

Análise comparativa da influência do aquecimento e resfriamento na resistência do concreto

Comparative analysis of the influence of heating and cooling on concrete strength

Análisis comparativo de la influencia de la calefacción y el enfriamiento en la resistencia del hormigón

Recebido: 09/06/2019 | Revisado: 12/06/2019 | Aceito: 27/06/2019 | Publicado: 27/06/2019

Pedro Emílio Amador Salomão

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9451-3111>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: pedroemilioamador@yahoo.com.br

Rodrigo Silva Colares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4254-7023>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: rscolares2@hotmail.com

Fabiano Mendes Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5046-6640>

Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil

E-mail: famemper1@hotmail.com

Acly Ney Santiago de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-7211>

Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil

E-mail: aclyney@gmail.com

Resumo

A elaboração deste artigo ocorreu após uma pesquisa na qual foi estudada atentamente a análise comparativa da influência do aquecimento e resfriamento na resistência do concreto. Para isso, foram feitos testes em laboratório, além da realização da confecção do concreto em betoneira, onde observou-se que a utilização do traço do material acima mencionado, refere-se à resistência característica da compressão de 25 Mpa. A pesquisa ainda fez um estudo comparativo entre o concreto natural e outro que foi exposto a temperaturas elevadas, em um forno a gás e logo após retirado, submetido a um resfriamento com água, cujo objetivo é analisar o controle e qualificação desse concreto. Conforme dito anteriormente, os ensaios

foram todos feitos em laboratório com a finalidade de demonstrar a influência em temperaturas elevadas e em sequência, sua queda instantânea, onde foi executado um traço de concreto, que moldaram 25 corpos de prova dos quais doze foram feitos para comprovar se o traço contém a resistência característica necessária. Como os testes foram efetuados após sete dias, vinte e um dias e vinte e oito dias, foi observado que em todos eles, o concreto não ganhou resistência, e sim, perdeu grande parte da mesma, chegando a uma redução de 66,74%. Isso chama a atenção para a importância de se ter conhecimento do material e seu comportamento, visto que um incêndio em estruturas como as analisadas, pode acarretar volumosos casos de óbitos e perdas materiais. Sendo assim, é de extrema importância fazer tal avaliação, para evitar possíveis tragédias.

Palavras-chave: concreto; resfriamento; aquecimento; resistência

Abstract

The elaboration of this article occurred after a research in which the comparative analysis of the influence of heating and cooling on concrete strength was studied. For this, tests were carried out in the laboratory, in addition to the concreting of the concrete in concrete mixer, where it was observed that the use of the trace of the material mentioned above, refers to the characteristic resistance of the compression of 25 Mpa. The research also made a comparative study between natural concrete and another that was exposed to high temperatures, in a gas furnace and soon after removed, subjected to a cooling with water, whose objective is to analyze the control and qualification of this concrete. As previously stated, the tests were all done in the laboratory in order to demonstrate the influence at high temperatures and in its instantaneous drop, where a trace of concrete was executed, that shaped 25 specimens of which twelve were made to prove if the trace contains the required characteristic resistance. As the tests were carried out after seven days, twenty-one days and twenty-eight days, it was observed that in all of them, the concrete did not gain resistance, but lost much of it, reaching a reduction of 66.74%. This draws attention to the importance of being aware of the material and its behavior, since a fire in structures such as those analyzed can lead to massive cases of death and material loss. Therefore, it is extremely important to make such an assessment, to avoid possible tragedies.

Keywords: Concrete ; cooling ; heating ; resistanc

Resumen

La elaboración de este artículo ocurrió después de una investigación en la que se estudió

atentamente el análisis comparativo de la influencia del calentamiento y enfriamiento en la resistencia del hormigón. Para ello, se realizaron pruebas en laboratorio, además de la realización de la confección del hormigón en hormigón, donde se observó que la utilización del traza del material arriba mencionado, se refiere a la resistencia característica de la compresión de 25 Mpa. La investigación aún hizo un estudio comparativo entre el concreto natural y otro que fue expuesto a temperaturas elevadas, en un horno a gas y luego después de retirado, sometido a un enfriamiento con agua, cuyo objetivo es analizar el control y calificación de este concreto. En los últimos años, los ensayos se realizaron en laboratorio con la finalidad de demostrar la influencia en temperaturas elevadas y en secuencia, su caída instantánea, donde se ejecutó un trazado de concreto, que moldeó 25 cuerpos de prueba de los cuales doce fueron hechos para comprobar si el traza contiene la resistencia característica necesaria. Como las pruebas se efectuaron después de siete días, veintiún días y veintiocho días, se observó que en todos ellos, el hormigón no ganó resistencia, sino que perdió gran parte de la misma, llegando a una reducción del 66,74% . Esto llama la atención sobre la importancia de tener conocimiento del material y su comportamiento, ya que un incendio en estructuras como las analizadas, puede acarrear voluminosos casos de muertes y pérdidas materiales. Por lo tanto, es de extrema importancia hacer tal evaluación, para evitar posibles tragedias.

Palabras clave: hormigón; enfriamiento; calentamiento; resistencia

1. Introdução

O concreto armado é muito utilizado no mundo das construções. Visto que garante a ascensão da resistência a constrição e intempéries, cujo custo benefício relativamente baixo se comparado a outros dispostos no mercado.

Com a extensão dos centros urbanos e periferias, avolumou também material combustível acumulado nesses locais. Com isso a quantia de incêndio aumentou e vem aumentando ainda mais nas construções civis. Com o acréscimo de edificações deterioradas por motivo de incêndio, houve em alguns casos a restauração do mesmo, e isso motivou o estudo do proceder do concreto estrutural após ter sofrido o incêndio.

O aquecimento da temperatura dos componentes estruturais, desinente da atuação térmico devido à combustão, causa modificação na micro e macroestrutura do concreto. Na

ascendência da temperatura consegue acarretar efeitos diferentes no mesmo, como mudança na coloração ,desintegração superficial , ausência de resistência mecânica e micro fissura com agravamento para fissura até a desagregação da estrutura.

Segundo Limaet (2004), a matéria prima que está presente no concreto das quais os elementos tem que ser levados em conta, quando analisados o estudo do mesmo, conduzindo a temperaturas elevadas, visto que os agregados e a pasta de cimento são considerados elementos que se alteram e se recompõem em menor ou maior grau com a exposição ao aquecimento. Na mesma linha, para Figueiredo (2002), Os motivos capazes de colaborar para o colapso de uma estrutura, estão diretamente relacionados ao tempo de exposição, ao calor, ao traço de concreto, elementos da estrutura e agilidade no resfriamento.

A dimensão da peça, a aquosidade inicial que compõe tal elemento e o número de crescimento da temperatura, assim como pode influenciar na perda de resistência, também pode conduzir o desenvolver das pressões afundas dos produtos gasosos em deterioração.

A estrutura das aberturas existentes no material é de larga relevância para o acontecimento de desmembramento de placas, sendo que a estrutura específica do concreto de baixa resistência é qualificada por uma rede extensa de aberturas, com espaços maiores, que simplifica a evasão do vapor de água, substanciando a poro-pressão. Já a microestrutura mais espessa ou com espaços mais finos, dificulta a movimentação do vapor, agravando o acontecimento. (SALOMÃO, P. E. A. (2018))

O presente estudo se justifica pela relevância que tem o concreto em circunstância de incêndio, visto que atualmente tem aumentado muito o número de incêndios no Brasil, considerando – se que os estudos voltados para essa área ainda são insuficientes. Para alcançar o objetivo proposto, foi definido como meta específica apresentar, através de teste em laboratório, comprovar o que muitos estudiosos declaram sobre a modificação na coloração, baixa resistência, etc. Bem como, conhecer outros comportamentos e características na qual o concreto está exposto.

Concreto

É a mistura do agregado miúdo, ou seja, (areia e cimento) com agregado graúdo (brita) mais Água. Os agregados de constituição do concreto podem sofrer variações adaptando a necessidade de cada região, pois o mesmo está presente em todas as fazes da construção civil. Para a confecção do traço de concreto é necessário atender as necessidades e resistência exigidas pela NBR Norma Brasileira (7211) 2005 agregados para o concreto:

“Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnica ABNT - NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Agregado Graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT - NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR N ISO - Sigla de International Organization.”

Além das exigências citadas acima, pela norma, há alguns outros fatores que influenciam diretamente na resistência do concreto no nível de umidade dos agregados para que o mesmo tenha preenchido os espaços vazios para estabelecer a relação de água cimento. (Cristina, P. (2018))

O transporte de materiais até o local de aplicação deve ser com cuidado para não haver alteração na mistura, evitando que ele fique em contato com agentes contaminantes. (SALOMÃO, P. E. A. 2018)

O adensamento do material nas formas também deve ser cuidadoso, pois vibrado em excesso pode ocorrer separação dos agregados, com isso havendo queda da resistência da peça. A cura do concreto, também, deve ser seguido corretamente os processos para que obtenha a peça com as exigências corretas. (FIGUEIREDO, COSTA COSTA E SILVA. 2002)

2. Incêndio na Construção Civil

Para compreender sobre o incêndio na construção civil é necessário entender todos os processos que contribui para esse princípio e propagação do mesmo em um prédio.

Fogo

Segundo a NBR - Norma Brasileira (1997) define o fogo como “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”. Também existe o processo do tetraedro que exemplifica o processo do fogo.

O tetraedro do fogo é formado por quatro elementos que são: o comburente, o calor, o combustível e a reação em cadeia. O calor é o componente que inicia o incêndio, e o comburente (oxigênio) é de grande importância para o processo de combustão. O combustível desempenha a função de alastramento do fogo e a reação em cadeia torna o procedimento de combustão autossustentável (BRITTEZ e COSTO, 2011)

2.1 Processo de transferência de calor

O calor é um tipo de energia que é capaz de ser transmitida de um corpo para outro com diferentes temperaturas. A transferência de calor pode ocorrer de três formas diferentes: condução, convecção ou radiação como mostra a (FIGURA1).

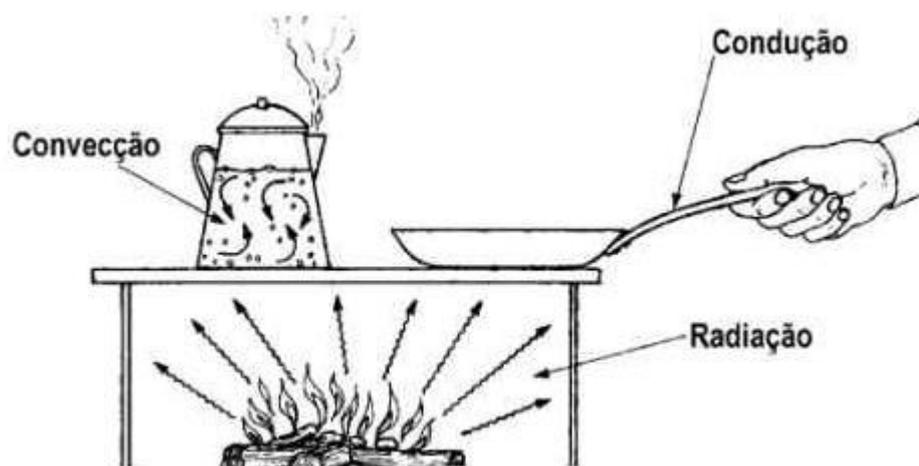


Figura 1 – Mecanismos de Transmissão do Calor

Fonte: Grimm (1999)

Condução é o processo da transferência de calor que ocorre por conduzir a meios que sejam ligados diretamente, na qual o calor flui do meio com a temperatura mais baixa ou do meio com a temperatura mais elevada. A possibilidade que ele tem de direcionar esse calor, denominado de condutibilidade térmica, podendo variar significativamente sendo os materiais com maior valor de condução chamados de condutores e os de valores baixo identificados como isolantes (BARROSA, 2004 e GRIMM, 1999).

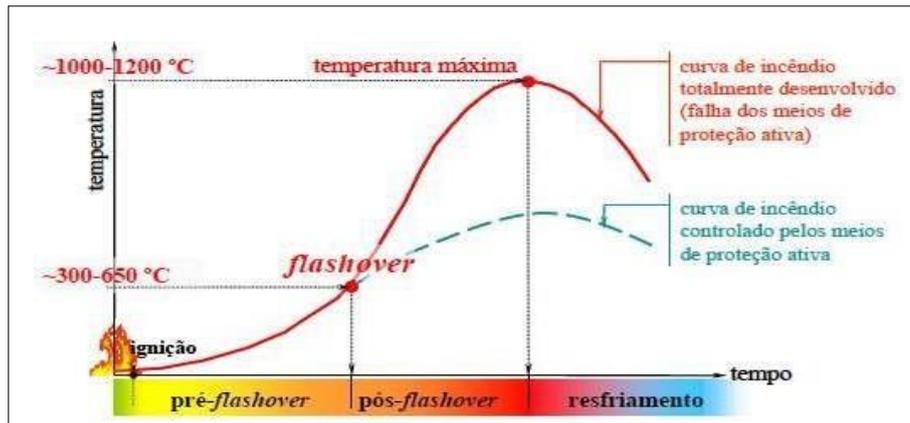
Convecção é identificada pela propagação de calor entre um sólido ou líquido, um fluido ou um gás. No fluido há ampla mobilidade das partículas, na qual estas se movimentam para os lugares em que as temperaturas são inferiores. Essa agitação dos fragmentos gera a transmissão de energia (BARROSA, 2004).

As ondas magnéticas das Radiações contêm a aceleração da luz que transmite a caloria entre os corpos separados no espaço, isto é, neste procedimento, não há necessidade de contato físico, com o objetivo que a energia na forma de calor seja transportada. As ocorrências podem ser explicitadas junto à forma da radiação solar na terra. (BARROSA, 2004 e GRIMM, 1999)

2.2 O incêndio

Incêndio é uma ocorrência de fogo não controlado, colocando em risco a vida de seres vivos. A figura 2 mostra os principais estágios de um incêndio.

Figura 2 - Etapas de um incêndio real.



Fonte: Costa (2008).

No estágio da ignição há dois passos: o primeiro, acontece quando há unicamente uma moderada combustão com falta de chama e irradiação de gases tóxicos. A etapa seguinte é quando há diversas chamas, fumaça e ascensão da temperatura (OLIVEIRA, 2013).

De acordo com repostas dadas por Silva (2004), nesta fase não há risco de vida nem do rompimento da estrutura, porém, Sano (2013), mostra um perigo devido à inalação dos gases que sejam capazes de ser liberados pelos componentes em combustão. No momento em que o prédio dispôr de equipamentos de prevenção de incêndio e tenderem a utilizar para impedir a progressão do incêndio na fase de ignição, não existirá a necessidade de fazer uma análise estrutural. (SILVA, 2004).

Alguns autores acrescentam que possui uma fase média entre a fase de ignição e a fase de *flashover*: a *pré-flashover*, na qual ocorre um aumento muito veloz na temperatura, só irá haver propagação incêndio, se o local afetado houver combustível suficiente e ventilação para a propagação. (COSTA, 2008).

No ponto de *flashover*, não apresenta mais o domínio do incêndio. A temperatura expande subitamente aumentando o processo de queima dos materiais existentes. Bem como a *pré-flashover*, alguns autores consideram a *pós-flashover*, no qual o incêndio está próximo de atingir a sua temperatura máxima (COSTA, 2008).

Cargas de incêndio

De acordo com definição da NBR (14.432) - 2002, carga de incêndio é definida como “a soma das energias caloríficas possível de serem liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis em um espaço, inclusive os revestimentos das paredes, divisórias, pisos e tetos”.

Para melhor exemplificar o potencial de incêndio está sendo mostrada pela tabela 1 e 2 que foi retirado da instrução técnica número 09 do Corpo de Bombeiro de Minas Gerais (2001) e da norma técnica número (01) 2014:

Tabela 1 - Cargas de Incêndio por Ocupação (Decreto estadual nº46.076/01)

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio MJ/m ²
Residencial	Alojamentos estudantis	A-3	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300

Fonte: Adaptada da Instrução Técnica nº 09 (2001).

Como pode ser visto na (TABELA 1), há uma descrição dos tipos de ocupação residências, na qual é feito um estudo e mostrado as cargas de incêndio. Ao passo que na (TABELA 2) é mostrado às classificações de áreas de risco quanto a carga de incêndio.

Tabela 2 – Classificação das edificações e áreas de risco quanto à carga de incêndio:

Risco	Carga de incêndio em MJ/m ²
Baixo	Até 300 MJ/m ²
Médio	Acima de 300 até 1.200 MJ/m ²
Alto	Acima de 1.200 MJ/m ²

Fonte: Adaptada da Instrução Técnica nº 09(2001).

2.3 Água

A água é um componente formado por um átomo de Oxigênio (O₂) e dois átomos de hidrogênio (H₂) gerando a molécula H₂O. As características únicas da água são devidas aos tipos de ligações químicas e sua estrutura atômica, bem como a forma como as moléculas do mesmo se associam nas fases sólidas, líquidas e gasosas. Sendo esse elemento que existe na natureza em três estados, o caminho entre um estado e outro, envolve um rearranjo das moléculas dos seus agregados necessitando de bastante energia para ferver a água ou derreter o gelo, posto isto os meios aquáticos são apontados como moderadores climáticos. De acordo com (SILVA et al. 2013):

A temperatura específica da Água é a porção de energia essencial para aumentar em 1°C a temperatura de 1Kg de água que encontra-se a 14,5°C. Ela é o elemento com máximo calor específico em 1,0 cal/g °C, ou seja possibilita capacidades grandes de armazenar calor com baixa mudanças de temperatura.

Incêndios em estruturas ocorridos no Brasil

Analisando os históricos de incêndios em estruturas, foram encontradas várias situações ocorridas no Brasil, como podemos citar: Boate Kiss, Edifício Andraus, Museu Nacional e Edifício Joelma, edificações antigas e atuais com grande marco na sociedade. (LIMA, R.C.A. et al. 2004):

Boate Kiss: No dia 27 de janeiro de 2013, o Brasil novamente conviveu com um dramático incêndio que ocorreu na discoteca Kiss situada no Rio Grande do Sul na cidade de Santa Maria. O incêndio foi causado por um sinalizador disparado no palco em direção ao teto por um integrante da banda que se apresentava no local. A imprudência e as más condições de segurança ocasionaram a morte de 242 pessoas e 680 feridos. (RORATTO,2013)

Figura 3: incêndio na boate Kiss



Kiss Fonte: Roratto (2013).

Edifício Andraus

Em 24 de fevereiro de 1972 ocorreu um incêndio no edifício Andraus, na cidade de São Paulo (FIGURA 4). É um prédio localizado no centro da cidade, com 115 metros de altura e 31 andares construídos em concreto armado. Acredita-se que início do fogo ocorreu em cartazes de publicidade colocados sobre a marquise do prédio. Deste acontecimento resultaram em 16 mortos e 336 feridos. (SEITO et al. 2008).

Figura 4 – Incêndio no Edifício Andraus e reforma após incêndio.



Fonte: Nascimento (2008)

Museu Nacional

Entre os dias 02 e 03 de setembro de 2018, ano que completou 200 anos de existência o



Museu
Nacion
al,
maior
institui
ção
museol
ógica

brasileira, localizado na Quinta da Boa Vista no Bairro de São Cristóvão na cidade do Rio de Janeiro (FIGURA 5), ocorreu um dos incêndios mais trágicos com perda irreparável não só para a memória e o patrimônio cultural do Brasil, mas da humanidade. (DA COSTA. (2018))

Figura 5 – Figura do Museu Nacional

Foto: Reprodução/TV Globo

Foto: Marcello Dias / Futura Press

Edifício Joelma

No dia 01 de fevereiro de 1974, o incêndio no edifício Joelma localizado em São Paulo (FIGURA 6) mostrou quanto o projeto contra incêndio não era levado a sério no Brasil. O ocorrido deixou 179 mortos e mais de 300 feridos, foi um dos incêndios mais dramáticos da história brasileira. A causa que levou ao incêndio foi sobrecarga elétrica em uma instalação de ar condicionado no 12º andar. (SEITO et al. 2008).

Figura 6: Incêndio no Edifício Joelma



Fonte: Seitoetal. (2008)

2.4 Efeito das altas temperaturas

A parte estrutural do concreto é heterogênea e obscura, sendo capaz de ser mostrada com detalhe por partículas de rochas com situações e medidas diversificadas, partilhado de uma pasta endurecida de massa contínua (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Estudos de Lima et al. (2004) mencionam que em situações microscópicas a estrutura do concreto é mais intrincada, uma vez que as fazes da parte estrutural não se encontram distribuídas homogeneamente, em relação uma com a outra nem são em si mesmas homogêneas. É capaz de acontecer casos na qual o material seja bastante denso, comparável ao agregado miúdo e graúdo, em que a pasta é extremamente porosa predominando uma estrutura com vários capilares. Com a presença do agregado graúdo constitui uma descontinuação na pasta, ocasionando desigualdade significativa na estrutura,

em local próximo a mesma. Esta área de interação entre a pasta de cimento e os fragmentos de agregados, apresenta-se como uma camada delgada e é chamada de zona de transição. Normalmente a zona de transição por acumulação de fluido, tem menor resistência que as demais etapas do concreto.

A pasta é um material que contém grandes partes de água capilar e água absorvida, que evapora com a expansão da temperatura, gerando um aumento de pressão de vapor dentro dos poros. Quando esta pressão se torna muito, provoca lascas superficiais conhecidos como Spalling (SOUZA, 2005).

Agregados silicosos que contêm quartzo em sua composição, sofrem transformações significativas, como expansão volumétrica de 5,7% aos 570°C, devido à transformação da forma cristalina do quartzo de α em β que causam fissuras radiais ao redor dos agregados. Os agregados, calcários, tornam-se instáveis em torno dos 600°C quando começa sua decomposição (NEVILLE, 2016).

Cada incêndio que acontece em uma estrutura principia com particularidade própria do elemento combustível existente na localidade, entretanto, todos possuem uma característica em comum, que são o acréscimo sucessivo de temperatura, o topo desta e o declínio do mesmo. No momento em que possuem locais com substância combustível de elevado poder de calor, o incêndio pode atingir temperaturas altíssimas a uma velocidade muito alta. Já, onde dispõe de materiais que possuem mesmas energias caloríficas, é capaz de demorar mais tempo para chegar a atingir um cenário grave.

Conforme Costa e Silva (2002), o efeito *spalling* são pequenas explosões causadas pela liberação das pressões internas que podem ser observados nos primeiros 30 minutos do incêndio.

Segundo Rosso (1975) apud Morales, Campos Fragallo(2011, p. 50-51), São vários os efeitos de temperatura no concreto através da temperatura, sendo as seguintes:

100-500°C – Lascamento, “explosivespalling”, início do processo de desidratação do gel de C-S-H, que se intensifica em 300°C e prossegue até próximo de 400°C;
200°C – idem e retração por perda de água da tobermorita e dilatação dos agregados;

- 300 – 400°C** – Redução da água do gel com a formação de silicatos anidros ocorrendo fissuras superficiais;
- 400 – 500°C** – Idem e retração acentuada por desidratação do hidróxido de cálcio;
- 500 – 600°C** – Desidratação mais rápida do hidróxido de cálcio;
- 575°C** – Expansão do quartzo na transformação de alfa para beta, com fissuração da matriz cimentícia;
- 600°C e 700°C** - Transformações de outros agregados; O CaCO_3 começa a se transformar em CaO e a liberar CO_2 .
- 800°C** – Retração por perda de água combinada da tobermorita;
- 870°C** – Expansão do quartzo na transformação de beta em tridimita.

Dando sequência à análise, segundo o autor, com início do aquecimento a 300°C, inicia com várias destruições dos elementos estruturais na resistência mecânica. A partir dos 500°C as expansões sucedidas no concreto de agregados com sílica, das quais a partir de 300°C a coloração do concreto começa a mudar de tonalidade até atingir a casa dos 600°C a mesma pode variar de tons róseos e vermelhos pálidos devidos às alterações dos compostos de prova acima de 600°C, ela varia de cinza claro a amarelo claro, além da modificação na tonalidade, a observação aparente das superfícies sujeitas a sinistros é capaz de apontar dados importantes sobre os níveis de temperatura.

Os vazios capilares que estão contidos no concreto são de tamanhos diferentes. Quanto maior a quantidade de espaços vazios, maior a temperatura de congelamento da água nele contida. A existência da água em estados físicos diferente no concreto, envolvendo em níveis de energia diferentes, causando a depleção da água dos capilares menores para os maiores, pois quanto maior o grau de saturação menor o capilar do mesmo, maior será o nível de energia da água nele contida. Este fenômeno é chamado de difusão capilar e principia na massa-gel, visto que possuem os menores vazios no concreto. (LIMA et al. 2006).

De acordo com os estudos de Powers (1949) o vazio de ar existente na pasta delimita a pressão hidráulica e o desenvolvimento dos cristais de gelo pela difusão da água-gel ou água capilar, em conformidade do distanciamento entre estes vazios ($L_{\text{crítico}}$). A incorporação de $6\pm 1\%$ de ar no concreto para proteção da ação do congelamento, entretanto os vazios deverão estar aproximados um dos outros, de forma que o diâmetro dos próprios seja em média, a distância entre suas paredes.

3 METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo, foi executada uma pesquisa bibliográfica nos trabalhos e livros relacionados ao conteúdo com a finalidade de aprimorar os conhecimentos sobre o mesmo e ter uma base teórica e prática com relação a patologias que ocorrem no concreto e quais são as precauções e mecanismos a serem empregados.

Após pesquisas experimentais como descrito anteriormente, realizou-se um estudo de caso, na qual foi esclarecida a consequência do aquecimento e resfriamento na resistência característica do concreto, visto que as estruturas estão a todo momento sujeito em menor ou maior grau de exposição a incêndios, sejam eles decorrentes de eletricidade com isolamento precário ou mal executado, excesso de material combustível em local impróprio, ou vazamento de gás, etc.

O agregado miúdo, também denominado de areia, é uma das matérias-primas que compõe o traço e foi desenvolvido neste ensaio usando a areia média derivada da moagem de rochas estáveis em concordância com a granulometria e o módulo de finura indicado abaixo na TABELA 3.

Tabela3 - Características do agregado miúdo

Características do agregado miúdo	
Modulo de finura	4,80mm
Diâmetro máximo	Média
Massa específica	1700,5Kg/m ³
Umidade	3%

Fonte: Autoria própria (2019).

O agregado graúdo de utilização foi brita nº 0. O traço realizado foi utilizado um diâmetro do referido agregado com massa específica conforme relatado abaixo na TABELA 4.

Tabela 4 – Características do agregado graúdo

Características do agregado graúdo

Massa específica	1400 Kg/m ³
Diâmetro Máximo	12,0 mm

Fonte: Aatoria própria (2019).

O agregado graúdo utilizado foi brita nº 1. O traço realizado foi utilizado um diâmetro do referido agregado, com a massa específica conforme relatado abaixo na TABELA5.

Tabela 5 – Características do agregado graúdo

Características do agregado graúdo	
Massa específica	1400
Kg/m ³	
Diâmetro	Máximo
19,0mm	

Fonte: Aatoria própria (2019).

É a parte que tem a responsabilidade de realizar a hidratação do cimento e de lubrificar os agregados aumentando a ligação entre as etapas. Para o ensaio aqui proposto foi utilizado à água fornecida pela rede de distribuição do município e a quantidade a ser aplicada no traço foi calculada em litros.

A dosagem do concreto foi calculada de acordo com o método estabelecido pela tabela Caldas Branco, para obter a quantidade de material necessário para utilizar na mistura, atingir uma boa resistência mecânica, durabilidade e economia.

Após ser definido o traço foi realizada a quantidade dos materiais, para confecção de 25 corpos de provas, o traço foi elaborado em betoneira mecânica para uma melhor mistura dos agregados, todos os agregados graúdos e miúdos foram medidos em massa e a água foi medida em volume.

O *slumpteste* (FIGURA 7) foi executado conforme exige NBR NM (67)1998 O formato contém o tipo de um tronco de cone oco, contendo medida da base superior 100 mm, base inferior de 200mm e altura 300mm. A haste de compactação possui seção circular, reta, feita

de aço ou outro material apropriado com 16 mm de diâmetro, altura de 600 mm e extremidades abauladas.

A chapa de suporte com a finalidade de apoio do molde; deve ser metálica, quadrada ou retangular, plana, espessura igual ou superior a três mm com lados de dimensão não inferior a 500 mm. O operador deve posicionar-se com os pés na parte superior das aletas encher o molde com três camadas, cada uma com aproximação de um terço da altura do molde compactado e acamada deve ser com 25 golpes com a haste de socar.

A compactação da camada inferior deve ser em toda a sua espessura, a segunda camada e a camada superior devem ser compactadas da mesma forma da primeira, mas com cuidado para que os golpes apenas penetrem na camada anterior, a retirada deve ser cuidadosamente na direção vertical a operação deve ser realizada em 5 s 10s depois medir o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova.

Figura 7 – *Slumptest*



Fonte: Aatoria própria 2019

Após a finalização do *slump test* da mistura, foi aferido seu abatimento e efetuada a moldagem dos corpos de prova em formas de aço com 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura borrifada com óleo. Posteriormente, em conformidade com a NBR 5738 (2015) - Procedimento para moldagem dos corpos de prova foi realizado com haste de adensamento citada acima e para a colocação do concreto dentro da forma utilizou-se a concha metálica em formato U.

O procedimento de cura do concreto foi efetuado em reservatório onde os corpos de prova ficaram submersos em água a partir do segundo dia, onde permaneceram até completar os 28 dias que é a cura final. A verificação da resistência a compressão se deu com 7 dias, 21 dias e 28 dias.

Para assemelhar uma situação de realidade no qual o concreto fica exposto a altas temperaturas foi utilizado o traço de concreto com resistência característica de 25,0 MPa (mega pascal) objetivando avaliar se há um perda ou um ganho considerável na resistência mecânica do concreto e avaliar as alterações ocorridas na estrutura física do mesmo.

Em simulação na contenção de incêndio para resfriamento do corpo de prova foi utilizado uma mangueira para jardim $\frac{1}{2}$ x 20 laranja de 100mm conectada a água fornecida pela Copasa.

Para o concreto atingir elevadas temperaturas foi utilizado um forno alimentado por gás liquefeito de petróleo ou comumente chamado de GLP (FIGURA 8). O mesmo tem a forma circular para melhor circulação e distribuição de calor no recipiente, na sua parte interna possui lã de vidro para ajudar a elevar e manter o aquecimento possui também um marcador de temperatura.

Figura 8: Forno utilizado



Fonte: Autoria própria (2019).

Depois de realizados os ensaios de compressão para conferir a resistência característica do concreto, houve um intervalo de 15 dias com o objetivo de que a água presente na cura do concreto fosse dispersa no ambiente para melhor exatidão nos testes. Em seguida, foi realizado um teste com dois lotes de quatro corpos de prova, inseridos separadamente no forno a uma temperatura de 300°C para o primeiro lote e 450°C para o segundo lote, na qual permaneceram por um intervalo de tempo de 20 minutos com temperatura variando $\pm 15^{\circ}\text{C}$, conforme mostrado na (FIGURA9).

Figura 9 - Concreto submetido a 300°C e 450°C



Fonte: Autoria própria (2019).

Após o procedimento de exposição, o concreto foi retirado do forno e imediatamente colocado no solo para fazer o processo de resfriamento com água encanada, em seguida encaminhada para a prensa, avaliando assim, a resistência a compressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizar os cálculos de dosagem chegou-se ao seguinte traço, conforme apresentado abaixo na TABELA 6.

Tabela 6 – Cálculos de dosagem do concreto

Resistência característica	Cimento CIII	Areia	Brita N° 0	Brita N° 1	Água
Fck 25,4	Mpa14,87Kg	41,34 Kg	21,86 Kg	21,86 Kg	9,75 L

Fonte: Autoria própria (2019).

Embasado nos métodos realizados em ensaios com 7, 21 e 28 dias atingiu os resultados de resistência característica da compressão na TABELA 7 apresentada a seguir.

Tabela 7 – Resumo quantitativo da resistência a compressão

Concreto 25,4Mpa 7 dias	Concreto 25,4Mpa 21 dias	Concreto 25,4Mpa 28 dias
21,30 Mpa	23,52 Mpa	24,54 Mpa
19,86 Mpa	30,43 Mpa	29,87 Mpa
20,22 Mpa	24,62 Mpa	25,79 Mpa
17,46 Mpa	22,86 Mpa	29,07 Mpa
Resistência média Mpa		
19,71 Mpa	25,36 Mpa	27,32 Mpa

Fonte: Autoria própria (2019).

Concreto a 300°C- Com a temperatura a esse nível o concreto teve fissuras em toda face externa foi verificado pouca presença de *sloughing* ou *spalinge* a alteração na coloração do concreto foi muito pequena, no entanto houve uma perda de resistência média de 47,75%, conforme TABELA 8.

Tabela 8 - Resumo quantitativo da resistência a compressão 300°C

Concreto 25,4 Mpa 28 Dias	Concreto 300°C com 43 Dias	Redução na resistência
	13,27Mpa	51,42%
	14,00Mpa	48,75%
27,32 Mpa	15,51Mpa	43,23%
	14,32Mpa	47,58%

Fonte: Autoria própria (2019).

Concreto a 450°C – Analisando o concreto pode ser observado que teve fissuras em toda face externa. Constatou também que em média de 6 minutos o início de *sloughing* e *spalling* (FIGURA 10); o corpo de prova perde seções devido ao efeito explosivo do concreto e há um início de formação de vapor com perda de resistência a compressão média em 66,74%, conforme TABELA 9.

Tabela 9 - Resumo quantitativo da resistência a compressão 450°C

Concreto 25,4 Mpa 28 Dias	Concreto 300°C com 43 Dias	Redução na resistência
27,32 Mpa	10,23Mpa	62,55%
	07,14Mpa	73,86%
	10,66Mpa	60,98%
	08,32Mpa	69,55%

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 10 - Concreto antes de iniciar a ruptura efeito *sloughing e Spaling*



Fonte: Autoria própria (2019).

Após fazer uma análise dos dados obtidos nas TABELAS 8 e 9 pode – se perceber que o concreto reduziu sua resistência de maneira considerável a característica dos mesmos, a compressão em todos os testes realizados foram a perda de resistência, portanto, o concreto não atingiu a mesma esperada.

Portanto, através dos dados obtidos considera-se que este componente exposto a altas temperaturas e em seguida resfriado com água, conforme apresentado na FIGURA 11, prejudica de maneira significativa a estrutura de concreto.

Figura 11 – Concreto sem exposição ao calor e após exposição a 450°C e resfriado.



Sem exposição ao calor



Após exposição a 450°C



Resfriado com água

Fonte: Autoria própria (2019)

De acordo com a norma NBR 6118 (2014) as estruturas de concreto projetado necessitam alcançar o valor mínimo de f_{ck} , esse valor é analisado ao fim do prazo de 28 dias, ainda em conformidade com a norma, o concreto segue obtendo resistência por toda extensão da vida. Desta forma, após verificar o concreto que teve submetido às altas temperaturas e em seguida resfriado, considera-se que os resultados obtidos não foram satisfatórios, sendo assim, o concreto em utilização de elementos estruturais sujeitas a incêndios deve ser averiguados em conformidade com as possíveis cargas de incêndio presentes nas estruturas.

Ao analisar os resultados, percebe-se que a perda de resistência média aos 300°C é de 47,75% e aos 450°C a média é de 66,74% gradual e expressiva.

Através de observações pode-se dizer que houve uma redução na seção transversal do corpo de prova com a temperatura aos 300°C, no qual o concreto apresentou uma redução média de 47,75% de sua resistência sendo o tempo de exposição ao calor por um período de 20 minutos, também verificou que o efeito *sloughing* e *spalling* ocorre com muita frequência no início de sua exposição ao calor principalmente no período de evaporação da água que está presente no concreto. Já o concreto exposto a 450°C perdeu um valor de 66,74% sua resistência característica a compressão, o que representa uma queda de 18,23MPa, também assim ocorrendo mudança na coloração do mesmo.

Para diminuir as ocorrências ou ganhar tempo para evacuação em estruturas que está exposto a esse tipo de incidente deve-se recorrer a sistemas de segurança e combate a

incêndio, aumentar a resistência do concreto, aumentar as seções transversais dos elementos estruturais com a finalidade que o fogo não penetre de forma rápida no centro do concreto e melhorar o cobrimento das armaduras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com trabalho elaborado, ficou claro através das tabelas expostas, cuja ideia inicial foi avaliar como a influência das temperaturas altas e o resfriamento vertiginoso na estrutura de concreto pode alterar a resistência mecânica do mesmo, uma vez que realizou-se uma pesquisa bibliográfica relacionada à execução de estruturas desse concreto. Após estudo atento onde realizou-se um traço de concreto cujo intuito foi mostrar de que modo essa resistência poderia interferir na estrutura se o mesmo encontrasse exposto à temperaturas elevadas e em seguida molhar, diminuindo, assim, a temperatura de maneira brusca. Findo o estudo, pode-se perceber como a prevenção e o combate a incêndios em uma estrutura de concreto faz-se mister, pois não importa a resistência que o mesmo possui, o tempo de exposição e a intensidade calorífica deste e seu resfriamento de forma instantânea pode diminuir drasticamente sua resistência. Vale ressaltar que os testes foram todos efetuados em concreto, não havendo aço no mesmo. Dessa forma, este trabalho traz a sua contribuição para uma reflexão voltada para as questões levantadas no mesmo, destacando assim, na sua relevância para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

Almeida, L. C. D. (2002). Concreto. *Notas de aula da disciplina Estruturas IV–Concreto armado*.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). (2001). NBR 14.432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações-Procedimentos.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (1997). NBR 13860: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro.

Barrosa, M. R. (2004). Princípios fundamentais da transferência de calor. *Trabalho disciplinar do aluno de graduação do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica*.

Britez, C. A., & Costo, C. (2011). Ações do fogo nas estruturas de concreto. *Concreto: ciência e tecnologia*. São Paulo: Ipsis gráfica e editora, 1029-1068.

Costa, C. N. (2008). Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. *São Paulo. Universidade de São Paulo*.

Costa, C. N., & Silva, V. P. (2002). Estruturas de concreto em situação de incêndio.

da Costa, L. F., & de Fátima Nunes, M. (2018). Quarto encontro de olhares sobre Museus, Turismo e Sociedade: em luto e como manifesto em apoio à recuperação do Museu Nacional, Brasil. *RITUR-Revista Iberoamericana de Turismo*, 8, 1-6.

de Lima, S. M., & Libório, J. B. L. (2006). Concreto de alto desempenho em ambientes com baixas temperaturas.

Costa, C. N., Figueiredo, A. D. D., & Silva, V. P. (2002). Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas. *NUTAU'2002. Sustentabilidade arquitetura desenho urbano: seminário internacional*.

Lima, R., Kirchof, L., Casonato, C., & Silva Filho, L. C. P. (2004). Efeito de altas temperaturas no concreto. *Seminário De Patologias Das Edificações*, 2.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J., & Carmona Filho, A. (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. Pini.

Morales, G., Campos, A., & Faganello, A. (2011). A ação do fogo sobre os componentes do concreto. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 32(1), 47-55.

Neville, A. M. (2013). *Tecnologia do concreto*. Bookman Editora.

Silva, C. P., & Albertoni, E. F. (2013). Características físicas e químicas da água.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). NBR NM 67: Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003). NBR 5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

NBR, A. B. N. T. (2014). 6118: Projeto de Estruturas de Concreto. *Rio de Janeiro*.

NBR, A. (2009). NBR 7211: Agregados para concreto-Especificação. *Rio de Janeiro*.

Oliveira, Isaac A. (2013). Estrutura de concreto armado em situação de incêndio. Uma análise térmica de uma viga sob flexão simples. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba.

Powers, T. C. (1945, January). A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete. In *Journal Proceedings* (Vol. 41, No. 1, pp. 245-272).

Roratto, Germano. Incêndio na boate Kiss matou 242 jovens e deixou 636 feridos em janeiro de 2013. Publicado em 06 de agosto de 2013

Silva, V. P., & Pimenta, P. D. M. (1997). Estruturas de aço em situação de incêndio.

Sano, Douglas M.; Polegato, Natália S.; Colleta, Ruan D. D. (2013) Redimensionamento de lajes e vigas para um projeto estrutural de concreto em situação de incêndio conforme NBR 15200 (2012). Trabalho de Conclusão de Curso – TCC – Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná –UFPR. Curitiba, 2013.

Seito, A. I., Gill, A. A., Pannoni, F. D., Ono, R., Silva, S. B. D., Del Carlo, U., & Silva, V. P. (2008). A segurança contra incêndio no Brasil.

Silva, C. P., & Albertoni, E. F. (2013). Características físicas e químicas da água.

Soares, A. E. B. (2010). *Método de inversão para determinação de concentrações de vapor d'água, ozônio e aerossóis na atmosfera, a partir dos sinais de um radiômetro de leds, em tempo real* (Doctoral dissertation, Dissertação de mestrado, UFBA).

Souza, A. A. A. D. (2005). Influência do tipo de agregado nas propriedades mecânicas do concreto submetido ao fogo.

Salomão, PEA, Porto, TB, Cabrai, SC, da Silva, WL, & de Oliveira, ANS (2018). Elaboração de tabelas para a dosagem de concreto com base nos agregados utilizados no Nordeste Mineiro. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 7 (4), 1.

Cristina, P., Salomão, PEA, Cangussu, L., e de Carvalho, PHV (2018). Cimento solo de tijolo com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. *Research, Society and Development* , 7 (9), 779439.

Salomão, PEA, de Oliveira Aguiar, L., Lorentz, LPA e de Paula, LTG (2019). Comparação de custo entre materiais usados como isolamento acústico. *Research, Society and Development* ,

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Pedro Emílio Amador Salomão – 60%

Rodrigo Silva Colares – 15%

Fabiano Mendes Pereira – 15%

Acly Ney Santiago de Oliveira – 10%