



XL CILAMCE
IBERO-LATIN AMERICAN
CONGRESS ON
COMPUTATIONAL
METHODS IN
ENGINEERING

NOVEMBER
11-14, 2019

Praiamar Natal Hotel & Convention
Natal, RN-BRAZIL

ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Lucas Vieira de Sousa Oliveira

Francisco da Chagas Sá Cabedo Junior

Rebeka Manuela Lobo Sousa

Sávio Torres Melo

lucas.oliveira@ifma.edu.br

engcabedojr@gmail.com

rebekamanuela28@gmail.com

savio.melo@hotmail.com

Faculdade de Ensino Superior de Floriano – PI, Departamento de Engenharia Civil, 64809-170, Brasil.

Resumo: *O comportamento do concreto frente a altas temperaturas vem se tornando uma linha de pesquisa muito requisitada nos últimos anos. Estes estudos se justificam pela alta procura do mercado por um elemento estrutural cada vez mais adequado e resistente a situações adversas que possam ocorrer. Desta forma, o calor ocasionado pelo fogo poderá causar alterações na estrutura do concreto, provocando efeitos como perda de resistência, fissuração e modificação da tonalidade da coloração do concreto. Algumas situações podem levar uma estrutura ao colapso quando exposta a altas temperaturas, como: a máxima temperatura atingida pelo fogo na edificação, o tempo que a estrutura ficou exposta ao fogo e a velocidade do resfriamento. Este trabalho pretende apresentar através da leitura e literatura contemporâneas algumas situações de incêndio existentes e uma forma de minimizar estas situações a fim de proporcionar um devido conforto e conhecimento sobre os assuntos de estruturas de concreto em situação de incêndio na construção civil.*

Palavras-chave: *Situação de Incêndio. Comportamento do Concreto. Altas Temperaturas.*

1 INTRODUÇÃO

O incêndio pode surgir devido a temperaturas elevadas acidentalmente ou por condições normais de trabalho provocando deteriorações numa estrutura e muitas vezes não se é dado o devido cuidado a esse assunto em um projeto.

A norma NBR 15200, que especifica os projetos de estruturas de concreto em situações de incêndio, mostra alguns requisitos fundamentais para a proteção para amenizar o fogo gerado neste tipo de ambiente, como:

- Reduzir o risco de incêndio;
- Controlar o fogo em estágios iniciais;
- Limitar a área exposta ao fogo (compartimento corta-fogo);
- Criar rotas de fuga;
- Facilitar a operação de combate ao incêndio;
- Evitar ruína prematura da estrutura, permitindo a fuga dos usuários e as operações de combate ao incêndio.

Após a ocorrência de um incêndio, necessita-se da realização de uma averiguação no local que determina se a estrutura pode ser reutilizada sem que haja reparos localizados. Portanto, se forem constatados maiores danos, a estrutura deve passar por um projeto de recuperação. Um caso famoso de elevação de temperatura acidental é o incêndio do Canal da Mancha, em 1996, como pode ser visto na imagem a seguir:



Figura 1. Incêndio do Canal da Mancha, em 1996
Fonte: Patrick Reynolds for TunnelTalk (2015)

Quando uma estrutura de concreto é atingida por um incêndio, o acréscimo da temperatura altera as propriedades físicas e mecânicas do concreto. Esse acontecimento pode acarretar inúmeras patologias ao concreto ou levar a estrutura ao colapso. O concreto pode ser sujeito, acidentalmente, a altas temperaturas ou estas podem fazer parte de suas condições normais de trabalho (FERREIRA, 2011). Um dos principais aspectos referentes ao concreto, quando submetido ao fogo, é a sua capacidade de isolar o calor, impedindo que ele atinja a armadura de ferro.

A perda de umidade do concreto pode resultar em uma queda de resistência e do módulo de deformação. Desta forma, se torna importante conhecer o comportamento do concreto sujeito à ação do fogo, pois dele depende a estabilidade da estrutura durante um período de tempo estabelecido.

A água no interior do concreto, com o aquecimento do mesmo, tende a virar vapor, e, se não tiver 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 na mistura. Neste artigo, será apresentado um estudo bibliográfico sobre o comportamento do concreto quando submetido a altas temperaturas e quais as medidas podem ser tomadas na prevenção deste acontecimento. Pois um maior conhecimento sobre o assunto pode resultar em ganhos com estruturas mais seguras.

2 O EFEITO DA TEMPERATURA NO CONCRETO

Em um elemento estrutural na ocasião de incêndio, os fatores que induzem à ocorrência do lascamento do concreto são muitos, mas podemos destacar a delaminação ou descamação profunda e os lascamentos explosivos.

Delaminação, ou descamação profunda, é o destacamento de placas de concreto ao longo de grandes extensões da superfície. Este fenômeno é conhecido como sloughing. Na delaminação, as partes do cobrimento de concreto se desprendem em uma grande extensão da estrutura de forma lenta e gradual deixando uma nova face do concreto exposta à ação do fogo. (MORALES; CAMPOS; FAGANELLO, 2001).

Lascamentos explosivos são conhecidos como spalling. Este fenômeno físico pode ser definido como sendo um violento e 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 e costumam ocorrer nos primeiros 30 minutos da ação do fogo à temperaturas de 250 °C e 400 °C (BRITEZ; COSTA, 2011).

O deslocamento, quando ocorre em uma laje, faz com que a armadura de tração fique exposta ao calor e perca sua resistência mínima para suportar os esforços solicitantes (COSTA, 2008). Cánovas (1988) cita que, no caso de pilares, o fogo acarreta a dilatação das barras e estas arqueiam fazendo com que parte do cobrimento se desprenda, o que contribui para a redução da resistência do pilar, podendo levar ao colapso da estrutura.

Tabela 1. Influência do Fogo no Concreto a diferentes Temperaturas

Temperatura (°C)	Danos Existentes
20	Evaporação da água capilar
200	
300	Surgimento de Fissuras
400	
500	Início da desagregação do concreto
600	
900	Concreto desagregado, sem resistência
1000	

Fonte: Helene et al. (2003)

Cabe enfatizar que, apesar de o concreto apresentar uma redução de sua capacidade de resistência quando submetido a altas temperaturas, o mesmo normalmente resiste à atuação do calor por um determinado tempo sem que aconteça o colapso. De acordo com Souza (2005), o fogo é um fenômeno físico-químico que ocorre com uma reação de oxidação com emissão de calor e luz e se manifesta diretamente em função da composição química do material que pode queimar em função da sua superfície específica, das condições de exposição ao calor, da oxigenação e da umidade contida.

A propagação do calor no concreto dá-se, principalmente, por condução devido à temperatura fria no interior do concreto e quente na superfície, pela difusibilidade e pelo calor específico. Além disso, o concreto não é um bom condutor de calor, por isso o processo de propagação do calor no interior do dele é lento quando comparado ao aço, por exemplo, formando um intenso gradiente térmico no seu interior e provocando modificações em suas propriedades (BRITTEZ, 2011).

O comportamento do concreto submetido a elevadas temperaturas depende do comportamento individual dos seus materiais constituintes, variando com o grau de hidratação, proporção água-ligantes, finos existentes e tipo de agregados (SOUZA, 2016). O concreto, quando exposto a altas temperaturas, tem a sua capacidade estrutural reduzida. Isso faz com que as fissuras sejam encontradas com frequências devido às elevadas deformações.

De acordo com Neville (1997), o risco de deslocamento explosivo se torna superior à permeabilidade do concreto quanto maior a velocidade de aumento da temperatura.

As altas temperaturas aumentam a desidratação e promovem a decomposição da pasta de cimento endurecida e dos seus agregados. Consequentemente, quando um material a base de cimento, como o concreto, é aquecido, diversos fatos acontecem na faixa de temperatura entre 100°C e 900°C.

Cánovas (1988), ao ser submetido à ação do fogo, o concreto não aquece de imediato, pois a água presente na forma livre ou capilar começa a evaporar a partir dos 100 °C. Entre 200 °C e 300 °C a água capilar evapora por completo e não provoca diminuição significativa da resistência do concreto.

À medida que a temperatura aumenta, a resistência diminui e a deformação aumenta; em outras palavras, o concreto enfraquece.

3 REPAROS

O objetivo principal do reparo em uma estrutura de concreto, após a ocorrência de um incêndio, é a recuperação das características originais e a capacidade portante (FIB apud JÚNIOR, 2011).

Os procedimentos preliminares obrigatórios no reparo de estruturas são essenciais para tornar a estrutura segura novamente. Por mais que os materiais e técnicas de reparo estejam corretos, se a base em que estes forem aplicados não estiver limpa e preparada da maneira correta, pode ocorrer um comprometimento futuro da estrutura (GONÇALVES, 2015).

A limpeza de processos corrosivos deve ser realizada com escova com cerdas de ferro com posterior aplicação de um hidrojateamento, que consiste em aplicação de ar comprimido, areia e água em alta pressão. (HELENE et al., 2003).

O aquecimento do concreto durante um incêndio faz com que as armaduras transversais e longitudinais de uma viga sofram dilatação e flexionem, levando a à fissuração e ao deslocamento do concreto.

Valente (2014) aponta que, para correção de lascamentos do concreto na laje, deve ser realizado um reparo com aplicação de armadura de reforço, geralmente feita com telas de aço soldadas e fixas com pinos. Para as lajes que, porventura, se deformarem, é necessária a

colocação de macacos hidráulicos para elevá-las ao nível inicial. No entanto, se a deformação for muito grande, é recomendada a demolição do elemento estrutural.

Na ruptura de pilares, (HELENE, 2003) recomenda-se que se faça o reforço do mesmo com concreto projetado por meio de ar comprimido ou o convencional, o que vai aumentar a seção do elemento. Porém, quando os danos forem grandes ou moderados, é indicado que se retire o concreto danificado e se aumente a seção do pilar.

4 O USO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

As fibras de polipropileno são produzidas a partir do petróleo na forma do óleo cru, que é submetido à destilação fracionada, gerando, como um de seus produtos, a nafta, a qual é submetida a um processo de decomposição térmica sob pressão que, por sua vez, apresenta como produto o polipropileno (CANEVAROLO JR, 2002). Desta forma, pode-se dizer que o polipropileno é aquele que amolece e flui quando exposto a determinadas temperaturas e pressão, podendo, então, ser moldado.

No que diz respeito aos estudos difundidos desse material, observa-se que a fibra traz benefícios ao concreto quando este é submetido a carregamentos. Em fadiga por flexão, estudos observaram que a adição de 0,3% de fibras de polipropileno gera um aumento aproximado de 18% na resistência à fadiga.

Metha e Monteiro (2014) afirmam que a adição das fibras de polipropileno, ao concreto, diminui consideravelmente a trabalhabilidade, que dependerá proporcionalmente do volume de fibras adicionadas à mistura. A adição das fibras também promove a resistência à flexão do material. Contudo, o maior benefício da adição é a tenacidade à flexão do material: quanto maior a fração volumétrica das fibras, maior será a resistência à flexão e tenacidade.

As fibras derretem com a elevação da temperatura. Sendo assim, criam poros adicionais que podem ser preenchidos pela água evaporada ou criam caminhos para que os gases possam sair na superfície cimentícia.

Segundo (KITCHEN, 2001), na temperatura de 160 °C, as fibras de polipropileno começam a derreter, reduzindo o volume inicial ocupado. À medida que a temperatura vai aumentando, os filamentos vão se degradando. Em torno de 360 °C eles entram em ignição (estado da substância em combustão). Estas fibras irão possibilitar que o vapor gerado pelo aumento de temperatura encontre caminhos para escapar para o ambiente, evitando, dessa forma, a ocorrência de lascamentos explosivos (LIMA, 2005).

5 CONCLUSÃO

A conscientização de que os danos causados durante um incêndio a uma edificação estrutural podem ser irreversíveis acarreta no surgimento de pesquisas relacionadas aos efeitos que as altas temperaturas podem causar aos elementos estruturais.

No desenvolvimento deste estudo, nota-se que as fibras de polipropileno, quando adicionadas ao concreto, formam um novo material, com propriedades diferentes dos concretos convencionais. Isso se deve pela boa resistência mecânica à tração e ao alto módulo de elasticidade que a fibra possui.

O objetivo desse trabalho é observar como funciona o concreto submetido a altas temperaturas e o reforço que o mesmo ganha com a adição da fibra de polipropileno. Neste procedimento, notou-se, em aspectos bibliográficos, que, com essa adição, o concreto ganha resistência contra a fissuração e diminui a possibilidade de ocorrência do lascamento explosivo no concreto (perda de massa).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Congresso CILAMCE 2019 pela oportunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15200:2012 - *Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio*, Rio de Janeiro;

BRITEZ, C. A. *Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetidos a elevadas temperaturas*. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011;

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

CANEVAROLO JR., Sebastião V. *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. São Paulo: Artliber Editora, 2002;

CÁNOVAS, Manuel F. *Patologia e terapia do concreto armado*. São Paulo: Pini, 1988. 522 p;

COSTA, Carla N. *Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio*. 2008. 724f. Tese de doutorado – Engenharia Civil. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008;

FERREIRA, A. P. G. *Modelagem dos fenômenos de transporte termo-hídricos em meios porosos submetidos a temperaturas elevadas: aplicação a uma bicamada rocha-concreto*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011;

GONÇALVES, Eduardo A. B. *Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações*. 2015. 174f . Trabalho de Conclusão de Curso – TCC – Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015;

HELENE, Paulo; PEREIRA, Fernanda; HUSNI, Raul; CASTRO, Pedro; AGUADO, Antonio. *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección*. São Paulo: Paulo Helene & Fernanda Pereira, 2003. v. 1. 750 p. ISBN: 8590370712;

JUNIOR, Odinir K. *Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos à flexão normal composta*. 2011. 211f. Tese de Mestrado – Engenharia Civil – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011;

Ma, Q, Guo R, Zhao Z, Lin Z, He K, *Mechanical properties of concrete at high temperature — A review*. Science Direct. Construction and Building Materials Volume 93, 15 September 2015, Pages 371-383 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815006765>. Acesso em: 22/07/2019

MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. *Concreto – Microestruturas, Propriedades e Materiais*. 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2014;

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. M. P. *A ação do fogo sobre os componentes do concreto. The action of the fire on the components of concrete*. Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47-55, jan./mar. 2011;

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

Reynolds, P. *Live test for Channel Tunnel fire system* for Tunnel Talk. 2015. Disponível em: <https://tunneltalk.com/Channel-Tunnel-20Jan15-SAFE-water-mist-fire-safety-system-tested-during-live-fire-incident.php>. Acesso em: 20/07/2019.

SOUZA, A. A. A. *Influência do tipo de agregado nas propriedades mecânicas do concreto submetido ao fogo*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005;

SOUZA, L. D. P. S. *Análise do comportamento estrutural de vigas de concreto armado submetidas às altas temperaturas utilizando a metodologia do planejamento fatorial*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.