, teve-se uma diminuição em todas as temperaturas, comparados com os de referência, sendo aos 23 °C uma redução de 23,16%, aos 100 °C 19,78%, nos 400 °C 14,22% e aos 800 °C 13,73%. Por outro lado, os concretos de alta resistência que haviam adição de fibras de polipropileno obtiveram uma elevação nas temperaturas de 23 °C, 100 °C e 800 °C, apenas reduzindo na faixa de temperatura dos 400 °C, mantendo o parâmetro encontrado na resistência à compressão e módulo de elasticidade, que também se mostraram dessa forma.

Tais resultados não coincidem exatamente com os de Bonifácio (2014), no qual apresentou uma melhora nos resultados à tração com a utilização de fibras a temperatura ambiente.

As tabelas 4, 5, 6 e 7 a seguir apresentam os resultados dos ensaios realizados neste artigo.

Tabela 4 - Resultados da perda de massa.

Temperatura (°C)	Perda de massa (%)			
	Referência (20 MPa)	Polipropileno (20 MPa)	Referência (50 MPa)	Polipropileno (50 MPa)
23 °C	0,00	0,00	0,00	0,00
100 °C	2,52	3,16	1,69	1,75
400 °C	6,52	7,21	7,75	7,71
800 °C	7,74	8,19	9,46	9,71

Fonte: Autora, 2015

Tabela 5 - Resultados da compressão axial.

Temperatura (°C)	Compressão axial (MPa)			
	Referência (20 MPa)	Polipropileno (20 MPa)	Referência (50 MPa)	Polipropileno (50 MPa)
23 °C	34,35	31,65	52,10	54,35
100 °C	28,35	29,95	45,60	52,20
400 °C	24,40	19,95	31,10	30,65
800 °C	4,05	4,05	6,35	7,80

Fonte: Autora, 2015

Tabela 6 - Resultados do módulo de elasticidade.

Temperatura (°C)	Módulo de elasticidade (GPa)			
	Referência (20 MPa)	Polipropileno (20 MPa)	Referência (50 MPa)	Polipropileno (50 MPa)
23 °C	42,08	40,74	40,74	40,90
100 °C	40,81	34,59	39,19	40,23
400 °C	15,51	10,84	16,13	15,67
800 °C	2,39	2,14	2,82	3,13

Fonte: Autora, 2015

Tabela 7 - Resultados da tração por compressão diametral.

Temperatura (°C)	Tração por compressão diametral (MPa)			
	Referência (20 MPa)	Polipropileno (20 MPa)	Referência (50 MPa)	Polipropileno (50 MPa)
23 °C	4,62	3,55	4,60	4,88
100 °C	4,60	3,69	4,27	4,58
400 °C	2,18	1,87	3,03	2,47
800 °C	0,51	0,44	0,72	0,77

Fonte: Autora, 2015

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir através das análise que:

- As fibras tiveram um resultado satisfatório quanto à perda de massa. Os concretos que possuíam fibras de polipropileno adicionadas na sua composição não sofreram lascamentos explosivos, isso porque devido ao aquecimento gerou uma rede permeável que permitiu a migração dos gases para o exterior, reduzindo as tensões causadas por ele sobre o material. Para
- os concretos que não possuíam fibras houve um lascamento no grupo de C50, na temperatura de 400 °C. Este material possui uma maior sensibilidade às altas temperaturas devido à sua porosidade reduzida, apresentando a ocorrência de lascamentos explosivos entre 100 °C e 400 °C.
- Para a resistência à compressão axial do concreto as fibras obtiveram comportamentos diferente para cada classe, no concreto convencional as fibras diminuíram a resistência, já para o concreto de alta resistência

aumentaram a resistência à compressão axial. Esse fato pode estar associada ao derretimento da fibra de polipropileno que se inicia por volta dos 160 °C, assim deixando vazios dentro do concreto, e quando o mesmo é submetido a tensões, pequenas fissuras podem surgir na região próxima aos vazios, diminuindo à resistência. Os concretos de alta resistência são mais denso e têm uma menor quantidade de vazios, diferente dos concretos convencionais.

- No módulo de elasticidade as fibras também obtiveram comportamento diferentes nas classes do concreto, pois o módulo de elasticidade está diretamente ligado à resistência à compressão axial do concreto.
- A adição de fibras no concreto teve um resultado positivo para a resistência à tração por compressão diametral. No grupo de concreto C50 nas temperaturas de 23 °C, 100°C e 800 °C houve uma elevação na resistência, com exceção da temperatura de 400 °C que houve uma perda na resistência, no entanto houve uma redução na resistência para o grupo de concreto C20 em todas as temperaturas.

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 elementos 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 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **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.

B. Zhang, N. Bicanic, C. J. Pearce, D. V. Phillips, Relationship between brittleness and moisture loss of concrete exposed to high temperatures, *Cement Concrete Res.* **32**, 3 (2002) 363-371.

B. Zhang, N. Bicanic, Residual fracture toughness of normal- and high-strength gravel concrete after heating to 600 °C, *ACI Mater. J.* **99**, 3 (2002) 217-226.

B. Zhang, N. Bicanic, C. J. Pearce, D. V. Phillips, Relationship between brittleness and moisture loss of concrete exposed to high temperatures, *Cement Concrete Res.* **32**, 3 (2002) 363-371.

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

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.

CIMOLIN, Felipe Rocha. **Estudo do Efeito da Fibra de Polipropileno em Concreto Exposto a Altas Temperaturas** (2015) 23p.

C. S. Poon, Z. H. Shui, L. Lam, Compressive behavior of fiber reinforced high-performance concrete subjected to elevated temperatures, *Cement Concrete Res.* **34**, 12 (2004) 2215-2222.

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.

J. C. Marechal, Variations in the modulus of elasticity and Poisson's ratio with temperature, Int. Seminar on Concrete for Nuclear Reactores, ACI SO-34, 1, pp. 495-503 (Detroit, Michigan, 1972).

K.W. Nasser and M. Chakraborty, Effects on strength of concrete in Temperature Effects on concrete, ASTM Sp.Tech.Publ. No 858, pp. 118-33 (Philadelphia, Pa, 1983).

K.W. Nasser and A.M Neville, Creep of concrete at elevated temperatures J. Amer. Concr. Inst., pp. 1567-79 (Dec.1965)

LIMA, R. C. de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRS, Porto Alegre, RS, 2005.

LIMA, R. C. A. et al. **Efeito de altas temperaturas no concreto**. In: II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES, 2004, Porto Alegre, 2004. v. 1, p. 1 - 15.

M. Li, C. X. Qian, W. Sun, Mechanical properties of high-strength concrete after fire, Cement Concrete Res. **34**, 6 (2006) 1001-1005.

MARTIN, A. P. S.; et al. **Incêndio nas edificações**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de graduação em Engenharia Civil. Disciplina de Patologia. Porto Alegre, 1996. Apostila.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997. p.391.

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.

U. M. Jumppanen, Effect of strength in fire behaviour of concrete, Nordic Concrete Research. Publication No. 8, pp. 116-27 (Oslo, Dec. 1989)