

## RESISTÊNCIA RESIDUAL DE PILARES DE CONCRETO SUBMETIDOS A INCÊNDIO<sup>1</sup>

Nicollas Safanelli<sup>2</sup>, Carmeane Effting<sup>3</sup>, Itamar Ribeiro Gomes<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Caracterização Experimental e Numérica das Propriedades Mecânicas e Térmicas dos Materiais Cimentícios”

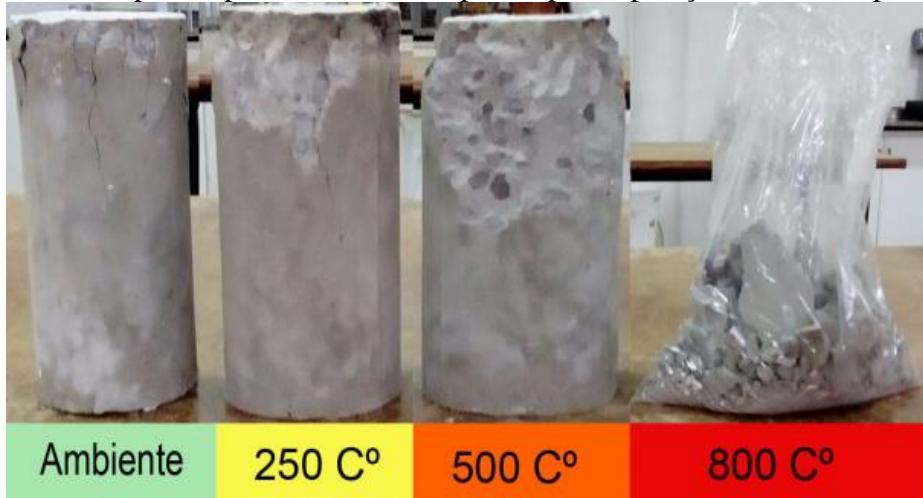
<sup>2</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Civil – CCT – Bolsista PROBIC

<sup>3</sup> Orientadora, Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Civil – CCT – carmeane.effting@udesc.br

<sup>4</sup> Pós-Doutor em Engenharia, Departamento de Engenharia Civil – CCT – itamar.gomes@udesc.br

A ocorrência de incêndios em edificações tem grande capacidade de reduzir a resistência e o módulo de elasticidade dos elementos estruturais de concreto, apesar de este ser considerado um material de bom comportamento frente ao fogo. Tal ação faz com que a rigidez da estrutura seja diminuída e os materiais que formam o concreto se degradem, levando em último caso à ruína das estruturas [1]. Esse fenômeno é exemplificado na Figura 1, onde é possível perceber a perda de resistência mecânica de corpos de prova submetidos a altas temperaturas, após serem levados à ruptura [2].

Figura 1 – Corpos de prova levados à ruptura após exposição à altas temperaturas



Fonte: Mello e Beltrame (2018).

Em um modo geral, no Brasil, o efeito do incêndio em peças estruturais costuma ser dimensionado através de processos simplificados, pela utilização das normas disponíveis pela ABNT. Apesar de serem um bom ponto de partida, tais normas não são capazes de prever análises mais sofisticadas, e o comportamento global de uma estrutura, pois baseiam-se em uma série de formulações próprias para peças estruturais isoladas. Além disso, processos experimentais que tratem de fenômenos como o incêndio, necessitam de instalações laboratoriais muito avançadas, e um grande intervalo de tempo para realização dos testes. Recorre-se, então, a métodos numéricos disponíveis atualmente através de softwares computacionais, que utilizam o

método dos elementos finitos (MEF), e consideram o comportamento não linear dos materiais ao longo do tempo, sendo capazes de prever o comportamento global da estrutura [3].

Diante dos fatos apresentados, a presente pesquisa buscou utilizar recursos computacionais para simular estruturas de concreto armado e analisar seu comportamento quando submetidas a incêndio, com enfoque na avaliação da resistência residual. Para isso, foi utilizado o *software Abaqus®*, da companhia *Dassault Systèmes Simulia Corp.*, que está disponibilizado através de aquisição de licença, ou em sua versão estudantil para acadêmicos. A utilização do *Abaqus®* para análise do efeito do fogo teve como objetivo propor uma forma sofisticada de analisar e dimensionar estruturas de concreto armado com mais segurança, e compreender melhor o comportamento das peças ao longo do tempo de exposição ao calor.

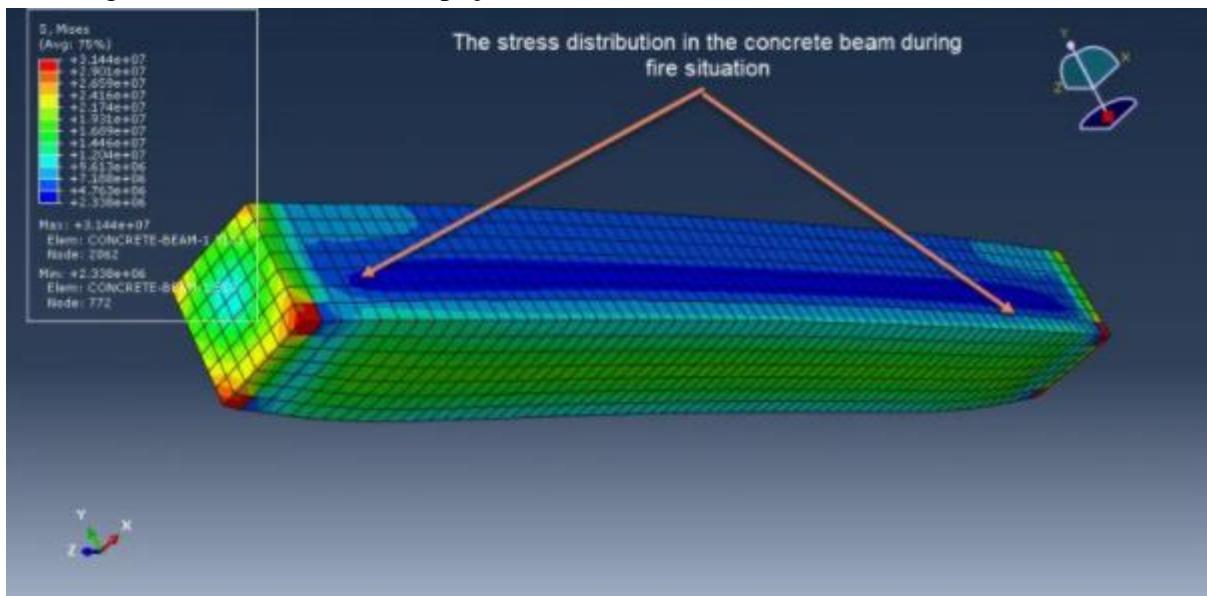
Para a modelagem no programa computacional *Abaqus®*, utilizou-se o modelo *Concrete Damaged Plasticity* (CDP). Esse modelo considera as características tanto elásticas quanto plásticas dos materiais. É uma junção das teorias da Elasticidade, Plasticidade e Mecânica do Dano [4].

Para representar do concreto no CDP, foi necessário desenhar as peças de concreto no software e as barras de aço, unindo ambos em um modelo tridimensional. Alguns parâmetros específicos foram necessários para aplicar no programa. Quanto ao comportamento elástico do concreto, utilizaram-se os seguintes parâmetros: resistência à compressão, módulo de elasticidade, pontos da curva tensão x deformação, coeficiente de Poisson e curva para simular o comportamento sob tração. Com relação ao comportamento plástico do concreto, os parâmetros utilizados foram: ângulo de dilatação (depende da resistência ao cisalhamento do concreto, geralmente de 30° a 40°), excentricidade,  $f_b / f_c$  (geralmente 1,16),  $K$  (geralmente 0,67) e viscosidade. Para a representação da armadura de aço, foram determinados: módulo de elasticidade, tensão de escoamento e coeficiente de Poisson. Além disso, é determinada uma malha de elementos, sendo que quanto maior a densidade da malha, menor o tamanho dos elementos finitos e mais precisa a simulação.

A previsão do efeito do fogo nas peças de concreto armado submetidas a incêndio é feita pelo *Abaqus®* através de uma análise termomecânica. Para a solução das equações de análise térmica em um *software* de modelagem computacional, foram necessárias condições iniciais e condições de contorno, baseadas nas propriedades térmicas do material em questão. Tais propriedades são por muitas vezes obtidas por processos experimentais e, posteriormente, aplicadas ao modelo. Para simular a transferência de calor no *Abaqus®*, são utilizados tipos de elementos finitos específicos, como por exemplo os elementos de superfície capazes de representar transferência de calor da peça com o meio externo e com suas próprias camadas internas [3].

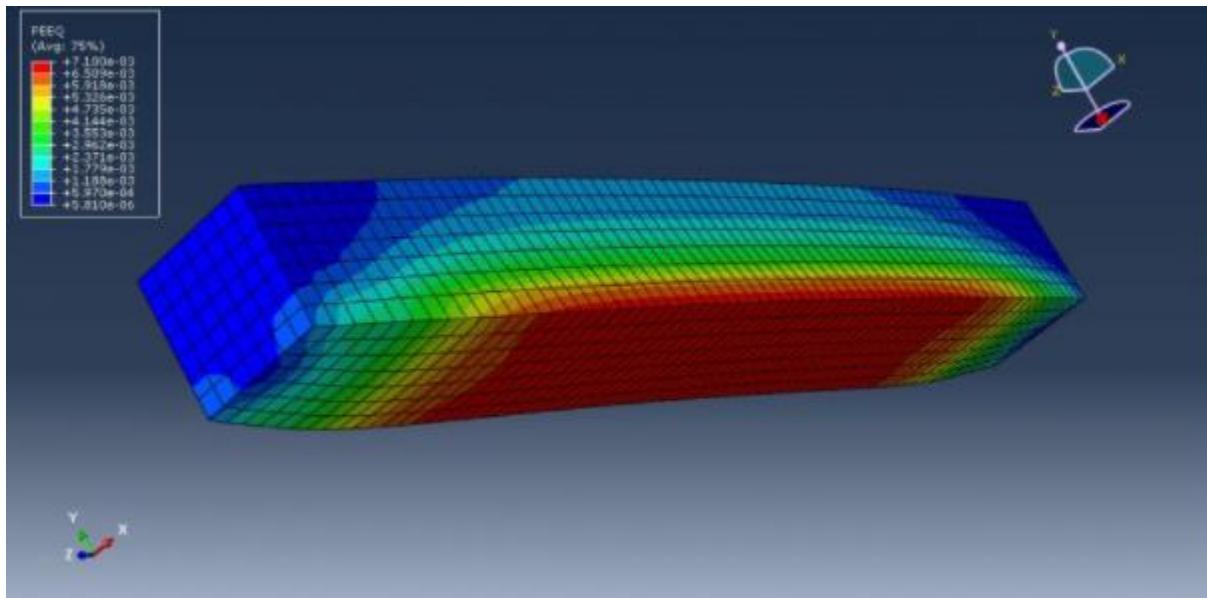
Por fim, foi possível prever o comportamento estrutural das peças submetidas a incêndio por meio de vistas tridimensionais geradas pelo programa. O *software* apresenta seus resultados em uma interface similar aos exemplos ilustrativos das Figuras 2 e 3, de Karampour [5]. As imagens demonstram as tensões e deformações plásticas em uma peça de concreto armado após o calor ser propagado da superfície externa em direção à parte interna da peça através da condução do calor.

Figura 2 – Tensões em uma peça de concreto armado submetida a incêndio [5]



Fonte: Karampour (2020).

Figura 3 – Deformação plástica em uma peça de concreto armado submetida a incêndio [5]



Fonte: Karampour (2020).

**Palavras-chave:** Concreto Armado. Incêndio. Modelagem Computacional.

## REFERÊNCIAS

- [1] KLEIN JÚNIOR, Odinir. **Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos à flexão normal composta.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-17082011-154210/publico/Dissertacao\\_Odinir\\_Klein\\_Junior.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-17082011-154210/publico/Dissertacao_Odinir_Klein_Junior.pdf). Acesso em 10 jun.2021.
- [2] MELLO, Alvaro Beginini de; BELTRAME, Neusa Aparecida. Comportamento do concreto convencional exposto a altas temperaturas. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Curitiba, n.13, p. 1-22, set. 2018. Disponível em: <http://creaprw16.creapr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/issue/vie wIssue/12/19>. Acesso em 2 maio 2021.
- [3] SILVA, J. C. et al *Procedimento para análise termomecânica inelástica de estruturas em situação de incêndio*, **XXXIV CILAMCE (Congresso Ibero Latino-Americano em Mecânica Computacional na Engenharia)**, Pirenópolis, GO, Brasil, (2013), 10-13 Novembro. Disponível em: <http://www.swge.inf.br/sitecilamce2013/cd/PDFS/CILAMCE2013-0314.PDF>. Acesso em: 23 ago 2020.
- [4] ASRAN, Ahmed G.; EL-ESNAWI, Hassan H; FAYED, Sabry. Experimental Investigation of RC Exterior Beam Column Connection with Eccentric Beam Subjected to Reversible Quasi Static Loads. **Civil Engineering Journal**, Cairo, v. 3, n. 4, p. 221-236, abril 2017. DOI 10.28991/cej-2017-00000088. Disponível em: <https://civilejournal.org/index.php/cej/article/view/317>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- [5] KARAMPOUR, Peyman. **Simulation fire analysis of the concrete beam in the Abaqus – Temperature and Stress analysis.** In: ABAQUSFEM. Tehran: 2020. Disponível em: <http://www.abaqusfem.com/simulation-fire-analysis-of-the-concrete-beam-in-the-abaqus-temperature-and-stress-analysis>. Acesso em 15 jul 2021.