

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

JAIME DOS SANTOS SARAIVA MARIANO

**CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Paracatu

2019

JAIME DOS SANTOS SARAIVA MARIANO

## **CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Msc. Hellen  
Conceição Cardoso Soares

Paracatu

2019

JAIME DOS SANTOS SARAIVA MARIANO

## CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Msc. Hellen  
Conceição Cardoso Soares

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019.

---

Prof.<sup>a</sup> Msc. Hellen Conceição Cardoso Soares  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Msc. Willian Soares Damasceno  
Centro Universitário Atenas

Dedico este trabalho aos meus pais, Irene e Abdasman, e as minhas irmãs, Daiane e Juliette pela motivação e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço as pessoas mais importantes da minha vida: meus pais Irene e Abdasman, por me darem suporte além do necessário em todos os desafios que enfrentei até hoje.

Às minhas irmãs Daiane e Juliette, por todo cuidado e carinho que sempre tiveram comigo, vocês são verdadeiros exemplos para mim.

A minha orientadora Msc. Hellen Conceição Cardoso Soares, por toda a ajuda, dedicação e paciência em todos os momentos.

Em especial à uma grande amiga que fiz ao longo dessa caminhada, Juliana Mendes e aos demais colegas que pude fazer nesses anos de faculdade e pelos grandes momentos que pude compartilhar com eles.

À todos meus professores do Curso de Engenharia Civil pela colaboração única na minha formação profissional, meu muito obrigado.

À Deus, por estar presente em tudo o que eu faço e por nunca me deixar desistir.

Tudo parece impossível até que seja feito.

Nelson Mandela

## RESUMO

O concreto armado é um material que ainda não está completamente “esclarecido” e seguro como o aço. Contudo, entidades científicas ainda buscam respostas práticas para se preparar o desempenho desse material como elemento estrutural, considerando todos os seus desempenhos e propriedades mecânicas, com o propósito de garantir a segurança à vida por meio da segurança das estruturas. Tendo as propriedades mecânicas reduzidas quando submetidas a elevadas temperaturas, as estruturas de concreto armado sofre perda das suas funcionalidades em um incêndio, podendo produzir situações desastrosas. Quando se é elevado à temperatura dos elementos estruturais a determinados limites, poderá fazer com que seja o suficiente para reduzir a rigidez e se chegar ao enfraquecimento da edificação. Neste trabalho é descrito o comportamento do concreto armado segundo às suas propriedades mecânicas e térmicas, seguindo como base as normas brasileiras mais atuais, com a finalidade de garantir as verificações das peças estruturais com maior segurança. A importância da segurança ao incêndio nas edificações é inquestionável, uma vez que estão em jogo não somente a vida das pessoas, como também os interesses patrimoniais e de valores históricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto armado. Incêndio. Estruturas.

## **ABSTRACT**

*Reinforced concrete is a material that is not yet completely "clear" and safe as steel. However, scientific entities still seek practical answers to prepare the performance of this material as a structural element, considering all its performances and mechanical properties, with the purpose of guaranteeing the safety to life through the safety of the structures. Having reduced mechanical properties when subjected to high temperatures, reinforced concrete structures suffer loss of functionality in a fire and can produce disastrous situations. When raised to the temperature of the structural elements to certain limits, it can be sufficient to reduce stiffness and weaken the building. This work describes the behavior of reinforced concrete according to its mechanical and thermal properties, following the most current Brazilian standards, in order to ensure the verification of structural parts with greater safety. The importance of fire safety in buildings is unquestionable, as not only the lives of people, but also the interests of heritage and historical values are at stake.*

**KEYWORDS:** Reinforced concrete. Fire. Structures.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Armaduras de aço recebendo o concreto ainda fluido.	14
<b>Figura 2</b> - Concreto armado já endurecido.	15
<b>Figura 3</b> - Pilares e vigas em concreto armado comprometido após incêndio.	18
<b>Figura 4</b> - Edifícios em situação de incêndio.	20
<b>Figura 5</b> – Spalling em estrutura de concreto.	21
<b>Figura 6</b> – Tipos de armaduras de aço.	23
<b>Figura 7</b> – Armações positivas e negativas de uma laje.	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>1.1 PROBLEMA</b>	<b>11</b>
<b>1.2 HIPÓTESES</b>	<b>11</b>
<b>1.3 OBJETIVO</b>	<b>12</b>
<b>1.3.1 OBJETIVO GERAL</b>	<b>12</b>
<b>1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>12</b>
<b>1.4 JUSTIFICATIVA</b>	<b>12</b>
<b>1.5 METODOLOGIA</b>	<b>13</b>
<b>1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO</b>	<b>13</b>
<b>2 COMPOSIÇÃO, FUNÇÃO E CONTRIBUIÇÃO DO CONCRETO ARMADO NAS EDIFICAÇÕES</b>	<b>14</b>
<b>3 COMPORTAMENTO DO CONCRETO E DO AÇO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO</b>	<b>18</b>
<b>4 REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA PROJETOS SOB A AÇÃO DO FOGO</b>	<b>22</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado precisam ser projetadas de maneira que tolerem aos esforços solicitantes que vão desde a sua execução e ao longo da vida útil da estrutura. Estes esforços podem ser originários de cargas móveis ou permanentes (VESPASIANO, 2016).

Ainda para Vespasiano (2016) no momento em que uma estrutura em concreto armado é atingida por um incêndio, a ampliação da temperatura altera as propriedades mecânicas e físicas tanto do concreto quanto do aço. Sendo capaz de causar ao concreto armado uma série de patologias ou até mesmo levar a estrutura ao colapso.

O principal propósito da segurança contra incêndios em edificações é proteger a vida humana. Em relação a disposição das estruturas quanto a ação do fogo, propõe-se reduzir os riscos de colapso com a finalidade de assegurar que as mesmas aturem até o momento em que as pessoas abandonem, o local onde ocorre o sinistro em segurança (ALMEIDA, 2018).

As estruturas de concreto armado geralmente apresentam seções rígidas e robustas. Portanto, o concreto dispõe um bom comportamento quando submetido ao fogo, se comparado aos outros materiais, devido a sua baixa condutividade térmica. Contudo, a altas temperaturas, os elementos estruturais de concreto armado sofrem perdas consideráveis de rigidez e resistência, sendo capaz de ocasionar colapso local ou ruína total da edificação.

Desde os princípios da humanidade, o fogo é um fenômeno instrumento da vontade do homem de dominá-lo, compreendê-lo e decifrá-lo. O fogo quando assume proporções maiores pode se destacar como um incêndio, de maneira a causar destruição, sendo capaz de resultar em perdas materiais, e inclusive, humanas. Um incêndio necessita de inúmeros elementos, que torna cada fato, um acontecimento único. Desta forma, não é possível antever onde, como ou a magnitude que ocorrerão os incêndios (LIMA *et al.*, 2004).

Dado que um incêndio é uma combustão descrita pelo aparecimento, propagação da chama, emissão de gases, liberação de calor, produção de fumaça e formação de diversos produtos a partir do carbono, quer dizer que ele só poderá ter lugar se existir no mesmo espaço um combustível e comburente. No mesmo momento em que o oxigênio é o comburente, o combustível é todo o material

passível de queimar (papel, plástico, madeira, etc.). Logo, a energia de ativação será a fonte de calor que irá ocasionar a alteração do nível térmico do combustível (COELHO, 2010).

Tendo em vista a prevenção da vida humana em um incêndio, a segurança das estruturas visível ao fogo devem ser garantidas a fim de assegurar a evacuação do local e conter os riscos à vida dos usuários e das equipes de combate e, em segundo plano a minimização de danos materiais como a perda de mercadorias e ruína da própria estrutura.

Em circunstância de incêndio, as estruturas têm de atender a um tempo mínimo padrão de resistência solicitado por norma, com intenção de garantir a segurança na fuga dos ocupantes da edificação. As mudanças físicas e mecânicas nas peças de concreto no decorrer de um incêndio podem ser diminuídas quando certos parâmetros de geometria e dosagem forem respeitados.

Desta maneira, este trabalho apresentará uma abordagem geral a respeito do comportamento do concreto armado em situação de incêndio.

## **1.1 PROBLEMA**

Concreto armado é um tipo de estrutura a qual se tem armações feitas com barras de aço, tendo este, uma ampla resistência á tração em comparação aos demais materiais de construção. Portanto, qual será o comportamento do concreto armado sob o efeito do fogo?

## **1.2 HIPÓTESES**

Pensando no comportamento do concreto armado sob o efeito do fogo, acredita-se que:

- a) com a ação do fogo perdem significativamente sua resistência, conforme for obtendo o aumento da temperatura, vai se aumentando sua perda, bem como, sua elasticidade que logo ficará abaixo dos níveis desejados;
- b) as armaduras presentes no concreto podem apresentar algumas características que poderão contribuir para o aumento do dano no elemento estrutural;
- c) o comportamento dos materiais quando efeito do fogo pode variar de acordo com a composição e características de cada material.

### **1.3 OBJETIVO**

#### **1.3.1 OBJETIVO GERAL**

Promover o conhecimento acerca do comportamento do concreto e aço diante a ação do fogo.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral citado, serão trabalhados os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar composição, função e contribuição do concreto armado nas edificações;
- b) conhecer o comportamento do concreto e do aço em situações de incêndio, bem como as medidas preventivas de incêndios em edificações;
- c) apontar os requisitos necessários para projetos sob a ação do fogo, segundo a ABNT NBR 15200:2014 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

### **1.4 JUSTIFICATIVA**

O concreto é um material amplamente utilizado nas obras civis, apresentando maior resistência quando agregado ao aço. Desta forma, quando o concreto armado uma vez submetido ao efeito do fogo, ou seja, em uma situação de incêndio, diversas patologias podem se manifestar em virtude desta solicitação.

Existem normas para a elaboração de projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio, portanto, quase não se houve falar sobre esse assunto, o qual mesmo os profissionais da área não se tem o conhecimento necessário para tal situação, uma vez que diante a graduação, não há nenhuma disciplina especifica para tratar do assunto, estruturas em situação de incêndio, no qual poderia de certa forma proporcionar uma experiência mais relativa para o conhecimento de todos. Por isso o estudo em questão justifica-se.

## **1.5 METODOLOGIA**

A pesquisa será de cunho bibliográfico, pois, segundo Gil (2008, p. 44), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

Tendo o tema abordado, serão dissertadas as causas e consequências do seu comportamento, assim como concepções consideradas essenciais para melhor percepção da questão que será a bordada a partir do material bibliográfico encontrado.

## **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O primeiro capítulo apresenta a introdução sobre o tema, juntamente com o problema de pesquisa, as hipóteses de estudo, objetivo geral e objetivos específicos, as justificativas, a metodologia utilizada e a definição estrutural da monografia.

O segundo capítulo apresenta a composição, função e contribuição do concreto armado nas edificações.

O terceiro capítulo aborda uma análise bibliográfica sobre o comportamento do concreto e do aço em situações de incêndio.

O quarto capítulo aponta os requisitos necessários para projetos sob a ação do fogo.

Já no quinto capítulo aborda-se as considerações finais acerca do tema abordado, apresentando os resultados alcançados.

## 2 COMPOSIÇÃO, FUNÇÃO E CONTRIBUIÇÃO DO CONCRETO ARMADO NAS EDIFICAÇÕES

O concreto armado manifestou-se no século XIX na Europa, de modo a resolver um problema muito preocupante encontrado naquela época, a qual se tinha a fraca resistência à tração do concreto como pedra artificial (BOTELHO, 2006).

Para Mehta e Monteiro (1994) o concreto armado é um material de construção decorrente da combinação do concreto simples e de barras de aço, conforme figura 1 e 2, misturadas pelo concreto, com excelente junção entre os dois materiais, de modo em que ambos resistam aos esforços a que forem submetidos.

Contudo, a definição do concreto armado inclui ainda o fenômeno da aderência, que é fundamental e deve obrigatoriamente existir entre o concreto e a armadura, visto que não bastam apenas juntar os dois materiais para compor-se o concreto armado. Para a existência do concreto armado é indispensável que haja real apoio entre ambos o concreto e o aço, e que o trabalho seja realizado de forma simultânea.

Pode-se indicar esquematicamente a composição do concreto armado da seguinte forma (SOUZA JÚNIOR, 2019):

- a) cimento + água = pasta
- b) pasta + agregado miúdo = argamassa
- c) argamassa + agregado graúdo = concreto
- d) concreto + armadura de aço = concreto armado.

**Figura 1** – Armaduras de aço recebendo o concreto ainda fluido.



Fonte: AVILA (2018)

O concreto armado apresenta, como material de construção, amplo número de vantagens: materiais econômicos e existentes com exuberância no globo terrestre; extensa facilidade de moldagem, permitindo aplicação das mais variadas

formas; equipamentos simples; alta resistência à ação do fogo; enorme estabilidade, perante ação de intempéries, recusando trabalhos de manutenção; extensão da resistência à ruptura com o decorrer do tempo; simplicidade e economia na construção de estruturas contínuas, ou seja, sem juntas (ANDOLFATO, 2002).

Além das vantagens, o concreto armado também apresenta suas desvantagens como: peso próprio exagerado; baixa proteção térmica; demolições e reformas, sendo elas trabalhosas e caras; exigência construtiva no que se diz respeito da precisão no posicionamento das armaduras; fissuras imprevisíveis na região tracionada; e construção definitiva.

O uso do concreto armado é fundamental nas demais variadas estruturas da Construção Civil. É possível emprega-lo, por exemplo, em obras de barragens, saneamento, viadutos, usinas hidrelétricas, prédios e pontes. O importante nessas aplicações é definir o uso do concreto comum ou protendido. Dessa forma, é essencial possuir o auxílio de um especialista da área. Com uma estrutura bem planejada e os cálculos corretos, o tipo mais adequado do material poderá atender ao necessário (AVILA, 2018).

Nos dias de hoje é o material mais utilizado na construção de estruturas de edificações e grandes obras viárias como viadutos, passarelas, pontes, e etc. Sua utilidade é conhecida em todo o mundo, visto que a estrutura de concreto armado em meios não agressivos, resiste mais de cem anos e sem manutenção (BOTELHO, 2006).

**Figura 2 - Concreto armado já endurecido.**



**Fonte:** AVILA (2018)

No Brasil, há dois tipos de concretos armados mais usuais nas construções, são eles: concreto armado comum e concreto protendido. O concreto armado é aquele que possui uma estrutura de aço por dentro, e por isso tem esse



nome. O concreto protendido, no entanto, além de possuir aço no seu interior, também possui cabos de aço tracionados e ancoradas no próprio concreto, aumentando sua resistência (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

As estruturas de concreto devem mostrar um nível satisfatório de qualidade e agir adequadamente durante sua construção e também ao longo de toda a vida útil especificada, suportando a todas as ações e ações ambientais passíveis de ocorrer e a situações acidentais, de modo que não apresente danos irregulares às causas de origem. Assim, o projeto estrutural tem a finalidade de verificar às estruturas esta capacidade de exercer devidamente suas funções, nas condições de uso previstas, de maneira a evitar custos altos e inesperados com seu reparo e manutenção.

Para Mather (1987), o meio técnico já possui de conhecimento suficiente para projetar, especificar e construir estruturas duráveis de concreto. Sendo possível gerar concretos resistentes às manifestações ambientais, apresentando decomposição tolerável durante um determinado período de tempo, de modo que sejam tomadas as devidas precauções, portando-se sempre em consideração a agressividade do meio ambiente.

Nota-se que as medidas mínimas necessárias para o domínio da qualidade de projetos estruturais de concreto armado, incluindo decisões e ações são essenciais, assim como as verificações que serão feitas, conforme as especificações e normas de cálculo, assegurando que todos os requisitos expostos sejam atendidos. O desafio atual resume, então, em garantir que o concreto não sofra danificação excessiva ao longo do tempo, mediante critérios apropriados, de forma que não seja necessário aumentar os custos. Além disso, o que falta no momento é a aplicação inteligente do conhecimento acessível e atualmente desenvolvido (MATHER, 1987).

O projeto estrutural deve ser realizado de forma a satisfazer os requisitos de qualidade estipulados nas normas técnicas, assim como considerar as condições funcionais, construtivas, arquitetônicas e exigências particulares, como resistência ao impacto de sismos, explosões ou ainda impactos relativos ao isolamento térmico ou acústico (BASTOS, 2006).

O projeto estrutural final deve garantir que as informações necessárias para a execução da estrutura, sejam constituídas por desenhos, critérios e

especificações de projeto. Podendo os critérios e as especificações de projeto se constar dos próprios desenhos ou constituir documento separado.

Por vida útil de projeto compreende-se o período de tempo permanente o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, contanto que sejam atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e também pelo construtor. Algumas partes das estruturas podem possuir vida útil diferente do agrupamento. No projeto objetivando a durabilidade das estruturas necessitam serem considerados, ao menos, os mecanismos de deterioração e envelhecimento da estrutura, pertencentes ao concreto, ao aço e também à própria estrutura (BASTOS, 2006).

Desta forma, as estruturas de concreto têm de ser projetadas e construídas de maneira que, quando empregadas conforme as condições ambientais dispostas no projeto, preservem sua segurança, aptidão e estabilidade em serviço, durante todo o período equivalente à sua vida útil.

### 3 COMPORTAMENTO DO CONCRETO E DO AÇO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO

O concreto é um material que demonstra baixa resistência à tração. Desta forma mostrou-se a necessidade de ligá-lo a um material que satisfatoriamente está disposto a suportar essas tensões de tração atuantes. Com esse material matizado surge então o chamado “concreto armado”. E, a fim de que exista o concreto armado, é fundamental que haja a correspondência entre ambos, ou seja, que o trabalho seja de forma simultânea (BASTOS, 2006).

O estudo do comportamento dos materiais em situação de incêndio é essencial para a verificação e dimensionamento da estrutura. O aumento da temperatura nos elementos estruturais causa redução no valor do módulo de elasticidade e perda de resistência, reversíveis ou não, de acordo com a intensidade desse aumento, podendo produzir esforços internos adicionais pertinentes à restrição dos nós nas estruturas convencionais conforme figura 3 (SOUZA, 2015).

Uma das características fundamentais do concreto é sua ampla resistência quando exposto ao fogo. Esta é maior até mesmo do que a de elementos de aço, fazendo com que o concreto frequentemente seja empregado para proteção de estruturas de aço (LIMA *et al.*, 2004).

**Figura 3** - Pilares e vigas em concreto armado comprometido após incêndio.



Fonte: CKC PASSIVE FIRE PROTECTION (2019)

As estruturas de concreto são caracterizadas pela sua agradável resistência ao incêndio sob a ação das características térmicas do material, por exemplo, tendo baixa condutividade térmica e incombustibilidade, o concreto não irá exalar gases tóxicos ao ser atingido por uma temperatura elevada devido as peças de concreto exibirem maior volume e massa quando comparados aos elementos metálicos (COSTA e SILVA, 2006).

Cánovas (1988) aponta que ao ser exposto à ação do fogo o concreto não aquece de imediato, pois a água existente neste na forma capilar ou livre começa a evaporar a partir dos 100°C. Entre 200°C e 300°C a água capilar evapora-se por inteiro e não provoca perda significativa na resistência do concreto.

Costa e Silva (2006) explicam que em meio todos os materiais que podem ser utilizados, pode-se afirmar que o mais aclamado nacional e internacionalmente, é o concreto armado. Dentre suas características têm-se mais atrativas são sua condutividade térmica baixa, incombustibilidade, baixo fator de massividade em seus elementos estruturais, e a não liberação de gases tóxicos ao ser submetido ao fogo, deste modo, em situação de incêndio as estruturas de concreto são conceituadas seguras.

As estruturas de concreto têm de ser consideradas como elementos extremamente complexos, as quais exibem uma grande variedade de características, de modo que procederá a sua maior ou menor adequação as soluções estabelecidas inicialmente pelo projeto.

Segundo Sousa e Silva (2015), é recomendado conhecer as propriedades térmicas do material, a fim de que seja feita a análise de estruturas expostas a elevadas temperaturas, em especial o calor específico, a massa específica, a expansão térmica, e a condutividade térmica.

Uma estrutura sob o efeito do fogo fica danificada em proporções diferentes em cada parte ao logo da mesma. Antes que se faça uma reparação ou reforço de qualquer parte que esteja danificada é fundamental que se faça uma inspeção total, de cada elemento minuciosamente a fim de prescrever a gravidade do dano e também qual a distorção nos outros elementos estruturais.

Além das propriedades térmicas, também é necessário conhecer as propriedades mecânicas do material, principalmente as resistências à tração e compressão, as relações tensão-deformação e o módulo de elasticidade. Geralmente, os modelos matemáticos que representam as propriedades mecânicas dos materiais em função do aumento da temperatura são obtidos através de resultados experimentais ou modelagens numéricas (COSTA, 2008).

A análise das estruturas tem como o incêndio caracterizado pela relação entre o tempo e a temperatura dos gases quentes. A gravidade do incêndio depende do uso da edificação e das características geométricas. Assim sendo, varia para cada edificação conforme figura 4.

O aumento da temperatura em um elemento estrutural ocasiona o surgimento de esforços que não foram anteriormente calculados no projeto. Estes esforços ocorrem devido às deformações térmicas da estrutura e limitam a resistência dos elementos construtivos (DIAS, 2009).

O concreto armado no momento em que é exposto a um incêndio está sujeito a elevadas temperaturas e a um calor considerável. Ao combater o incêndio com água ocasiona um choque térmico acarretando o surgimento de fissuras (BAUER, 2008).

**Figura 4 - Edifícios em situação de incêndio.**



Fonte: KOERICH (2019)

A ação do fogo pode ser considerada como uma alteração de origem física, por haver o aumento da temperatura, ainda assim, com o calor excessivo gerado por um incêndio ocasiona alterações na estrutura do concreto armado, nos levando a considerar patologias resultantes de incêndio como também de origem química.

O concreto armado possui bom comportamento quando comprimido e, pela correspondência entre o aço e o concreto, pode ser considerado um material “homogêneo” à temperatura ambiente. Quando exposto a temperaturas superiores a 100 °C, essa característica de material “homogêneo” se perde na medida na qual a temperatura aumenta, isso devido às transformações físicas, químicas e mineralógicas da sua matriz (COSTA, 2008).

As primeiras pesquisas sobre o comportamento do concreto armado submetido a altas temperaturas ocorreram no início do século XX e foram descritos por Mörsch, em 1948. A partir dos anos 50, numerosos pesquisadores empregaram procedimentos experimentais mais primorosos para averiguarem os efeitos térmicos

da degradação do concreto, os quais auxiliaram de base para as primeiras recomendações sugestões nos códigos internacionais para o projeto estrutural (BASTOS, 2006).

Mesmo que a probabilidade ser bastante pequena, a degradação estrutural de edifícios de concreto armado em situação de incêndio não é incomum. Pois, a perda de vidas humanas e bens materiais em situações de incêndio tem sido ao longo dos anos uma preocupação crescente, viabilizando assim o conceito de segurança contra incêndio e de diversos mecanismos agregados à sua limitação dos danos causados ou prevenção (COELHO, 2010).

Dentre as formas de degradação das estruturas de concreto, ressalta-se o fenômeno do lascamento, também conhecido como *spalling* que pode apresentar um caráter imprevisível, durante os primeiros minutos do incêndio conforme a figura 5. O lascamento é um fenômeno originado nas estruturas de concreto, no momento em que elas são expostas à altas temperaturas, uma vez que dentro da matriz do concreto manifestam-se tensões de origem térmica, que apresentam-se em forma de desintegração das regiões superficiais. Em determinados casos o lascamento pode ser provindo das naturezas mineralógicas do agregado e de elevadas tensões de compressão na seção transversal de concreto ao decorrer do sinistro (COSTA *et al.*, 2002).

**Figura 5 – Spalling em estrutura de concreto.**



**Fonte:** KOERICH (2019)

O concreto quando sólido é um material incombustível, com baixa condutividade térmica e não liberta gases tóxicos quando exposto ao calor. Apesar dessas qualidades apreciáveis, em situação de incêndio o concreto lasca (*spalling*) e fissa o que expõe a armadura ao calor e limita a área resistente.

#### 4 REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA PROJETOS SOB A AÇÃO DO FOGO

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) possui duas normas técnicas: a ABNT NBR 15200:2012 (Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio), que preza as estruturas em concreto na situação de incêndio e a ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto — Procedimento), aplicada no Brasil para qualquer tipo de edificação em concreto.

A NBR 15200:2012 é normalmente aplicada quando atendida a NBR 6118:2014 ou NBR 9062:2006 (Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado). Nesta norma são apresentados os conceitos de isolamento térmico e estanqueidade, sendo:

- a) Isolamento Térmico: a capacidade do elemento de compartimentação em impossibilitar os acréscimos de temperatura, na superfície não exposta, superiores à 140°C na média ou superiores a 180°C, em qualquer ponto.
- b) Estanqueidade: a capacidade do elemento de compartimentação em impossibilitar que, perante incêndio aconteçam aberturas por onde permeiem gases quentes ou chamas, de modo a provocar ignição de um chumaço de algodão.

Logo percebe-se que a resistência ao fogo logo se torna o tempo necessário para que um componente entre em colapso por resistência mecânica, isolamento térmico ou estanqueidade, de modo que quando sujeito ao ensaio padrão temperatura-tempo, este tempo coincide ao instante em que o colapso ocorre.

Silva (2012) relata que o nível mínimo de segurança contra incêndio, com a finalidade de segurança à vida ou ao patrimônio de terceiros é normalmente estabelecido por normas e códigos ou instruções técnicas firmadas por lei. Entretanto complementa que existem diferenças nas edificações de pequeno porte onde a desocupação pode dar-se de forma mais simples e rápida e em edificações de grande porte que, perante caso de um sinistro, é capaz de comprometer vidas e os arredores de forma mais heterogênea.

Sendo de forma crescente a preocupação com a segurança das vidas humanas e da segurança patrimonial, ao se desenvolver o dimensionamento de uma estrutura de concreto armado o Engenheiro Civil tem obrigação de ter conhecimento das normas técnicas construtivas como também das normas técnicas de segurança

para considerar as situações de extremas ocorrências inusitadas, tal como o caso de incêndios.

Para Reina (2010) muitos profissionais da área associam incorretamente a NBR 15200:2012 com as determinações de resistência ao fogo pré-estabelecidas de acordo com a NBR 14432:2001 (Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento), visto que o principal objetivo da NBR 15200:2012 é estabelecer medidas que evitem o colapso estrutural e atendam aos requisitos de isolamento, estabilidade e estanqueidade, de modo a limitar o risco da destruição prematura da estrutura, possibilitando a fuga dos usuários e as operações de controle e combate do incêndio.

Tendo a ação da alta temperatura, o concreto armado passa por uma redução nas propriedades mecânicas dos seus materiais, como a alteração no módulo de elasticidade do aço e do concreto e a perda na resistência característica, sendo capaz de causar colapso total ou parcial da estrutura (REINA, 2010).

De acordo com ABNT NBR 15200:2012 a resistência ao escoamento do aço da armadura passiva diminui com o aumento da temperatura, apresentando relação entre o fator de redução da resistência do aço, ou seja, a armadura passiva e a temperatura conforme figura 6.

**Figura 6** – Tipos de armaduras de aço.

#### ARMADURA PASSIVA



#### ARMADURA ATIVA



**Fonte:** ADAPTADA PELO AUTOR (2019)

Costa (2008) explica que no decorrer do incêndio ocorre diminuição da aderência entre concreto e aço, tornando possível o deslizamento das barras no interior do concreto ou a expulsão do cobrimento criando rupturas.

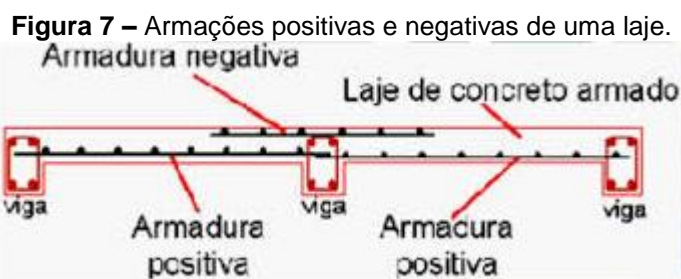
É indispensável que a estrutura seja compartimentada de maneira a evitar que o fogo se multiplique além do local de origem e que conserve a capacidade de estabilidade e suporte global da edificação, bem como a de cada elemento que a



compõe, garantindo dessa forma a função de evitar-se o colapso local ou global progressivo da estrutura.

Em situação de incêndio, vigas, lajes e pilares têm comportamentos característicos, os quais deveriam ser ponderados nos cálculos de modo que se reduzem as deformações. As vigas apoiadas estão mais expostas à ação térmica, devido não possuírem a prática de redistribuir seus momentos, o que faria com que aumentasse a resistência ao fogo. A viga contínua tem a superfície inferior exposta ao fogo, enquanto que a superfície superior apresenta-se relativamente fria. Essa situação é vista como favorável em atributo da capacidade das fibras superiores da viga de conseguirem suportar maiores momentos negativos, em função da resistência menos prejudicada. As fibras aquecidas da superfície inferior irão suportar o momento positivo de modo mínimo. Sendo assim, também pode ocorrer a redistribuição de momentos, do positivo para o negativo (ALBUQUERQUE & SILVA, 2013).

Conforme se tem a ação do fogo na superfície inferior, as bordas vão se dilatando sobre os apoios, ocasionando uma ação de compressão sobre os pilares e um comportamento sobre a região inferior da laje ou viga. Quando comparado à armadura de uma laje em situação de incêndio, nota-se que a armação negativa, afastada da superfície exposta ao incêndio, permanecerá fria, ao mesmo tempo em que a armação positiva conforme figura 7, estando em uma situação desfavorável, sofra perda de sua resistência através do aumento da temperatura.



Fonte: LOPES *et al.* (2016)

Elementos estruturais como lajes e pilares-parede podem cooperar para que o incêndio seja isolado, impedindo que o fogo se espalhe para outros pavimentos e gere instabilidade estrutural (COSTA, 2008).

A ABNT NBR 15200:2012 (ABNT, 2012), descreve que o uso de programas para a determinação da verificação do isolamento e da distribuição de temperatura deverá ser aceita se considerar de forma adequada à distribuição da temperatura na edificação. A norma ainda menciona que quando se torna

necessário atender aos requisitos de estanqueidade, poderá ser realizado ensaios experimentais do elemento o qual deve ter função corta-fogo. Todavia os métodos desenvolvidos de cálculo devem sempre levar em consideração, no mínimo:

- a) Precisamente a combinação excepcional das ações em situação de incêndio, com base na ABNT NBR (8681:2004 Ações e segurança nas estruturas – Procedimento);
- b) O aumento dos efeitos das deformações térmicas limitadas aos esforços solicitantes de cálculo, desde que sejam calculados por modelos não retos, capazes de considerar as amplas redistribuições de esforços ocorrentes;
- c) Os esforços resistentes deverão ser calculados portando consideração nas distribuições de temperatura, conforme o TRRF;
- d) Os cálculos das distribuições de resistência e temperatura deverão respeitar a ABNT NBR 6118:2014.

O incêndio, conforme estabelecido pela curva padrão (NBR 5628:2001), estabelecido durante o intervalo de tempo, (TRRF – Tempo Requerido de resistência ao fogo), produz em cada elemento estrutural um carregamento, conforme a distribuição de temperaturas nas peças. Segundo a NBR 15200:2012 esse recurso conforme já descrito, é encarregado pelo desgaste das características do material. Essa resistência às ações de incêndio precisa ser atendida através da associação excepcional, (conforme a NBR 8681:2006 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento), tornando-se aceitáveis colapsos localizados e ruínas, contanto que seja atendido ao critério principal de evacuação dos ocupantes. De toda forma a NBR 15200:2012, instrui que a estrutura passe por uma vistoria independente da força do sinistro ou necessidade de reforço estrutural para restauração das características originais.

A verificação das estruturas submetidas às elevadas temperaturas estão em primeiro momento voltadas à proteção as vidas presentes na edificação e nas redondezas, o qual somente depois de atendidas essas primeiras situações, que o foco à propriedade seja relevante, necessitando para tal ser atendido a função de suporte e corta-fogo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na pesquisa em questão foi apresentado o comportamento e as particularidades do concreto e do aço em situação de incêndio. O qual ficou claro que, quando sujeitas a altas temperaturas, as estruturas de concreto armado sofrem efeitos prejudiciais, com ação negativa em suas propriedades levando também em consideração sua perda de resistência e rigidez. Cada fenômeno é diferente do outro e sempre há probabilidade de ocorrência de alguma situação excepcional, mas quando seguem todos os requisitos e suas aplicações sejam corretas, evidentemente haverá uma redução da probabilidade de ocorrência de um incêndio.

As estruturas de concreto armado quando não estão dimensionadas de acordo com normas de proteção contra incêndio acabam por se danificar devido à perda significativa de sua resistência inicial. As correções das patologias resultantes da ação do fogo devem ser executadas necessariamente por um profissional capacitado. As estruturas dimensionadas de acordo com normas de proteção contra incêndio também se tem patologias, porém o dimensionamento beneficia a uma minimização dos danos sofridos pelas estruturas.

A área de segurança estrutural em situação de incêndio já evoluiu bastante, no entanto ainda requer desenvolvimento e aprimoramento de novos meios de cálculo, sendo mais práticos e precisos de modo que o objetivo das regulamentações atuais de proteger a vida seja globalmente alcançado.

A segurança de estruturas quanto à situação de incêndio é uma área bastante complexa e importante, visto que o fogo é um fenômeno influenciado por muitos parâmetros. Deste modo, não é possível se obter a certeza absoluta contra a ocorrência de um incêndio, incentivando o estudo do comportamento de estruturas, como também as medidas de prevenção e combate a incêndios admissíveis ao projetista.

Por muito tempo, a segurança contra incêndio foi inserida em segundo plano no país. Atualmente, sua importância já é reconhecida, e a tendência é que este tema se progrida cada vez mais ao longo dos anos. Incorporado neste tema, a verificação da segurança das estruturas em situação de incêndio está ganhando destaque no meio técnico. O qual seu principal objetivo é diminuir os riscos de colapso da edificação de modo que ela resista tempo suficiente para que aconteça uma evacuação completa de pessoas que estejam no local.

Portanto, o projeto de uma edificação para que haja segurança em situação de incêndio, tem obrigação de levar em consideração diversos fatores, o qual passa principalmente pela aplicação correta das normas e legislações, como também as instruções técnicas que dominam sobre esse assunto e também pela fiscalização dos órgãos competentes. Ainda que os engenheiros já formados não possuam disciplinas voltadas para segurança contra incêndio em sua graduação, as normas e instruções devem ser seguidas.

Com esse trabalho, nota-se que a responsabilidade de um engenheiro vai muito além das normas construtivas de uma obra, sendo capaz de impactar em vidas humanas. Ou seja, no caso de ocorrência de um sinistro, o projetista da edificação deverá assegurar que ocorra o mínimo impacto possível na estrutura. Mesmo que o homem não seja capaz de controlar o fogo, ele pode reduzir seus efeitos em edificações. Isto é, engenheiros que seguem aos requisitos mínimos exigidos em normas e instruções técnicas, podem impressionar positivamente no caso de ocorrência de incêndio em edificações.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, G. B. M. L.; SILVA, V. P. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio por meio gráfico**. Rev. IBRACON Estrut. Mater: São Paulo, v. 6, n. 4, ago. 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S198341952013000400002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198341952013000400002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 06 ago. 2019.

ALMEIDA, M. **Verificação da segurança estrutural de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. 2018. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2002, p. 02-03. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Controle%20tecnologico%20basico%20do%20concreto.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628:2001**: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118:2014**: Projeto de estruturas em concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 8681:2003**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 15200:2012**: Estruturas de Concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

AVILA, Matheus Almeida. **Concreto Armado: O que é? Estruturas, Vantagens e Desvantagens**. 2018. Disponível em: <<https://www.totalconstrucao.com.br/concreto-armado/>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

BASTOS, P. S. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula, fundamentos do concreto armado. UNESP- Campus Bauru-SP. 2006.

BAUER, F. **Materiais de Construção**. 5 ed revisada, v.1. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo, para arquitetos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, p. 34.

COELHO, A. L. **Incêndios em edifícios**. Editora Orion, primeira edição – outubro de 2010.

CKC, P. F. P. **Proteção de Concreto e Alvenaria: Concreto e Alvenaria Expostos ao Fogo**. Disponível em: <<https://www.ckc.com.br/index.php/aplicacoes/272-protecao-de-concreto-e-alvenaria.html>>. Acesso em: 20 out. 2019.

CÂNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Editora Pini, São Paulo, 1988.

COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D.; SILVA, V. P. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica**. Instituto Brasileiro de Concreto – 44o Congresso Brasileiro. 2002.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **O método do tempo equivalente para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2006.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2008.

DIAS, L. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 7 ed. São Paulo: Zigurate, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

KOERICH, R. **Incêndio em prédios: como o projeto estrutural influencia um colapso**. Disponível em: <<https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/incendio-em-predios/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

LIMA, R. C. A.; KIRCHHOF, L. D.; CASONATO, C. A.; SILVA FILHO, L. C. P. **Efeitos de altas temperaturas no concreto**. II Seminário de Patologia das edificações. Porto Alegre, RS. 2004.

LOPES, E. R. L. *et al.* **Armaduras**. 2016. Disponível em: <<http://edificios.eng.br/concreto%20seminario%20Armaduras.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

MATHER, K.; MATHER, B. (1987). **Reflections on concrete durability and on international conferences on concrete durability**. In: KATHARINE AND BRYANT MATHER INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE DURABILITY, Atlanta, USA, 1987. Detroit, ACI. v.1, p.1-5. (ACI SP 100).

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994, p. 01-02.

REINA, A. G. R. **Dimensionamento de elementos de concreto à flexão simples em situação de incêndio**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. 2010.

SOUSA, D. A.; SILVA, G.P. **Estruturas de concreto em situação de incêndio**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. 2015.

SOUZA JÚNIOR, T. F. **Estruturas de concreto armado**. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

SILVA, V. P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme NBR 15200:2012**. São Paulo: Blucher, 2012. 237 p.

VESPASIANO, A. B. R. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio: ESTUDO DE CASO**. 2016. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Coeci - Coordenação de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2016.