

## XV Seminário Nacional de Bombeiros - SENABOM Goiania, Brasil, 2016

### COMPORTAMENTO DA MICROESTRUTURA DO CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Julyanna Bueno V. da Silva\*, Reginaldo Virgilio da Silva\*

\* Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
julyannabueno@hotmail.com, rvseng@gmail.com

**Resumo:** este artigo aborda o comportamento do concreto quando submetido a temperaturas elevadas, normalmente, em situações de incêndio, abordando, qual o efeito do calor, e a gravidade que este efeito pode acarretar à microestrutura do material, abrangendo os agregados e à pasta de cimento.

**Palavras-chave:** concreto, incêndio, temperatura.

#### I INTRODUÇÃO

A composição do concreto é importante porque tanto a pasta de cimento como o agregado, são componentes que se decompõem ao aquecer. A permeabilidade do concreto, o tamanho da peça e a taxa de aumento da temperatura são relevantes porque ditam o desenvolvimento de pressões internas dos produtos gasosos de decomposição. Testes com fogo também demonstram que a resistência do concreto é influenciada pelas condições de teste, quando submetidos a altas temperaturas ou baixas temperaturas, sendo também influenciado o resultado quando resfriados lentamente ou bruscamente (AITCIN, 2000).

Os incêndios são acontecimentos excepcionais, que podem ter consequências muito graves nos edifícios, a ação do fogo nas estruturas de concreto armado, podem gerar efeitos, tanto diretamente ao concreto, como às armaduras de aço (BERTOLINI, 2010). Segundo Bertolini: “Durante a exposição à altas temperaturas o concreto pode fissurar-se, por causa das tensões induzidas pela deformação diferente da pasta de cimento e pela presença de transformações expansivas”.

#### II OBJETIVOS

O trabalho tem como metas gerais:

- investigar e apresentar o comportamento da microestrutura do concreto, submetido às altas temperaturas;
- analisar os efeitos que altas temperaturas podem acarretar ao concreto, principalmente referente à pasta de cimento;
- propor cuidados a serem tomados quando da prescrição e dimensionamento do concreto de estruturas de concreto armado.

#### III DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Visto a nível microscópico, começa-se a aparecer as complexidades da estrutura do concreto, é sabido que as duas fases da estrutura não estão distribuídas de forma homogênea no concreto, e entre si não são homogêneas, por exemplo em alguns locais a pasta de cimento aparece tão densa quanto o agregado enquanto que em outras é altamente porosa, outro fato é que se observados diversos corpos de prova com mesma quantidade de cimento mas com quantidade de água diferente, poderá ser observado que o volume de vazios capilares na pasta decresce com a diminuição da relação água/cimento, onde muitos aspectos do concreto somente podem ser explicados quando analisada a interface pasta cimento-agregado, portanto tratada como uma terceira fase, chamada de zona de transição, esta representa uma região interfacial entre o agregado grão e a pasta, sendo uma camada delgada normalmente de 10 a 50  $\mu\text{m}$  de espessura, esta geralmente mais fraca do que os dois principais componentes do concreto (METHA E MONTEIRO, 2008).

O concreto é um material de natureza altamente heterogênea e dinâmica, sendo importante para o entendimento e controle das propriedades desse material composto, o entendimento da estrutura dos constituintes individuais do concreto.

A pasta de cimento hidratada é composta por quatro principais constituintes, sendo:

Silicato de cálcio Hidratado (C-S-H). Constitui de 50% a 60% do volume de sólidos da pasta, e é o mais importante na definição das propriedades da pasta;

Hidróxido de Cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Também conhecida por Portlandita, este componente constitui 20% a 25% do volume de sólidos na pasta hidratada, é fonte de reserva alcalina para o concreto;

Sulfoaluminatos de cálcio. Ocupam de 15% a 20% do volume de sólidos na pasta endurecida, não tem um papel relevante nas propriedades da estrutura;

Além dos sólidos descritos a pasta também é composta por vazios, de diferentes tipos, sendo estes normalmente preenchidos por água, pode-se citar, os espaços interlamelares no C-S-H, sendo a largura

## **XV Seminário Nacional de Bombeiros - SENABOM Goiania, Brasil, 2016**

destes de 18Å, conforme preconizado por Powers. Os vazios capilares são divididos em macroporos, os maiores que 50 nm ou 0,05 µm e os microporos, menores que 50 nm (METHA E MONTEIRO, 2008).

A água na pasta endurecida pode estar presente na forma de água capilar, que pode ser dividida em duas categorias: água livre presente em vazios maiores que 50 nm, e água retida por tensão capilar (5 a 50 nm), por sua vez sua remoção pode causar retração do sistema, esta água fica adsorvida à superfície do sólido, sob a influência de forças de atração retidas fisicamente por até 6 camadas moleculares de água (15Å). A água interlamelar, associada a estrutura do C-S-H, fortemente ligada por pontes de hidrogênio, pode ser perdida somente por uma forte secagem, e a estrutura retrai consideravelmente com sua perda.

Água quimicamente combinada, é a água que é parte integrante da estrutura de vários componentes hidratados do cimento, esta não é perdida por secagem, e somente liberada quando os compostos hidratados são decompostos por aquecimento. O concreto é incombustível e não emite gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas (METHA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Neville: “Durante um incêndio, a natureza porosa do concreto usual, a quantidade de água livre e a quantidade de água mais estreitamente ligada que ele contém contribuem para um excelente comportamento do concreto”.

O efeito da temperatura depende do grau de hidratação e da umidade da pasta, sendo uma pasta bem hidratada composta principalmente de silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio e de sulfo-aluminato de cálcio hidratado, já uma pasta saturada contém uma grande quantidade de água livre e água capilar além de água adsorvida, sendo os vários tipos de água perdidos ao elevar-se a temperatura do concreto. Porém em favor da proteção observa-se que devido ao considerável calor de vaporização necessário para a conversão da água em vapor, a temperatura do concreto não se elevará até que toda a água evaporável tenha sido removida (METHA E MONTEIRO, 2008).

A evaporação de grande quantidade de água pode ocasionar problemas se a taxa de aquecimento for alta e a permeabilidade da pasta de cimento for baixa, pois podem ocorrer danos ao concreto sob a forma de lascamento superficial, o mesmo ocorre devido a um aumento da pressão do vapor dentro do material, maior do que o alívio da pressão para a atmosfera (METHA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Metha e Monteiro: “A porosidade e mineralogia do agregado parecem exercer uma

influência importante no comportamento do concreto exposto ao fogo. Agregados porosos, dependendo da taxa de aquecimento e tamanho do agregado, permeabilidade e umidade, podem ser suscetíveis de expansões destrutivas levando ao pipocamento do tipo descrito no caso de ataque por congelamento. Agregados de baixa porosidade, entretanto, não devem apresentar problemas relacionados a movimentos da umidade. No resultado da reação de decarbonização, além de possíveis transformações de fase e decomposição térmica do agregado, a resposta do concreto ao fogo é influenciada, de outras maneiras, pela mineralogia do agregado como, por exemplo, determinada dilatação térmica diferencial entre o agregado e a pasta de cimento e a resistência última da zona de transição”.

O comportamento da resistência do concreto à compressão, quando exposto a altas temperaturas depende de dois fatores: tempo de exposição a alta temperatura e forma de aplicação do resfriamento (VIANA, 2014).

Em aquecimento acima de 300°C, a pasta sofre uma contração considerável motivado pelo distanciamento da água presente nas camadas do gel, devido a perda da água entre as camadas de C-S-H e parte da água quimicamente combinada do C-S-H e sulfo-aluminato hidratado também são perdidas, os agregados se expandem, surgem então tensões internas. A temperaturas de 450 a 550°C podem surgir variações de volume devido a decomposição da portlandita, no caso dos agregados silicosos há expansão do quartzo à 575°C, tais como granito e arenito, porque a transformação do quartzo da forma  $\alpha$  para  $\beta$  é associada com uma expansão súbita da ordem de 0,85%, sendo a decomposição dos agregados calcários a temperaturas superiores a 900°C, e ainda a decomposição completa do C-S-H (BERTOLINI, 2010 e MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A evaporação da água contida nos poros mais profundos é mais prejudicial, pois pode produzir um vapor que se não consegue atingir a superfície, desenvolve pressão nos poros e contribui para a fissuração, nos concretos de alto desempenho, este fenômeno pode gerar pressões tão elevadas a ponto de se acumular vapor e causar um comportamento explosivo, com o rápido descolamento de fragmentos superficiais. Um método de prevenção é a inserção de fibras de polipropileno que, quando expostas a altas temperaturas durante o incêndio, geram um espaço necessário para acomodar o vapor, e ainda criando canais através dos quais o vapor de água desenvolvido no concreto possa ser liberado (BERTOLINI, 2010 e NEVILLE, 2013).

## XV Seminário Nacional de Bombeiros - SENABOM Goiania, Brasil, 2016

Os danos ao concreto progridem à medida que o incêndio atinge sua máxima temperatura, e com a duração da exposição à altas temperaturas. O concreto muda de cor durante o incêndio, tendo uma coloração rosa quando entre as temperaturas de 300°C e 600°C, cinza até 900°C e marrom a temperaturas superiores (BERTOLINI, 2010).

A resistência à compressão do concreto, normalmente pode manter uma coesão aceitável, quando submetida às temperaturas de 500°C a 600°C pode-se considerar uma resistência mecânica residual pelo menos igual a 75% do original, sendo suficiente para garantir as margens de segurança estrutural; quando submetido a temperaturas superiores a 500°C e sofrendo danos, deve-se intervir imediatamente na estrutura e substituir o concreto danificado. O aumento da temperatura, mesmo que acidental pode gerar uma maior sensibilidade da estrutura aos agentes agressivos (BERTOLINI, 2010).

A taxa de diminuição da força e módulo depende da taxa de aumento da temperatura do incêndio e das propriedades de isolamento de concreto. O concreto não queima. Dentre os agregados existem os carbonáticos: calcário e dolomita, e os Agregados silicosos, estes constituídos de sílica, por exemplo, granito e arenito. Agregados leves são geralmente fabricados por aquecimento de xisto, ardósia ou argila. A Figura 1 mostra o efeito da alta temperatura sobre a resistência à compressão do concreto, esta mostra que a resistência do concreto contendo agregados silicosos começa a cair a cerca de 430°C e é reduzida a cerca de 55% em 650°C, já o concreto contendo agregados leves e agregados carbonáticos, são capazes de reter a maior parte da resistência à compressão até cerca de 650°C. O concreto leve tem propriedades de isolamento, e transmite calor a uma taxa mais lenta do que o concreto de peso normal com a mesma espessura, portanto, normalmente proporciona maior resistência ao fogo (BILOW E KAMARA, 2008).

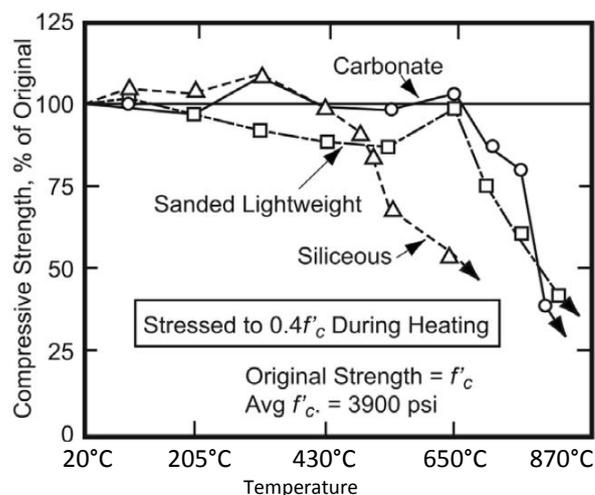


Figura 1 – Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão do concreto. (BILOW E KAMARA, 2008)

### IV CONCLUSÕES E CONTINUAÇÃO

Diante da revisão bibliográfica apresentada, pode-se concluir que o concreto é um material de excelente performance, frente a altas temperaturas, porém limitado, quando submetido a temperaturas acima de 500°C, apesar de não queimar, a perda da água, funciona como uma refrigeração que busca retardar o aquecimento do mesmo, porém deve-se tomar maiores precauções no uso de concretos de alta resistência, pois estão propensos a lascar devido à formação de gases, uma alternativa é o uso de fibras de polipropileno, é de suma importância levar em consideração o tipo da edificação, os materiais do concreto e sua resistência, para a prescrição do concreto a utilizar, pois estes fatores influenciam no risco de haver um incêndio de grandes proporções, e ainda no desempenho deste concreto frente às altas temperaturas. Para o uso e tipo de edificação os tempos requeridos de resistência ao fogo, podem ser determinados conforme a NBR 14.432:2000.

A sugestão para trabalhos futuros é fazer ensaios em corpos de prova com os concretos usados nas obras em Goiânia submetidos a altas temperaturas, e ainda uma revisão bibliográfica acerca da influência do incêndio ao módulo de elasticidade do concreto e às tensões do aço no concreto armado.

### V AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PUC Goiás, ao Departamento de Engenharia e a UFG, notadamente aos professores Helena Carasek e Oswaldo Cascudo, aos indiscutíveis conhecimentos repassados na área da microestrutura do concreto.

## **Revista FLAMMAE**

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco  
Seção 3 – Atas de Eventos Técnico Científicas  
ISSN 2359-4837 Volume 2, Nº03 - Edição de JAN a JUN 2016

### ***XV Seminário Nacional de Bombeiros - SENABOM Goiania, Brasil, 2016***

#### **VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AITCIN, PIERRE-CLAUDE; Concreto de Alto Desempenho, tradução de Geraldo G. Serra; São Paulo; Pini; 2000.

BERTOLINI, LUCA; Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção, tradução Leda Maria Marques Dias Beck; São Paulo; Oficina de Textos; 2010.

BILOW, D. N. P. E.; KAMARA, P. E. Fire and Concrete Structures, structures; Crossing Borders; 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. IBRACON: São Paulo; 2008.

NBR 14.432:2000; Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos.

NEVILLE, M. A. BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto. 2. ed. BOOKMAN: Porto Alegre; 2013.

VIANA, ANA CAROLINA COSTA. Concreto pré-fabricado: alteração da resistência à compressão quando exposto a altas temperaturas; Cascavel; 2014.