



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DA
PARAÍBA,
CAMPUS CAMPINA GRANDE, GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**

EDUARDO MORAES SOUSA

ESTRUTURAS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

ESTUDO DE REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

CAMPINA GRANDE –PB

2025

Catálogo na fonte:

Ficha catalográfica elaborada por Gustavo César Nogueira da Costa - CRB 15/479

S725e Sousa, Eduardo Moraes

Estrutura de concreto em situação de incêndio: estudo de
revisões bibliográficas / Eduardo Moraes Sousa. -
Campina Grande, 2025.

53 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de
Tecnologia em Construção de Edifícios.) - Instituto
Federal da Paraíba, 2025.

Orientador: Prof. Me. Mauricio Rodrigues Pereira.

1. Engenharia civil 2. Estruturas de concreto 3.
Degradação térmica I. Pereira, Mauricio Rodrigues II.
Título.

CDU 624.01

EDUARDO MORAES SOUSA

ESTRUTURA DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

ESTUDO DE REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE
CURSO APRESENTADO AO CURSO DE
TECNOLOGIA EM
CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, DO
INSTITUTO
FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DA PARAÍBA - CAMPUS
CAMPINA GRANDE, COMO REQUISITO
PARCIAL À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
TECNÓLOGO EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS.

ORIENTADOR: Prof. Me. Mauricio Rodrigues Pereira

**CAMPINA GRANDE – PB
2025**

EDUARDO MORAES SOUSA

ESTRUTURA DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

ESTUDO DE REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE
CURSO APRESENTADO AO CURSO DE
TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS, DO INSTITUTO
FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DA PARAÍBA - CAMPUS
CAMPINA GRANDE, COMO REQUISITO
PARCIAL À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
TECNÓLOGO EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS.

Aprovada em ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

Prof. Me. Mauricio Rodrigues Pereira

Orientador

Prof. Me. Victor Moises de Araújo Medeiros

Examinador interno

Prof. Dr. Frnkslale Fabian Diniz de Andrade Meira

Examinador interno

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos são especialmente ao Meu Deus, que tornou tudo possível.

Agradeço aos meus familiares pelo apoio e sacrifício despendido em meus estudos.

Sou grato aos professores, que lecionaram ao longo de minha trajetória, que foram importantes em minha base e desenvolvimento curricular. Em especial os professores que lecionaram nesse Campus.

Aos que de forma direta ou indireta contribuíram com minha formação.

Muito Obrigado!

“Qualquer princípio de inteligência que alcançarmos nessa vida surgirá conosco na ressurreição.” (Doutrina e Convênios 130: 18).

RESUMO

O presente trabalho apresenta de maneira geral um estudo bibliográfico com o intuito de trazer os principais problemas em estruturas de concreto em situação de incêndio, os principais impactos identificados incluem a perda progressiva de resistência, o aumento da porosidade, o surgimento de fissuras e, em casos mais severos, a ocorrência da "explosão térmica" devido à vaporização da água contida nos vazios do material. Essas alterações comprometem significativamente a estabilidade e a segurança das edificações após um evento de incêndio, reforçando a necessidade de avaliação técnica minuciosa e reabilitação estrutural adequada. As principais contribuições deste estudo residem na síntese das pesquisas existentes sobre os impactos do fogo em estruturas de concreto e na conscientização sobre a relevância da análise pós-incêndio para garantir a segurança das edificações. A revisão bibliográfica também enfatiza a necessidade de seguir normas e diretrizes técnicas para reduzir os riscos associados a eventos de incêndio. Foram analisadas fatos históricos de incêndios em grandes edificações no Brasil, como o Gran Circo Norte-Americano (Niterói), o Edifício Andraus (São Paulo), o Edifício Joelma (São Paulo) e a Boate Kiss (Rio Grande do Sul) que veio trazer importantes medidas preventivas, normativas rigorosas e um planejamento estrutural que considera os efeitos térmicos sobre o concreto em nosso país, assim trazendo uma melhor análise e segurança nas estruturas que são submetidas a grandes temperaturas.

Palavras chaves: Concreto, Altas temperaturas, Incêndio, Estruturas.

ABSTRACT

This work generally presents a bibliographical study with the aim of bringing out the main problems in concrete structures in fire situations. The main impacts identified include the progressive loss of compressive strength, increased porosity, the appearance of cracks and, in more severe cases, the occurrence of "thermal explosion" due to the vaporization of water contained in the material's voids. These changes significantly compromise the stability and safety of buildings after a fire event, reinforcing the need for thorough technical assessment and adequate structural rehabilitation. The main contributions of this study lie in the synthesis of existing research on the impacts of fire on concrete structures and in raising awareness about the relevance of post-fire analysis to ensure the safety of buildings. The literature review also emphasizes the need to follow technical standards and guidelines to reduce the risks associated with fire events. Historical photos of fires in large buildings in Brazil were analyzed, such as the Gran Circo Norte-Americano (Niterói), the Andraus Building (São Paulo), the Joelma Building (São Paulo) and the Kiss Nightclub (Rio Grande do Sul), which brought important preventive measures, rigorous regulations and structural planning that considers the thermal effects on concrete in our country, thus bringing better analysis and safety to structures that are subjected to high temperatures.

Keywords: Concrete, High temperatures, Fire, Structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tetraedo de Fogo	15
Figura 2 - Flashover	16
Figura 4 - Circo Norte-Americano.....	28
Figura 5 - Edifício Andraus.....	29
Figura 6 - Edifício Joelma.....	30
Figura 7 - Boate Kiss	31
Figura 8 - Wilton Paes de almeida incêndio	32
Figura 9 - Curva de incêndio Real	34
Figura 10 - Equação de identificação de temperatura dos gases	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Resistencia à compressão/Temperatura	20
Quadro 2 - Resumo das Transformações físico-químicas no concreto durante o incêndio.....	23
Quadro 3 - Curva Padrão Temperatura- Tempo	35

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	15
2.1	Definição e características do fogo	15
2.2	Fatores que influenciam a propagação do fogo em estruturas urbanas	17
2.3	Riscos e perigos específicos em edificações de concreto	18
2.4	Propriedades do concreto e o impacto das altas temperaturas	19
2.5	Efeitos das altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto	20
2.6	Ações térmicas no concreto	22
2.7	Alterações nas propriedades do agregado	23
3	METODOLOGIA	27
4	RESULTADO E DISCURSÕES	28
4.1	O incêndio em Niterói, RJ (Gran Circo Norte-Americano).....	28
4.2	Incêndio no edifício Andraus, Av. São João, São Paulo	29
4.3	Incêndio no edifício Joelma, praça da bandeira, São Paulo.....	30
4.4	O incêndio na Boate Kiss.....	31
4.5	O Edifício Wilton Paes de Almeida 1 de maio de 2018.....	32
4.6	Normas e análise de estruturas de concreto em situações de fogo	33
4.7	Desafios na implementação de normas e requisitos para estruturas de concreto	36
4.8	Tecnologias de revestimentos protetores: materiais e técnicas de aplicação	37
4.9	Inovações na formulação de concreto resistente ao fogo.....	38

4.10	Uso de aditivos e fibra de carbono para melhorar a performance térmica	39
4.11	Sistema de monitoramento e alarmes integrados para prevenção de colapso	40
4.12	Desenvolvimento de novos materiais inteligentes para estruturas de concreto	41
4.13	Desafios e oportunidades para o futuro da engenharia civil no combate a incêndios	42
4.14	Desafios na implementação de novas tecnologias e materiais	45
4.15	A importância da formação e conscientização de profissionais da construção	46
4.16	Perspectivas de desenvolvimento sustentável e resiliente no contexto urbano	47
5	CONCLUSÃO	49

1 INTRODUÇÃO

O fogo, um dos fenômenos naturais mais antigos e essenciais para a evolução humana, é um agente capaz de causar grandes danos quando não controlado. Sua propagação ocorrera por meio de quatros elementos fundamentais: calor, combustível, oxigênio e reação em cadeia. Em um cenário urbano, pode trazer várias consequências devido à grande carga de matérias, com isso o fogo se espalha rapidamente, apresentando desafios significativos para a integridade das edificações.

O comportamento dos materiais construtivos, como o aço e o concreto, sob altas temperaturas, é de grande importância para a segurança e resistência das construções, sendo este um dos principais focos de pesquisa na engenharia civil e na segurança contra incêndios hoje em dia. O concreto, um dos materiais mais utilizados na construção civil, possui características excepcionais de resistência e durabilidade. Contudo, quando exposto a temperaturas elevadas, seu desempenho estrutural é comprometido. As altas temperaturas podem causar desde a perda de resistência à compressão até o desenvolvimento de fissuras, alteração na estrutura interna dos agregados e até a explosão de partículas. Este cenário revela uma série de desafios, como a avaliação da resistência térmica, a manutenção da estabilidade estrutural e a necessidade de se melhorar as normas de segurança tanto para materiais como para os projetos.

Este trabalho aborda os efeitos das altas temperaturas do fogo nas estruturas de concreto, focando em compreender como esses fatores afetam a integridade das construções. O estudo se baseia em uma revisão de literatura, sobre o comportamento do concreto exposto a incêndios. Através dessa revisão sera destacado as opiniões de especialistas e as soluções implementadas para reduzir os efeitos adversos do fogo nas estruturas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho aborda os riscos que as estruturas de concreto podem sofrer devido à ação do fogo e à exposição a altas temperaturas. Para isso, apresenta fatos históricos relevantes e as principais normatizações aplicáveis, destacando a importância de seguir corretamente as diretrizes de segurança. Levando o leitor a compreender como a aplicação adequada dessas normas pode minimizar danos tanto às edificações quanto à vida humana, garantindo maior resistência e estabilidade estrutural em casos de incêndio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo de revisão bibliográfica sobre as estruturas de concreto em situação de incêndio e suas consequências, observando os efeitos das estruturas de concreto após incêndio.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar as características de um incêndio;
- Identificar os principais fatores que influenciam o desempenho das estruturas urbanas durante a exposição ao fogo;
- Verificar as normas, o comportamento e a segurança de estruturas de concreto em situações de incêndio; E os efeitos térmicos sobre o materiais.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Definição e características do fogo

O fogo é um fenômeno químico resultante da combustão, um processo exotérmico caracterizado pela ocorrência de oxigênio (comburente) com um material combustível, liberando calor e luz. Para que a combustão ocorra, são necessários quatro elementos fundamentais, conhecidos como o (tetraedro do fogo): combustível, comburente, calor e consequência em cadeia. A compreensão desses fatores é essencial para o controle e combate a incêndios, permitindo a aplicação de técnicas eficazes de extinção e prevenção. Como representa a figura 1. (Corpo de Bombeiros do Paraná, 2024).

Figura 1 - Tetraedro de Fogo



Fonte: Sá, 2021

Como explica O Corpo de Bombeiros do Paraná (2024) o calor é necessário para iniciar e manter a reação, fornecendo a energia de ativação para que o combustível comece a se decompor e reagir com o oxigênio. O combustível, por sua vez, é o material que sofre a reação de oxidação, liberando energia. Pode ser sólido, líquido ou gasoso, e sua composição química determina o tipo de produtos gerados e a quantidade de energia liberada. O oxigênio, por sua vez, é o agente oxidante que reage com o combustível

durante a combustão. Com isso vem a reação em cadeia, que faz a interação do combustível, comburente e calor gerando assim a combustão.

A presença desses quatro componentes, calor, comburente, combustível e reação em cadeia em quantidades adequadas e suas interações permitem a ignição e a propagação do fogo, em outras palavras a combustão. A combustão é uma reação química altamente exotérmica entre um combustível e o oxigênio, resultando na liberação de calor e luz, além de gerar produtos como dióxido de carbono, vapor d'água pode ocorrer de duas formas. A combustão completa, ocorre quando o combustível é completamente oxidado, já a combustão incompleta, quando não há oxigênio suficiente para a oxidação total, gerando produtos como monóxido de carbono e fuligem. (Brasil Escola, 2024).

O comportamento do fogo em ambientes fechados e com alta densidade de materiais é extremamente complexo e perigoso, uma vez que as condições dentro dessas edificações favorecem a rápida propagação e a intensificação das chamas. Em espaços confinados, a quantidade limitada de oxigênio disponível para a combustão e a ausência de ventilação adequada podem resultar na formação de um ambiente de combustão mais agressivo, em que o fogo tende a consumir rapidamente os materiais presentes, gerando uma grande quantidade de calor e fumos tóxicos. Esse cenário é ainda mais crítico quando os materiais usados nas construções, como acabamentos, revestimentos e isolamentos, possuem baixa resistência ao fogo, contribuindo para uma propagação mais acelerada do incêndio (Chelenpes, 2021).

Conforme Silva (2016) caso o incêndio não seja extinto nessa fase do flashover, haverá um aumento brusco de temperatura fazendo com que tenhamos o fenômeno conhecido como "flashover", como representado na figura 2.

Figura 2 - Flashover



Prevenseg, 2024

Esse fenômeno ocorre quando a temperatura atinge um ponto crítico em que todo o combustível disponível em um ambiente se inflama simultaneamente, pode ser mais

provável em espaços fechados com alta carga térmica. Logo após esse fenômeno, haverá a redução gradativa de temperatura e dos gases. A alta densidade de materiais combustíveis, como móveis, papéis, tecidos e produtos sintéticos, aumenta significativamente a carga térmica, o que pode elevar a temperatura de forma exponencial, levando ao risco de colapso estrutural. Por isso a grande preocupação em fazer uma boa análise detalhada dos sistemas de construção, das condições de ventilação, da escolha de materiais resistentes ao fogo e da implementação de medidas adequadas de segurança, para mitigar os riscos e aumentar a segurança das edificações em áreas urbanas (Chelenpes,2021).

2.2 Fatores que influenciam a propagação do fogo em estruturas urbanas

A propagação do fogo em estruturas urbanas é extremamente influenciada por uma série de fatores interligados que determinam sua rapidez, intensidade e extensão dentro de um edifício. Primeiramente, a presença de materiais combustíveis nas construções, como madeira, plásticos, tecidos e acabamentos de baixo desempenho térmico, tanto eles pode facilitar a ignição e acelerar o avanço do fogo, como retarda sua propagação (Rocha, 2024).

Em segundo lugar Silva (2016) mostra que a compartimentação das estruturas arquitetônicas também desempenha um papel crucial contra o incêndio urbano, a presença de compartimentações mal projetadas ou a falta de barreiras de fogo adequadas podem permitir que o fogo se espalhe rapidamente entre os andares ou de um cômodo para outro.

Além disso, o tipo de ventilação, conforme explica a Rocha (2024) disponível nas edificações é um fator determinante, uma vez que a presença de correntes de ar pode intensificar a combustão, espalhando as chamas para áreas distantes. Em áreas urbanas muito povoadas, a proximidade de edifícios e a falta de espaço entre eles podem facilitar a propagação do fogo de uma estrutura para outra, especialmente em caso de incêndios de grande escala.

A eficiência e a integridade dos sistemas de proteção contra incêndio, como sprinklers, extintores e hidrantes, também têm um papel fundamental, pois a falta ou o mau funcionamento desses sistemas pode permitir que o fogo se propague sem controle. O comportamento do fogo em ambientes fechados, como corredores estreitos, escadas e

andares superiores, é ainda mais complexo, visto que a falta de evacuação adequada e de sistemas de ventilação forçada pode criar um cenário de alta combustibilidade, onde o fogo se concentra e se intensifica. Além disso, outros sistemas como elétricos e gasodutos que muitas vezes mal protegido e mal instalados só contribui mais para essa propagação, criando um risco significativo de explosões ou falhas estruturais. (ABNT NBR 15200:2012).

Por fim, as características dos materiais utilizados na construção das próprias estruturas, como o concreto, podem influenciar a resistência ao fogo e a velocidade com que o fogo afeta a integridade da edificação, sendo que materiais mais vulneráveis à altas temperaturas tendem a acelerar o colapso estrutural. Portanto, a interação de todos esses fatores deve ser cuidadosamente considerada no planejamento urbano e na construção de edifícios para garantir que a propagação do fogo seja minimizada, preservando tanto a segurança dos ocupantes quanto a estabilidade das estruturas (Rocha, 2022).

2.3 Riscos e perigos específicos em edificações de concreto

Dias (2018) afirma que as edificações de concreto embora historicamente sejam reconhecidas pela sua resistência e durabilidade, apresentam grandes riscos e perigos específicos quando expostas a uma grande carga de temperatura, devido às reações que ocorrem no material sob altas temperaturas. O concreto, por ser um material inorgânico, tem uma resistência ao fogo superior em comparação a outros materiais que geralmente compõem uma edificação, como madeira e aço; no entanto, isso não significa que ele seja totalmente imune aos danos causados por temperaturas extremas.

Quando exposto ao calor intenso, o concreto sofre alterações em sua estrutura interna, como a perda de resistência à compressão e a expansão dos agregados, o que pode levar ao aparecimento de fissuras e à desintegração do material. Em casos mais extremos, o concreto pode sofrer o fenômeno de "explosão térmica", onde a água contida nos vazios do concreto se vaporiza rapidamente, gerando uma pressão interna que pode causar o desmoronamento da estrutura (Transobra, 2023).

Além disso, o aço após o efeito do fogo vem a se dilatar agravando as fissuras, comprometendo a integridade da estrutura e aumentando o risco de colapso. A interação entre o concreto e outros materiais, como revestimentos de proteção e sistemas de

isolamentos térmicos, também pode influenciar no comportamento da estrutura durante um incêndio, visto que revestimentos inadequados podem acelerar o aquecimento do concreto e reduzir seu tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) (ABNT NBR 14432:2001a).

Adverte Morales (2023) que a falta de compartimentação eficiente e a ausência de sistemas adequados de proteção contra incêndios, como sprinklers ou barreiras de fogo, podem aumentar significativamente os danos causados pelo fogo em edificações de concreto. Portanto, os riscos e perigos específicos relacionados ao concreto em situações de incêndio exigem uma abordagem cuidadosa no projeto e na implementação de medidas preventivas, para garantir que o desempenho estrutural do material não seja comprometido e a segurança dos ocupantes seja preservada.

2.4 Propriedades do concreto e o impacto das altas temperaturas

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo devido à sua versatilidade, durabilidade e resistência. Sua composição básica é formada por uma mistura de cimento, agregados (areia, brita ou cascalho) e água, podendo ainda incluir aditivos e fibras para melhorar determinadas propriedades, como a resistência à tração e a durabilidade. O cimento, principal componente do concreto, reage com a água em um processo químico denominado hidratação, que resulta na formação de cristais de silicato de cálcio, conferindo ao material sua resistência ao longo do tempo (Transobra, 2023).

Os agregados são responsáveis por fornecer volume e resistência ao concreto, sendo os agregados graúdos, como a brita, os principais responsáveis pela resistência mecânica, enquanto os agregados miúdos, como a areia, preenchem os vazios entre as partículas maiores, contribuindo para a densidade do material. A água, por sua vez, é essencial para ativar a reação química do cimento, mas sua quantidade deve ser controlada, pois o excesso ou a falta de água pode fazer com que o seu FCK (Feature Compression Know), que em português significa, "Resistência Característica do Concreto à Compressão", seja comprometido e sua qualidade venha afetar sua resistência e durabilidade (Pinheiro, Muzardo e Santo, 2004)

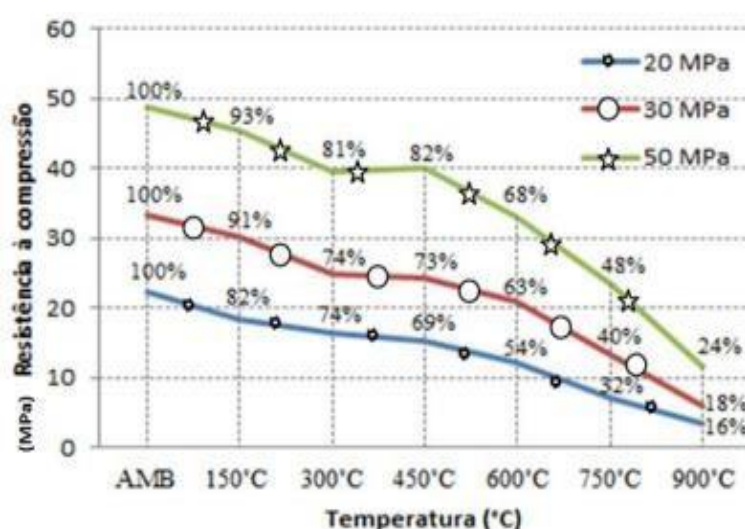
Além disso, o concreto pode incorporar aditivos para melhorar propriedades específicas, como retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes que aumentam a

trabalhabilidade, ou até aditivos hidrofóbicos que aumentam a resistência à água. O concreto também é caracterizado por sua baixa resistência à tração, razão pela qual é geralmente reforçado com aço em sistemas de concreto armado. Compreender a composição e as propriedades físicas do concreto é fundamental para avaliar seu comportamento em diferentes condições de carga e ambiente, especialmente em situações de incêndio, onde suas características podem ser profundamente alteradas, comprometendo a segurança estrutural (Transobra, 2023).

2.5 Efeitos das altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto

Os efeitos das altas temperaturas nas propriedades mecânicas do concreto são uma preocupação crucial na engenharia civil, especialmente em situações de incêndios urbanos, onde estruturas de concreto são expostas a condições térmicas extremas. Inicialmente, o concreto apresenta uma boa resistência ao calor devido à sua baixa condutividade térmica e capacidade de isolamento, o que retarda a propagação de altas temperaturas para seu núcleo. No entanto, à medida que a temperatura excede os 300 °C, começam a ocorrer alterações significativas em suas propriedades mecânicas (Silva, 2016). Na quadro 1 vemos um desenvolvimento da resistência do concreto com relação a temperatura.

Quadro 1- Resistencia à compressão/Temperatura



Fonte: Forigo, Y. D. Lopes, L. Vanalli (2021)

O endurecimento da pasta de cimento e o colapso das ligações químicas na matriz cimentícia resultam em uma perda gradual de resistência à compressão, tornando o concreto mais frágil e suscetível a fissuras. Por volta dos 500 °C, a desidratação do hidróxido de cálcio na pasta de cimento provoca a formação de microfissuras, que comprometem a coesão interna. Paralelamente, os agregados, dependendo de sua composição mineralógica, podem expandir ou retrair, criando tensões internas adicionais que contribuem para o processo de degradação. Quando submetido a temperaturas acima de 800 °C, o concreto sofre uma queda acentuada em sua capacidade de carga, muitas vezes acompanhada pelo fenômeno de spalling (Fernandes et. al.,2019).

“O spalling é um lascamento da superfície do elemento de concreto submetido a um incêndio. O spalling decorre do comportamento diferencial a altas temperaturas dos materiais componentes do concreto e da pressão interna da água ao evaporar-se, entre outros fatores. O spalling reduz a área resistente do concreto e expõe a armadura ao fogo” (Silva, 2016).

Além disso, a degradação térmica do concreto interfere diretamente na proteção das armaduras de aço, reduzindo a eficiência da camada de cobrimento e expondo o aço ao calor, o que compromete ainda mais a estabilidade estrutural. Assim, a compreensão dos mecanismos de degradação do concreto em altas temperaturas é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de proteção, como o uso de aditivos resistentes ao calor, revestimentos protetores e critérios de dimensionamento que aumentem a resiliência das estruturas a incêndios. Portanto, estudar os efeitos térmicos no concreto não apenas contribui para a segurança estrutural, mas também orienta a formulação de normas técnicas que visem à proteção contra incêndios em edifícios e infraestruturas urbanas (Silva, 2023).

A perda de resistência à compressão do concreto em condições adversas, como durante exposições prolongadas a altas temperaturas, é um fenômeno crítico que compromete a integridade estrutural e a segurança de edificações. Esse efeito ocorre devido à degradação física e química da matriz cimentícia e dos agregados, resultante da exposição a fatores como incêndios urbanos ou ambientes causando uma redução drástica em sua resistência à compressão, frequentemente inferior a 50% do valor original, agravada pelo fenômeno de spalling, onde fragmentos superficiais se destacam devido à pressão interna de vapor, expondo camadas mais profundas ao calor. Além disso, a

redução da resistência à compressão pode ser influenciada por fatores externos, como ciclos de aquecimento e resfriamento abruptos, a umidade residual e a qualidade dos materiais utilizados no concreto. Essa perda de resistência não só limita a capacidade de carga da estrutura, como também compromete sua durabilidade e resiliência em cenários de emergência (Giles, Maiero, Perfe, 2023).

2.6 Ações térmicas no concreto

O comportamento do concreto exposto a elevadas temperaturas resulta da interação de diversos fatores, como sua composição, permeabilidade, taxa de aquecimento e dimensão do elemento estrutural. O aquecimento promove a decomposição de componentes do concreto, gerando pressões internas devido à evaporação da água e à expansão dos agregados, o que impacta diretamente sua resistência mecânica e estabilidade microestrutural (Rocha, 2018).

A desidratação da pasta de cimento ocorre em diferentes faixas de temperatura. Inicialmente, entre 65°C e 100°C, há a evaporação da água absorvida e livre. A partir de 200°C, a pasta perde água interlamelar, levando à formação de poros. Em 300°C, há perda parcial da água quimicamente combinada do C-S-H, enfraquecendo a estrutura do concreto. Aos 500°C, ocorre a decomposição do hidróxido de cálcio, um dos principais componentes da pasta de cimento. Em 600°C, a formação de portlandita secundária pode levar à expansão e fissuração. Aos 900°C, há a decomposição completa do C-S-H, resultando na perda significativa de resistência. Acima de 1100°C, o concreto pode sofrer fusão parcial, comprometendo totalmente sua integridade estrutural (Vieira, Vidal, 2015).

Os agregados também são afetados pelo calor. Agregados silicosos apresentam alta expansão térmica, aumentando a fissuração, enquanto os calcários sofrem decomposição a partir de 600°C. Em temperaturas superiores a 800°C, as diferenças de resistência entre os tipos de agregados são minimizadas (Rocha, 2018).

A zona de transição entre a matriz cimentícia e os agregados é uma região particularmente vulnerável, sendo a primeira a apresentar fissuras devido à diferença na expansão térmica entre os materiais. Esse fenômeno pode levar ao deslocamento do concreto, comprometendo sua integridade estrutural (Vieira, Vidal, 2015).

Logo, a resistência do concreto às altas temperaturas está diretamente relacionada às transformações físicas e químicas de seus constituintes, sendo fundamental considerar esses aspectos no desenvolvimento de concretos mais resistentes ao fogo, como representada na quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Resumo das Transformações físico-químicas no concreto durante o incêndio

20 a 100 °C	A evaporação existente causa retração do concreto, aumentando a porosidade e causando microfissuras. Alteração da resistência mecânica mínima.
150 °C	Primeiro estágio de decomposição do silicato de cálcio hidratado.
100 a 300 °C	Perda da água ligada fisicamente ao concreto nos poros, ocorrendo a contração da pasta, provocando microfissuras.
350 °C	Ruptura de alguns agregados.
374 °C	A evaporação total da água livre.
400 a 600 °C	Perda da água ligada ao concreto. Baixa na resistência, retração de volume e aumento de fissuras.
700 °C	Dissociação do CaCO_3 em $\text{CaO} + \text{CO}_2$.
720 °C	Maior decomposição do silicato de cálcio hidratado.
800 °C	Perda total da água quimicamente combinada.
1200 °C	Início da sinterização do concreto.
1400 °C	Concreto sinterizado.

Fonte: adaptada de Vieira e Vidal 2015

2.7 Alterações nas propriedades do agregado

As alterações nas propriedades dos agregados, disse Pimentel (2023), quando expostos a condições extremas, como altas temperaturas, são um fator determinante na degradação do concreto, especialmente em cenários de incêndios urbanos ou aplicações em ambientes severos. Os agregados, que compõem a maior parte do volume do concreto, desempenham um papel fundamental na sua resistência e durabilidade. No entanto, agregados de origem silicosos, como o granito, tendem a expandir devido à dilatação

térmica diferencial entre os minerais constituintes, o que gera tensões internas que podem provocar microfissuras.

Já os agregados calcários apresentam uma estabilidade inicial maior, mas, a calcinação do carbonato de cálcio, que resulta na liberação de dióxido de carbono e na formação de óxido de cálcio, enfraquecendo significativamente a estrutura do concreto. Portanto, compreender as alterações nas propriedades dos agregados em cenários críticos é essencial não apenas para prever o desempenho de estruturas em situações de incêndio, mas também para desenvolver soluções inovadoras, como o uso de agregados otimizados e técnicas de proteção passiva, que aumentem a resiliência e segurança das construções em contextos urbanos e industriais (Pimentel, 2023).

O comportamento do concreto sob ciclos de aquecimento e resfriamento é um fator crucial para a segurança e durabilidade das construções sujeitas a incêndios. O concreto, composto por cimento, agregados e água, é um material com excelente resistência à compressão, mas sua performance térmica é fortemente influenciada por variações de temperatura. Durante um incêndio, o concreto pode atingir temperaturas extremamente elevadas, e o ciclo de aquecimento e resfriamento pode provocar fenômenos como a expansão térmica, o aumento da porosidade, a perda de massa e a fissuração, comprometendo sua integridade estrutural (Morales, 2023).

A repetição desses ciclos, comuns em incêndios urbanos, gera tensões internas que podem levar à desagregação do material, com o consequente enfraquecimento da estrutura. Além disso, a presença de umidade no concreto amplifica os efeitos térmicos, visto que a evaporação da água pode causar pressões internas, aumentando o risco de fissuração ou até explosões localizadas. O tipo de cimento utilizado, a proporção dos componentes e o tratamento do concreto, como a utilização de aditivos que retardam a hidratação, podem influenciar a resistência do material aos ciclos térmicos (Dias, et.al 2020).

Em situações de incêndio prolongado, as propriedades mecânicas do concreto, como a resistência à compressão e à tração, podem ser significativamente reduzidas, o que exige um planejamento cuidadoso das especificações do material e estratégias de proteção contra incêndio. Para mitigar esses efeitos, é fundamental o uso de técnicas de proteção passiva, como a aplicação de revestimentos térmicos, e o monitoramento da temperatura estrutural em edificações vulneráveis a incêndios, garantindo a segurança a longo prazo (Morales, 2023).

A comparação entre diferentes tipos de concreto sob exposição ao fogo revela importantes variações no comportamento térmico e na resistência estrutural. Concretos de alta resistência, como os de alta performance (concreto de alta resistência, HPRC), apresentam maior durabilidade sob temperaturas elevadas, devido à sua menor porosidade e maior densidade, o que retarda a penetração de calor. Por outro lado, concretos comuns, como o de resistência normal (concreto convencional), são mais suscetíveis a fissuras e desintegração, pois apresentam maior capacidade de absorção de água, o que pode resultar em explosões devido à vaporização da água interna (Dias, et.al 2020).

A inclusão de aditivos e agregados especiais, como fibras metálicas e sílicas, pode melhorar significativamente a resistência ao fogo, reduzindo o risco de colapsos estruturais em edificações expostas a incêndios intensos. O concreto com revestimentos protetores, como materiais cerâmicos ou intumescentes, também oferece maior resistência térmica, aumentando a segurança de estruturas em situações extremas. Assim, a escolha do tipo de concreto deve considerar não apenas a carga estrutural esperada, mas também as condições de risco de incêndio, visando garantir a integridade e a segurança das construções em ambientes urbanos (Coelho, Campos, Pereira, 2019).

As diversas fases de exposição ao fogo exigem, portanto, uma abordagem integrada que combine o conhecimento técnico sobre materiais e sistemas de proteção, bem como uma atuação coordenada entre os profissionais de combate a incêndios, engenheiros e arquitetos, para garantir a segurança dos ocupantes e a integridade das construções (Vespasiano, 2016).

A variação do comportamento do concreto dependendo da temperatura é um aspecto crucial para a segurança estrutural de edificações, especialmente em cenários de incêndios urbanos, onde as temperaturas podem alcançar patamares extremos. A partir de aproximadamente 300 °C, começam a ocorrer mudanças químicas e físicas nos componentes do concreto, como a desidratação do gel de C-S-H (silicato de cálcio hidratado) e a perda da água quimicamente ligada, o que resulta na redução gradual da resistência à compressão e da rigidez. Por volta dos 500 °C, a desintegração da matriz de concreto se intensifica, acompanhada pela expansão térmica dos agregados, que pode causar fissuras e comprometer a coesão interna. Quando as temperaturas atingem cerca de 800 °C, os agregados de carbonato de cálcio, sofrem decomposição, liberando dióxido de carbono e agravando a degradação estrutural (Coelho, Campos, Pereira, 2019).

O uso de aditivos e fibras de carbono para melhorar a performance térmica do concreto tem se mostrado uma solução inovadora e eficaz na engenharia estrutural, especialmente quando se trata de aumentar a resistência ao fogo e a durabilidade das construções expostas a condições extremas de temperatura. A introdução de fibras de carbono no concreto visa otimizar sua resistência à compressão e tração, ao mesmo tempo em que reduz a fissuração e a degradação do material quando exposto ao calor. As fibras de carbono, devido à sua elevada resistência e propriedades térmicas, contribuem para a diminuição da expansão térmica e da perda de resistência durante incêndios, aumentando o tempo de integridade estrutural (Hendrix, Lima, 2019).

3 METODOLOGIA

Este estudo baseia-se em uma revisão bibliográfica sistemática, reunindo e analisando publicações científicas, normas técnicas e estudos de caso sobre o comportamento de estruturas de concreto expostas a elevadas temperaturas e incêndios. A pesquisa foi conduzida com foco nos seguintes aspectos:

Transformações nos materiais do concreto: Avaliação das alterações físicas e químicas nos componentes do concreto e da estrutura quando expostos ao calor extremo, incluindo perda de resistência, fissuração térmica e degradação do concreto.

Estudos de caso e falhas estruturais: Investigação de colapsos estruturais ocorridos em função de incêndios, analisando as causas do colapso, os principais mecanismos de deterioração e as falhas de projeto e manutenção envolvidas.

Inovações e melhorias em técnicas de avaliação pós-incêndio: Síntese de métodos modernos para a inspeção e recuperação de estruturas danificadas pelo fogo, incluindo ensaios não destrutivos, novas abordagens de modelagem computacional e técnicas emergentes de reabilitação estrutural.

Normas e diretrizes técnicas: Comparação das regulamentações vigentes no Brasil e no exterior, destacando evoluções normativas e sugestões de aprimoramento com base nos aprendizados obtidos em estudos e eventos reais.

A pesquisa vem consolidar o conhecimento existente sobre os impactos térmicos nas estruturas de concreto e contribuir para a formulação de diretrizes mais eficazes para avaliação, reforço e reabilitação de edificações submetidas a incêndios.

4 RESULTADO E DISCURSÕES

Devido aos casos históricos ocorridos como forma de tragédias e desastres, sentiu-se a necessidade de criar formas de mitigação, desenvolvendo assim leis e normas relacionadas à segurança, prevenção e padronização das construções em geral.

Os casos de insucesso e colapso de estruturas de concreto em incêndios são exemplos contundentes das limitações do material quando submetido a temperaturas extremas e da importância de projetos que integrem estratégias eficazes de proteção contra incêndios. Embora o concreto seja amplamente reconhecido por sua resistência ao fogo devido à baixa condutividade térmica e à capacidade de retardar a propagação do calor, a ocorrência de falhas catastróficas em incêndios expõe a necessidade de considerar os fatores que comprometem sua integridade estrutural.

Houve em nossa história alguns casos que influenciaram na necessidade da execução das normas, diretrizes e padronização do concreto, entre eles temos:

4.1 O incêndio em Niterói, RJ (Gran Circo Norte-Americano)

O incêndio com maior número de vítimas fatais na história do Brasil ocorreu no Gran Circo Norte-Americano, como ilustrado na figura 5 abaixo.

Figura 3 - Circo Norte-Americano



Fonte: Peter 2021

Em 17 de dezembro de 1961, aos 20 minutos antes do término do espetáculo, sua cobertura começa a pegar fogo e cair sobre o público, 503 mortes ,300 eram crianças. Danilo Stevanovich proprietário havia anunciado como sendo uma cobertura de náilon de seis toneladas, porém investigações mostraram que era de algodão embebido em parafina, altamente inflamável. Além do material inadequado, outros fatores contribuíram para a tragédia, tais como: Falta de saídas de emergência e extintores coisas que passaram a ser exigidas ao longo do tempo como essências par segurança.

4.2 Incêndio no edifício Andraus, Av. São João, São Paulo

O incêndio no edifício Andraus, ocorrido em 24 de fevereiro de 1972, um edifício comercial com 31 andares e deu início provavelmente no térreo em uma loja de departamento, acredita-se que o fogo se iniciou em uns cartazes colocado sobre uma marquise de prédio, destacada na figura 5 a seguir.

Figura 4 - Edifício Andraus



Fonte: Brites 2024

Nesse incêndio houveram 16 mortes e 336 feridos, não existia escada de segurança e a perda de vidas só não foi maior devido um heliponto na cobertura, que fez com que muitas pessoas fossem protegidas devido a laje ser diferenciada e as barreiras do local, segundo o memoria globo, 500 pessoas foram resgatadas no heliponto.

4.3 Incêndio no edifício Joelma, praça da bandeira, São Paulo

O incêndio no Edifício Joelma ocorreu em 1º de fevereiro de 1974, na Praça da Bandeira, em São Paulo. A tragédia aconteceu por volta das 8h50 da manhã, no 12º andar do prédio, devido a um curto-circuito em um aparelho de ar-condicionado.

As chamas se alastraram rapidamente pelos andares superiores devido ao material inflamável presente no edifício, como carpetes, móveis e divisórias de madeira. A falta de escadas de emergência e o rápido avanço do fogo dificultaram a evacuação, fazendo com que muitas pessoas tentassem escapar pelas janelas. O calor intenso e a fumaça tóxica tornaram a situação ainda mais dramática. Algumas vítimas se jogaram do prédio na tentativa de escapar das chamas.

Os resgates foram feitos com o uso de autobombas, autoescadas e plataformas elevatórias, tirolesa de um prédio para o outro prédio vizinho e helicópteros. A figura 6 apresenta o resultado do ocorrido. A tragédia do Edifício Joelma provocou mudanças significativas nas normas de segurança contra incêndios em edifícios no Brasil, incluindo critérios mais rigorosos para saídas de emergência, uso de materiais não inflamáveis e sistemas de combate a incêndios mais eficazes.

Figura 5 - Edifício Joelma



Fonte: Cruz, Padovan 2024

Entre os casos mais conhecidos, como o incêndio no Edifício Joelma (1974, São Paulo) e o colapso do Terminal Internacional de Dusseldorf (1996, Alemanha), destacam-se as falhas relacionadas ao impacto do calor na resistência do concreto e no desempenho das armaduras metálicas.

4.4 O incêndio na Boate Kiss

O incêndio na Boate Kiss foi uma das maiores tragédias do Brasil, ocorrido na madrugada de 27 de janeiro de 2013, em Santa Maria, Rio Grande do Sul. O fogo teve início quando um integrante da banda que se apresentou no local acendeu um artefato pirotécnico, que entrou em contato com o revestimento acústico inflamável do teto. A figura 7 mostra a cena de degradação encontrada após a tragédia. As chamas se espalharam rapidamente, liberando gases tóxicos, como o cianeto, que foram responsáveis pela maior parte das 242 mortes e mais de 600 feridos.

Figura 6 - Boate Kiss



Fonte: Correia 2023

A boate apresentou diversas irregularidades de segurança, incluindo a falta de saídas de emergência certas, sinalização deficiente e superlotação. Muitas vítimas ficaram presas no local devido à fumaça densa e ao bloqueio das portas por seguranças que, inicialmente, impediram a saída para evitar que pessoas saíssem.

A tragédia de Boate Kiss gerou grande comoção nacional e impulsionou debates sobre segurança em casas noturnas. Como consequência, houve maior rigor na fiscalização de normas de prevenção a incêndios em espaços públicos no Brasil.

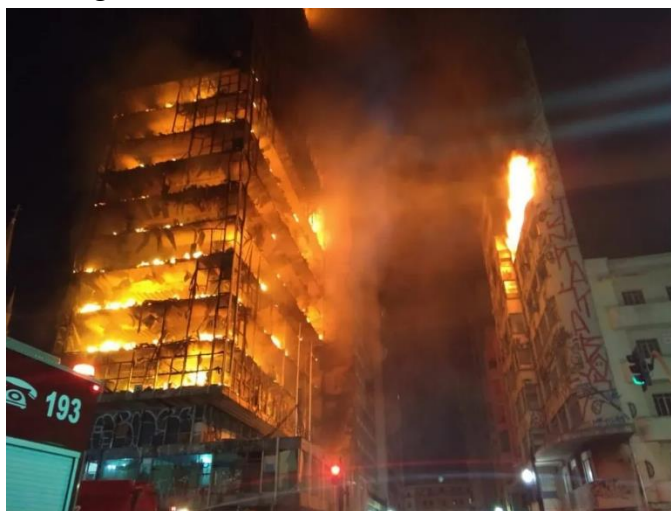
4.5 O Edifício Wilton Paes de Almeida 1 de maio de 2018

O Edifício Wilton Paes de Almeida, um prédio de 24 andares no centro de São Paulo, desabou em 1º de maio de 2018 após um incêndio de grandes proporções. O edifício, originalmente comercial e tombado como patrimônio histórico, estava abandonado há anos e era ocupado irregularmente por cerca de 150 famílias.

O fogo começou no 5º andar por volta da 1h30 e rapidamente se alastrou devido à estrutura de concreto e aço sem manutenção adequada, materiais inflamáveis no interior e falta de compartimentação contra incêndio. O colapso ocorreu aproximadamente 90 minutos após o início do fogo, levando a estrutura a desmoronar completamente.

As causas apontadas incluem a degradação da estrutura, sobrecarga nas instalações elétricas improvisadas e a rápida propagação das chamas. O desabamento deixou várias vítimas, incluindo um homem que estava sendo resgatado pelos bombeiros no momento da queda. O episódio evidenciou problemas habitacionais, de fiscalização e segurança em ocupações irregulares no Brasil.

Figura 7 - Wilton Paes de Almeida incêndio



Fonte: Corpo de bombeiros SP, 2018

Devido todas essa tragédias tivemos grandes mudanças atuais para nosso país, em 2013 foi feito uma comissão de estudo da ABNT para elaborar normas sobre fumaça, surgindo as normas técnicas (NT) 15/2023, a NBR ISSO 7240 - 2020 e a NBR 16983 -

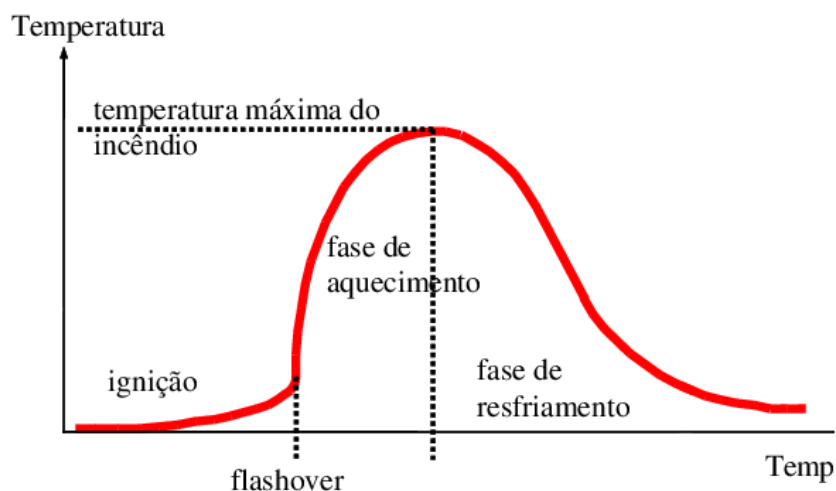
2022 e a lei nº 13.425, conhecida como lei kiss, lei essa que foi aprovada pelo congresso e estabelecida para todo território nacional, visando evitar falhas semelhantes ao sinistro.

4.6 Normas e análise de estruturas de concreto em situações de fogo

Legislações e normas brasileiras tiveram grandes impactos nas épocas dos incêndios do edifício Andraus e edifício Joelma trazendo à tona o decreto Municipal nº 10.878 (como elaboração de projetos), a primeira manifestação técnica em 18 e 21 de março 1974 logo após o incêndio Joelma. Na ABNT foi publicado NB 208 – Saída de Emergência, decreto-lei nº 247 sobre segurança contra incêndio, esse decreto foi no Rio de Janeiro. Em São Paulo como uma legislação em 1983 com decreto nº 20.811, com uma atualização em 1993 com o decreto nº 38,069 - 2001, decreto 46.076 e finalmente o decreto nº 56.819 - 2011. Todas estas mudanças visam trazer maior segurança as pessoas e propriedades. Já em relação as estruturas em situação de incêndio tivemos em 2000, ABNT publicando NBR 14432- 2001 para fôr de dimensionamentos e a NBR 15200- 2004 para estruturas de concreto.

As normas e metodologias de análise de estruturas de concreto em situações de fogo são instrumentos fundamentais para garantir a segurança estrutural e a proteção de vidas em edificações expostas a incêndios. Tais como: curva de incêndio real e a partir dela, que é possível calcular o comportamento térmico dos elementos estruturais expostos ao fogo, mostrado na figura 9.

Figura 8 - Curva de incêndio Real



Fonte: Silva e Azevedo 2009

E o uso da equação que nos mostra a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, que nos fornece a temperatura média dos gases quentes em função do tempo conforme figura 10 abaixo.

Figura 9 - Equação de identificação de temperatura dos gases

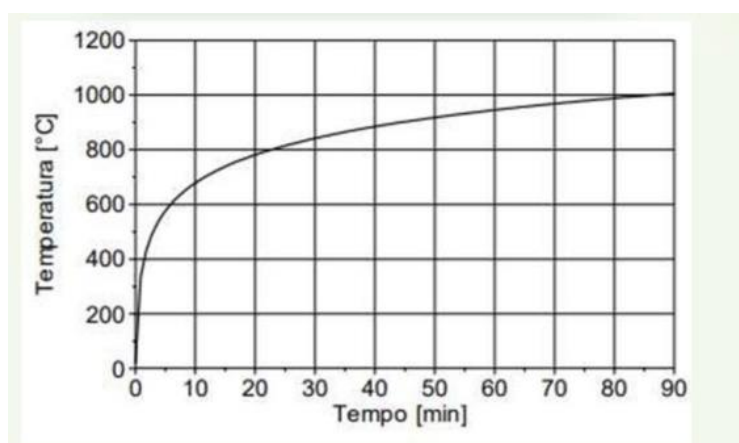
$$\theta_g = 345 \log_{10} (8t + 1) + \theta_{g,0}$$

θ_g = temperatura dos gases no ambiente em chamas c °
 $\theta_{g,0}$ = temperatura dos gases no instante t= 0, geralmente admite-se 20°C
 t = tempo (min)

Fonte: Própria 2025

E o quadro 3, que mostra a curva-padra (temperatura-tempo), ferramenta essencial para o projeto de segurança de estruturas resistentes ao fogo em edificações. Durante os ensaios, os elementos construtivos são submetidos a uma carga térmica específica, definida por essa curva de incêndio, permitindo a avaliação de seu desempenho frente a altas temperaturas.

Quadro 3 - Curva Padrão Temperatura- Tempo



Fonte: Silva 2016

Essas diretrizes técnicas visam prever o comportamento do concreto e seus componentes estruturais, como armaduras de aço, quando submetidos a elevadas temperaturas, fornecendo subsídios para o dimensionamento de projetos e a avaliação de estruturas existentes.

Enquanto no Brasil, a NBR 15200 -2004 da ABNT estabelece parâmetros específicos para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

Essas normativas contemplam aspectos cruciais, como a classificação de resistência ao fogo, que define o tempo mínimo em que uma estrutura deve manter sua integridade e estabilidade sob ação térmica, além de orientações para a utilização de revestimentos protetores, como argamassas intumescentes e placas isolantes.

Em situações de altas temperaturas, o concreto sofre degradação microestrutural, como fissuras por expansão térmica diferencial e perda de água quimicamente ligada, além de rachaduras causadas por choques térmicos durante o resfriamento. A interação entre o concreto e o aço das armaduras é particularmente crítica, pois a expansão térmica do aço pode provocar deslocamento do concreto de cobertura, expondo as armaduras e acelerando o comprometimento da estrutura. Esses eventos são frequentemente agravados pela ausência ou insuficiência de medidas de proteção passiva, como revestimentos isolantes ou sprinklers, que poderiam retardar a progressão dos danos.

Projetos que desconsideram as normas de segurança contra incêndios, como a ausência de planos de evacuação ou o uso de materiais inadequados, aumentam os riscos de colapso estrutural e de perdas humanas e materiais.

A análise dos casos de insucesso reforça a importância de práticas integradas que combinem o uso de materiais resistentes a altas temperaturas, o dimensionamento

adequado de sistemas de proteção passiva e ativa e a adoção de regulamentações rigorosas.

Estudar esses colapsos é essencial para aprimorar o conhecimento técnico, promover inovações no campo da engenharia de materiais e garantir que futuras construções possam resistir melhor aos efeitos devastadores de incêndios.

Metodologias de análise, como simulações computacionais por elementos finitos e ensaios laboratoriais, também desempenham papel central, permitindo a reprodução precisa de cenários reais de incêndio e o estudo do desempenho estrutural em condições extremas. Tais abordagens consideram variáveis como a transferência de calor, a propagação de trincas, o comportamento diferencial entre concreto e aço e a degradação das propriedades mecânicas em função do tempo e da temperatura.

A integração dessas metodologias ao processo de projeto possibilita não apenas atender aos requisitos normativos, mas também desenvolver soluções mais eficazes e econômicas, como a escolha de concretos refratários ou de alta resistência térmica. Além disso, o alinhamento com normativas locais e internacionais é imprescindível para a padronização de práticas e a garantia de um nível elevado de segurança.

Em um contexto onde a urbanização crescente e o aumento de edificações em altura ampliam os riscos associados a incêndios, a aplicação criteriosa de normas e metodologias é indispensável para assegurar a resiliência das estruturas de concreto e a proteção das comunidades.

4.7 Desafios na implementação de normas e requisitos para estruturas de concreto

A implementação de normas e requisitos para estruturas de concreto em situações de incêndio enfrenta diversos desafios técnicos, econômicos e operacionais, que tornam a sua aplicação uma tarefa complexa e multifacetada. Um dos principais obstáculos é a falta de padronização internacional e a necessidade de adaptar as normativas globais, como o Eurocódigo e as normas da ASTM, às especificidades locais, considerando fatores como materiais disponíveis, clima e práticas construtivas regionais.

O cumprimento das normas requer investimentos significativos, tanto na fase de projeto quanto na execução, para incorporar materiais de melhor desempenho térmico,

sistemas de proteção passiva e ativa contra incêndios e técnicas de construção que aumentem a resistência ao fogo.

Muitas vezes, empresas e profissionais do setor da construção civil enfrentam dificuldades para justificar esses custos adicionais, especialmente em mercados com alta competitividade e pressão por redução de orçamentos. Outro desafio relevante é a capacitação técnica de engenheiros, arquitetos e demais envolvidos no processo construtivo, que muitas vezes carecem de formação especializada para interpretar e aplicar as exigências normativas.

A fiscalização também é um ponto crítico, já que a ausência de mecanismos rigorosos de inspeção e certificação pode levar ao descumprimento de requisitos essenciais, comprometendo a segurança das edificações. O avanço da tecnologia e o surgimento de novos materiais e métodos construtivos demandam atualizações frequentes das normas, o que exige um esforço contínuo de pesquisa e regulamentação.

No contexto de países em desenvolvimento, onde há um déficit significativo de regulamentações específicas para estruturas de concreto em incêndios, a implementação de normas enfrenta barreiras adicionais, como a falta de recursos para ensaios laboratoriais e o uso generalizado de materiais de baixa qualidade. Esses desafios ressaltam a importância de uma abordagem integrada, que combine incentivos governamentais, conscientização do setor privado e esforços de educação e treinamento, para promover a aplicação efetiva das normas e requisitos, garantindo a segurança estrutural e a proteção de vidas em situações de incêndio.

4.8 Tecnologias de revestimentos protetores: materiais e técnicas de aplicação

As tecnologias e inovações na proteção e melhoria da resistência ao fogo das estruturas de concreto têm desempenhado um papel crucial na engenharia moderna, permitindo o desenvolvimento de edificações mais seguras e resilientes em situações de incêndio.

Entre as soluções mais avançadas, destacam-se o uso de concretos especiais, como o concreto de alta densidade, o concreto refratário e o concreto de alto desempenho. Tecnologias de revestimento, como argamassas intumescentes e materiais cerâmicos aplicados como barreiras térmicas, oferecem proteção passiva adicional, retardando a

transmissão de calor para o núcleo da estrutura e prolongando o tempo de resistência ao fogo.

Sistemas inovadores de monitoramento estrutural baseados em sensores inteligentes, como termopares e fibras ópticas, permitem a detecção em tempo real das mudanças térmicas e estruturais durante um incêndio, auxiliando no planejamento das ações de combate e evacuação. No campo das simulações computacionais, softwares como o ABAQUS e o ANSYS têm sido amplamente utilizados para prever o desempenho de estruturas em cenários de incêndio, permitindo a otimização do projeto com base em condições específicas.

A integração dessas inovações no processo construtivo é essencial para garantir a segurança dos ocupantes, preservar o patrimônio e atender às demandas de sustentabilidade e urbanização do século XXI

4.9 Inovações na formulação de concreto resistente ao fogo

As inovações na formulação de concreto resistente ao fogo têm sido um foco central de pesquisa e desenvolvimento na construção civil, visando melhorar a segurança estrutural e a eficiência de edificações em situações de incêndio. Concretos convencionais, embora ofereçam uma resistência básica ao fogo, apresentam limitações significativas quando expostos a temperaturas extremas, o que tem impulsionado o estudo de novas composições e aditivos.

Entre as inovações mais promissoras, destaca-se o uso de agregados de alta resistência térmica, como o basalto e a perlita, que aumentam a capacidade do concreto de resistir à propagação do calor. Adições de sílica ativa e metacaulim têm demonstrado aprimorar a densidade e a impermeabilidade do concreto, reduzindo a formação de fissuras durante a expansão térmica e melhorando a coesão interna do material sob altas temperaturas.

Além disso, o uso de fibras de aço, vidro e polipropileno no concreto tem se mostrado eficaz no controle de fissuração e no aumento da ductilidade, permitindo que o material mantenha a integridade estrutural por mais tempo durante um incêndio.

Outra inovação significativa é o desenvolvimento de concretos refratários, que são projetados especificamente para resistir a temperaturas superiores a 1.000°C, utilizando materiais como óxidos metálicos e cerâmicas especiais.

O concreto de ultra alto desempenho (UHPC), por sua vez, tem sido cada vez mais explorado por sua capacidade de atingir altas resistências à compressão e excelente desempenho térmico, mesmo sob condições extremas. Além das propriedades materiais, o desenvolvimento de técnicas de proteção passiva, como revestimentos intumescentes e películas cerâmicas aplicadas à superfície do concreto, tem sido fundamental para prolongar a resistência ao fogo e retardar a degradação do material. O avanço dessas formulações inovadoras exige uma compreensão profunda da interação entre as propriedades térmicas, mecânicas e químicas dos materiais, além de uma estreita colaboração entre engenheiros, químicos e materiais de construção.

No entanto, apesar do grande potencial dessas inovações, sua aplicação prática ainda enfrenta desafios, como o alto custo de produção e a necessidade de novas normativas que regulamentem seu uso. À medida que novas tecnologias se tornam mais acessíveis e eficientes, a formulação de concreto resistente ao fogo continuará a evoluir, oferecendo soluções mais seguras e sustentáveis para a construção de edificações, garantindo a integridade das estruturas e a segurança dos ocupantes durante incêndios.

4.10 Uso de aditivos e fibra de carbono para melhorar a performance térmica

Essas fibras ajudam a melhorar a ductilidade do concreto, permitindo que ele deforme sem sofrer falhas catastróficas, o que é crucial em cenários de incêndio, onde a estrutura pode ser submetida a tensões térmicas intensas. Por outro lado, os aditivos utilizados no concreto, como sílica ativa, metacaulim e aditivos superplastificantes, têm como objetivo aprimorar as propriedades do material, como a densidade e a impermeabilidade, o que reduz a propagação do calor através da estrutura e melhora a resistência térmica do concreto. A sílica ativa, por exemplo, pode melhorar significativamente a coesão interna do concreto, prevenindo a formação de fissuras e aumentando a resistência ao calor.

A combinação dessas tecnologias resulta em um concreto mais eficiente, capaz de resistir a temperaturas extremas por períodos mais longos, permitindo que as estruturas

mantenham sua estabilidade e funcionalidade durante e após a ocorrência de um incêndio. No entanto, apesar das vantagens, a implementação dessas soluções ainda enfrenta desafios, como o custo elevado das fibras de carbono e a necessidade de aprimorar a compatibilidade entre os aditivos e o concreto convencional.

Assim, é fundamental realizar mais estudos e ensaios práticos para avaliar a performance desses materiais em diferentes cenários de incêndio e para estabelecer normas técnicas que garantam a sua aplicação segura e eficaz em projetos de construção civil

4.11 Sistema de monitoramento e alarmes integrados para prevenção de colapso

O desenvolvimento de sistemas de monitoramento e alarmes integrados para prevenção de colapso estrutural em edificações submetidas a incêndios é um avanço significativo na segurança das construções modernas. Esses sistemas têm como principal objetivo detectar precocemente sinais de comprometimento estrutural e ativar mecanismo de alerta que possam permitir a evacuação segura dos ocupantes e a ação rápida dos brigadistas.

A integração de sensores de temperatura, deformação, vibração e pressão, posicionados estrategicamente nas estruturas críticas, permite monitorar em tempo real as condições de integridade do concreto, aço e outros materiais usados na construção. Esses sensores são capazes de identificar variações que indicam riscos iminentes, como a perda de resistência dos materiais devido ao calor excessivo, e podem acionar alarmes automáticos para alertar os ocupantes sobre a necessidade de evacuação.

Além disso, a comunicação entre os sensores e os sistemas de controle deve ser contínua e redundante, de forma que, mesmo no caso de falhas parciais, a detecção de riscos não seja comprometida. A integração do sistema de monitoramento com dispositivos de combate a incêndio, como sprinklers automáticos e sistemas de ventilação, possibilita uma resposta mais eficiente e coordenada, reduzindo o tempo de exposição ao fogo e, consequentemente, os danos estruturais.

Para garantir a eficácia desses sistemas, é fundamental que sejam desenvolvidos protocolos claros para a análise dos dados coletados, com a participação de engenheiros estruturais, especialistas em segurança contra incêndios e profissionais de emergência.

Adicionalmente, a implementação de redes de comunicação de alta confiabilidade, capazes de operar em situações de risco, como incêndios, é crucial para garantir a operação contínua do sistema em momentos críticos.

Dessa forma, um sistema de monitoramento e alarmes integrados bem projetado e mantido pode não apenas prevenir o colapso de estruturas, mas também salvar vidas e minimizar os danos materiais em cenários de incêndio, oferecendo uma solução inovadora e eficaz para a proteção de edificações.

4.12 Desenvolvimento de novos materiais inteligentes para estruturas de concreto

O desenvolvimento de novos materiais inteligentes para estruturas de concreto representa uma das frentes mais promissoras para a evolução das construções, especialmente no que diz respeito à segurança contra incêndios e à durabilidade das estruturas. Materiais inteligentes, como os concretos autorregenerativos, aqueles que respondem a estímulos externos ou os que integram sensores de monitoramento embutidos, estão transformando a maneira como os engenheiros abordam os desafios estruturais e de segurança.

No contexto de incêndios, por exemplo, o concreto inteligente pode ser projetado para reter ou dissipar calor de forma mais eficiente, retardando o aumento da temperatura nas estruturas e, assim, aumentando o tempo de segurança antes do colapso. Concretos com adição de fibras de carbono ou polímeros especiais têm se mostrado eficazes no aumento da resistência à temperatura elevada, além de melhorar a integridade estrutural mesmo sob condições extremas. Outro exemplo relevante são os concretos que incorporam partículas microencapsuladas que liberam substâncias curativas quando ativadas pela presença de fissuras, o que pode aumentar a longevidade e a resiliência das estruturas, prevenindo falhas devido à degradação com o tempo ou impacto térmico.

Além disso, materiais que incluem sistemas de sensores capazes de medir a temperatura, a deformação e até mesmo o nível de radiação térmica dentro do concreto têm possibilitado a criação de sistemas de monitoramento integrados, permitindo a detecção precoce de riscos e a adoção de medidas corretivas antes que danos irreparáveis ocorram.

A pesquisa em novos materiais também explora o uso de nanotecnologia para melhorar a densidade e impermeabilidade do concreto, minimizando os efeitos da penetração de água e agentes químicos que possam prejudicar a estrutura durante e após um incêndio.

A integração desses materiais inteligentes não só potencializa a resistência estrutural, mas também oferece uma abordagem mais eficiente e proativa na manutenção da segurança dos edifícios, alinhando inovação com a necessidade de atender a normas de desempenho e sustentabilidade na construção civil. Contudo, apesar de promissores, esses materiais ainda enfrentam desafios relacionados ao custo de produção e à padronização dos processos de fabricação, exigindo mais estudos e experimentos para comprovar sua viabilidade em larga escala.

4.13 Desafios e oportunidades para o futuro da engenharia civil no combate a incêndios

Os desafios e as oportunidades para o futuro da engenharia civil no combate a incêndios estão intimamente ligados à evolução das tecnologias construtivas, ao aumento das exigências regulatórias e à crescente conscientização sobre a importância da segurança estrutural em situações extremas. A complexidade dos edifícios modernos, com a utilização de materiais inovadores e maior densidade de ocupação, traz consigo desafios adicionais para o controle e a prevenção de incêndios.

Por um lado, a resistência ao fogo de materiais como o concreto pode ser melhorada com o uso de novas ligas e aditivos, mas, por outro, o design das construções muitas vezes não leva em consideração o impacto de incêndios em estruturas de maneira abrangente. O aumento das alturas das edificações e a utilização de grandes áreas de vidro, por exemplo, aumentam os riscos e requerem uma reavaliação das normas de segurança e resistência.

Nesse cenário, a engenharia civil tem uma grande oportunidade de inovar, não apenas no desenvolvimento de materiais mais seguros e resistentes, mas também na aplicação de novas metodologias de design, como o uso de inteligência artificial para simulação e monitoramento de incêndios em tempo real, possibilitando ações preventivas e corretivas durante a ocorrência do sinistro.

Além disso, a integração de sistemas de monitoramento e controle inteligentes nas construções, que possam detectar alterações nas condições térmicas e estruturais antes de um colapso, apresenta uma oportunidade significativa para a melhoria da segurança.

A implementação de sistemas de alarmes automáticos, sensores de temperatura e outras tecnologias de monitoramento da integridade estrutural pode permitir que as equipes de resgate e os ocupantes sejam alertados com antecedência, aumentando as chances de uma evacuação segura.

Contudo, o futuro da engenharia civil no combate a incêndios exige, além de inovação tecnológica, uma abordagem interdisciplinar que envolva engenheiros estruturais, arquitetos, especialistas em sistemas de incêndio, e profissionais de segurança, trabalhando em conjunto para criar soluções cada vez mais eficazes. Ao mesmo tempo, é fundamental que a educação e a formação dos futuros profissionais da área integrem uma compreensão profunda sobre a dinâmica dos incêndios e a forma como diferentes materiais e sistemas estruturais reagem às condições extremas de fogo, capacitando-os a enfrentar os desafios de um cenário em constante evolução.

O papel das universidades e centros de pesquisa no avanço da segurança contra incêndios é fundamental para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, metodológicas e regulatórias que possam mitigar os riscos e os danos causados por incêndios em edificações.

Essas instituições atuam na fronteira do conhecimento, conduzindo estudos e experimentos que buscam aprimorar a resistência dos materiais, melhorar os sistemas de detecção e combate a incêndios, e otimizar os protocolos de segurança. Através de projetos de pesquisa interdisciplinar, envolvendo engenheiros civis, arquitetos, especialistas em combate a incêndios, e cientistas dos materiais, as universidades têm contribuído significativamente para a criação de novas tecnologias, como concretos de alto desempenho e sistemas de monitoramento inteligente que são capazes de detectar sinais precoces de incêndio ou falhas estruturais.

Além disso, essas instituições são responsáveis pela formação de profissionais altamente capacitados, que não apenas compreendem as questões teóricas, mas também estão aptos a aplicar inovações e melhores práticas no campo, ajudando a transformar as pesquisas acadêmicas em soluções aplicáveis no mundo real.

As universidades também desempenham um papel crucial na análise e melhoria das normas de segurança contra incêndios, realizando estudos de impacto que subsidiam

a revisão das regulamentações e exigências técnicas, contribuindo para a construção de um arcabouço legal mais robusto e adequado às novas realidades das construções.

Outro ponto relevante é a parceria com a indústria e os órgãos governamentais, o que possibilita a aplicação das descobertas científicas em larga escala e a implementação de novos sistemas e materiais no mercado.

Em um cenário de constantes mudanças nas exigências de segurança e na evolução das construções, as universidades e centros de pesquisa se tornam atores indispensáveis, pois não apenas avançam na criação de novos conhecimentos, mas também garantem que as soluções sejam seguras, validadas e aplicadas, ajudando a salvar vidas e a proteger as infraestruturas contra os danos irreparáveis de um incêndio. O papel das universidades e centros de pesquisa no avanço da segurança contra incêndios é fundamental para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, metodológicas e regulatórias que possam mitigar os riscos e os danos causados por incêndios em edificações.

Essas instituições atuam na fronteira do conhecimento, conduzindo estudos e experimentos que buscam aprimorar a resistência dos materiais, melhorar os sistemas de detecção e combate a incêndios, e otimizar os protocolos de segurança. Através de projetos de pesquisa interdisciplinar, envolvendo engenheiros civis, arquitetos, especialistas em combate a incêndios, e cientistas dos materiais, as universidades têm contribuído significativamente para a criação de novas tecnologias, como concretos de alto desempenho e sistemas de monitoramento inteligente que são capazes de detectar sinais precoces de incêndio ou falhas estruturais.

Além disso, essas instituições são responsáveis pela formação de profissionais altamente capacitados, que não apenas compreendem as questões teóricas, mas também estão aptos a aplicar inovações e melhores práticas no campo, ajudando a transformar as pesquisas acadêmicas em soluções aplicáveis no mundo real.

As universidades também desempenham um papel crucial na análise e melhoria das normas de segurança contra incêndios, realizando estudos de impacto que subsidiam a revisão das regulamentações e exigências técnicas, contribuindo para a construção de um arcabouço legal mais robusto e adequado às novas realidades das construções.

Outro ponto relevante é a parceria com a indústria e os órgãos governamentais, o que possibilita a aplicação das descobertas científicas em larga escala e a implementação de novos sistemas e materiais no mercado. Em um cenário de constantes mudanças nas exigências de segurança e na evolução das construções, as universidades e centros de pesquisa se tornam atores indispensáveis, pois não apenas avançam na criação de novos

conhecimentos, mas também garantem que as soluções sejam seguidas, validadas e aplicadas, ajudando a salvar vidas e a proteger as infraestruturas contra os danos irreparáveis de um incêndio

4.14 Desafios na implementação de novas tecnologias e materiais

A implementação de novas tecnologias e materiais no setor da construção civil, especialmente no que diz respeito à segurança contra incêndios, enfrenta diversos desafios que envolvem aspectos técnicos, econômicos e regulatórios.

Um dos principais obstáculos é a resistência à mudança por parte de profissionais e empresas do setor, que muitas vezes estão acostumados com métodos tradicionais e, portanto, relutam em adotar inovações devido à incerteza quanto à sua eficácia e viabilidade. Além disso, a adaptação de novas tecnologias a sistemas de construção já existentes pode ser complexa e exigir ajustes significativos no processo de projeto e execução, o que aumenta o custo e o tempo necessário para implementação.

A avaliação da performance de materiais inovadores, como concretos com aditivos especiais ou sistemas de revestimento à prova de fogo, em condições extremas de incêndio também representa um desafio, uma vez que as simulações nem sempre conseguem replicar de maneira precisa a dinâmica real de um sinistro. Por outro lado, a implementação dessas inovações pode ser dificultada pela falta de regulamentações e normas técnicas claras, que precisam ser constantemente atualizadas para abranger os novos avanços.

A resistência a incêndios dos materiais e a adequação de novos produtos às exigências de segurança não só demandam testes rigorosos, mas também uma revisão das normativas de construção, que frequentemente ficam defasadas em relação às novas soluções disponíveis. Adicionalmente, o custo inicial elevado de novas tecnologias, que pode ser um fator limitante, muitas vezes é superado pelos benefícios em termos de segurança e desempenho a longo prazo, o que destaca a importância de uma visão estratégica que considere a viabilidade econômica em um horizonte mais amplo.

Por fim, a capacitação de profissionais para lidar com essas inovações é outro desafio, pois exige uma atualização contínua de conhecimentos técnicos, além de promover uma mudança cultural no setor, incentivando a adoção de práticas mais seguras

e eficientes. Portanto, superar esses desafios requer uma abordagem integrada entre pesquisa acadêmica, indústria e governo, visando à criação de um ambiente mais favorável à implementação de tecnologias e materiais inovadores que melhorem a segurança contra incêndios em edificações.

4.15 A importância da formação e conscientização de profissionais da construção

A formação e conscientização de profissionais da construção civil em relação à segurança contra incêndios é fundamental para garantir a integridade das edificações e a segurança dos ocupantes. Em um cenário de constante evolução tecnológica e normativa, é crucial que engenheiros, arquitetos, técnicos de segurança, e demais envolvidos no ciclo de vida da construção compreendam as implicações do comportamento do fogo em diferentes materiais e sistemas construtivos, bem como as melhores práticas de prevenção, mitigação e combate a incêndios.

A falta de conhecimento adequado pode levar à aplicação incorreta de materiais e técnicas que comprometam a resistência ao fogo das estruturas, aumentando o risco de falhas catastróficas. A formação contínua desses profissionais deve abordar desde a concepção do projeto, com o planejamento de sistemas de prevenção adequados, até a execução, com o uso de materiais certificados e sistemas de proteção ativos e passivos eficientes.

Além disso, a conscientização sobre a importância de seguir as normas e regulamentações específicas para segurança contra incêndios, como as prescrições do Corpo de Bombeiros e outras entidades competentes, é essencial para a construção de edificações seguras. Para que essa formação seja efetiva, é necessário incorporar o tema da segurança contra incêndios nos currículos acadêmicos e promover programas de capacitação ao longo da carreira profissional, destacando os impactos que uma falha na segurança pode ter tanto na preservação de vidas quanto nos danos materiais e econômicos resultantes.

A conscientização também deve ser estendida para os trabalhadores de campo, como operários e encarregados, garantindo que todos os envolvidos estejam alinhados quanto aos protocolos de segurança, principalmente durante situações de emergência. Dessa forma, a formação e conscientização dos profissionais da construção civil são um

pilar fundamental para a criação de ambientes urbanos mais seguros, sustentáveis e resilientes.

4.16 Perspectivas de desenvolvimento sustentável e resiliente no contexto urbano

As perspectivas de desenvolvimento sustentável e resiliente no contexto urbano emergem como pilares fundamentais para a construção de cidades mais seguras, ecológicas e adaptáveis aos desafios contemporâneos. O crescimento acelerado das áreas urbanas, aliado às mudanças climáticas e à crescente pressão sobre os recursos naturais, exige que as soluções de planejamento e construção considerem não apenas a eficiência energética e o uso responsável dos materiais, mas também a resiliência estrutural diante de eventos extremos, como incêndios, enchentes e outros desastres naturais.

No contexto da construção civil, isso implica na adoção de materiais e tecnologias inovadoras que minimizem o impacto ambiental e maximizem a segurança dos ocupantes. O uso de concreto resistente ao fogo, sistemas de proteção passiva e ativa contra incêndios, além da incorporação de soluções como telhados verdes e sistemas de reuso de águas pluviais, são algumas das estratégias que contribuem para cidades mais resilientes.

Além disso, é fundamental integrar a ideia de "cidades inteligentes", nas quais sensores e tecnologias de monitoramento em tempo real são utilizados para detectar incêndios, falhas estruturais ou até a necessidade de manutenção, facilitando a prevenção e a gestão de emergências. A sustentabilidade também implica na criação de ambientes urbanos mais inclusivos, acessíveis e preparados para os impactos das transformações ambientais, garantindo não apenas a eficiência ecológica, mas também a equidade social e a segurança dos habitantes.

Nesse sentido, as políticas públicas, as normas de construção e os programas de educação e conscientização desempenham um papel essencial para que o desenvolvimento urbano seja efetivamente sustentável e resiliente, promovendo a qualidade de vida, a preservação ambiental e a mitigação dos riscos aos quais as cidades estão expostas. O desafio, portanto, é alinhar o crescimento urbano com a preservação ambiental e a segurança estrutural, criando soluções que atendam às necessidades do

presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o concreto, quando submetido a altas temperaturas e ao fogo, sofre degradações significativas, resultando em perdas expressivas de resistência mecânica e integridade estrutural. As alterações nos elementos constituintes do concreto tornam-se extremamente agressivas, comprometendo sua durabilidade e segurança. No entanto, observa-se que as normas técnicas vigentes, aliadas a estudos contínuos sobre o tema, têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento de novos materiais e técnicas construtivas que visam minimizar os impactos térmicos e aprimorar a segurança das edificações. Diante disso, destaca-se a importância da realização de análises criteriosas após incidentes térmicos, permitindo a adoção de medidas corretivas e preventivas em conformidade com regulamentações e melhores práticas da engenharia, contribuindo para a mitigação de riscos e a preservação da segurança estrutural.

REFERÊNCIAS

ALVES, Nadine. Como a construção civil sustentável está moldando o futuro. Construct, 09 mai. 2024. Disponível em: <<https://constructapp.io/construcao-civil-sustentavel-2/>>. Acesso em: 02 jan. 2025.

ANTAC, Associação Nacional de Tecnologia e Automação. Livro. Euroelecs, 2024. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/3555>>. Acesso em: 02 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 2001^a

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200: projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16983:2022 Ed. 2: Controle de fumaça e calor em incêndio. Brasil 10/ 2022.

BRASIL ESCOLA. O que é combustão. Brasil Escola, 2024. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-combustao.htm>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

BRITES, Ramiro. Palco de incêndio histórico em 1972, Edifício Andraus volta a pegar fogo. Revista Veja, 2024. Disponível em <<https://veja.abril.com.br/coluna/maquiavel/palco-de-incendio-historicoem-1972-edificio-andraus-volta-a-pegar-fogo>> Acesso em 25 de fevereiro de 25.

CHELENPER, Diones. Backdraft e Flashover – Fenômenos do Fogo, 2021. Disponível em < <https://prevencaoemfogo.prevenseg-treinamentos.com.br/backdraft-e-flashover-fenomenos-do-fogo/> > Acesso em 23 de dezembro de 2024.

COELHO, Adenilson Roberto, CANPOS, Geórgia Cristina Roveda, SANTOS, Carine Cardoso dos Santos, PEREIRA, Helena Ravache Samy, FURLANETO, Tássia. Comportamento do concreto submetido a elevadas temperaturas e o posterior resfriamento brusco. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, 2024. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rmat/a/hQsPLLNXQwZggsRNRQX3TDB/>. > Acesso em: 17 fev. 2025.

COELHO, Adenilson Roberto; CAMPOS, Geórgia Cristina Roveda; PEREIRA, Helena Ravache Samy. Comportamento do concreto exposto a elevadas temperaturas de incêndio e o posterior choque térmico por resfriamento brusco. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2019, Palmas. Anais... Palmas: CONFEA, 2019. Disponível em: <<https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2019/Civil/COMPOR~1.PDF>>. Acesso em: 23 dez. 2025

CORPO DE BOMBEIROS DO PARANÁ. Fogo. Corpo de Bombeiros do Paraná, 2024. Disponível em: <<https://www.bombeiros.pr.gov.br/Pagina/Fogo>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

CORREIA, Luis Fernando. Boate Kiss 10 anos depois: 'é preciso prevenir riscos para não lamentar tragédias'. CBN. 2023. Disponível em <<https://cbn.globoradio.globo.com/media/audio/398870/boatekiss-10-anos-depois-e-preciso-prever-riscos-.htm>> Acesso em 25 de fevereiro de 2025.

CRISPIM, Honório Assis Filho; CRISPIM, Calvin Mariano Rêgo. Análise de estruturas de concreto armado em situação de incêndio: um insight. Revista da Arquitetura - Cidadania e Habitação, Brasília, v. 1, n. 1, p. 100-117, 2021. Disponível em: <<https://www.jus.uniceub.br/ra/article/viewFile/7012/pdf>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

CRUZ, Elaine Patricia, PADOVAN, Thiago. Incêndio no Edifício Joelma mudou regras de segurança predial. Agência Brasil 2024. Disponível em <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/202401/incendio-no-edificio-joelma-mudou-regras-de-seguranca-predial>> Acesso em 25 de fevereiro de 2025.

DIAS, Alisson Rodrigues de Oliveira, AMANCIO, Felipe Alves, RAFAEL, Maria Fabiola de Carvalho, CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. Comportamento do concreto submetido a elevadas temperaturas. 2020. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/bjQ4HkBHBWbMjYtDsYkfwXn/>>. Acesso em : 13 fev. 2025.

DUTRA, Francisco Eduardo Fideles. Engenharia de segurança contra incêndio e pânico: sua importância e contribuição na preservação de vidas e patrimônios. Revista Científica de Alto Impacto, v. 28, n. 137, ago. 2024. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/engenharia-de-seguranca-contraincendio-e-panico-sua-importancia-e-contribuicao-na-preservacao-de-vidas-e-patrimonios/>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

FERNADES B., GIL A. M., BOLINA F. L., TUTIKIAN B. F Microestrutura do concreto submetido a altas temperaturas: alterações físico-químicas e técnicas de análise. Revista IBRACON de Estrutura e Matérias. Agosto 2017Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/riem/a/Fn8Q7Vqx6rDYRNJMPNTwMwk/?lang=pt>>. Acesso em: 17 fev. 2025.

FORIGO, C., LOPES, Y. D., VANALLI, L. Determinação da resistência à compressão do concreto exposto a altas temperaturas pelo método de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, 2021.<[file:///C:/Users/Eduardo/Downloads/cousteau,+9904-31657-1-ED%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Eduardo/Downloads/cousteau,+9904-31657-1-ED%20(2).pdf)> Acesso em março 2015.

GARCÍA, José Luis. Impactos do fogo nas estruturas de concreto: uma breve revisão. Revista Mexicana de Ingeniería Civil, Cidade do México, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em:<https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200768352020000100002&lng=es&nrm=i.p&tlng=pt>. Acesso em: 2 jan. 2025.

GILES, Giovanna Castro; MAIERO, Luan Mantuan; PERFE, Wenderson Alexandre de Sousa

HELENE, Paulo, COUTO, Douglas, PACHECO, Jéssica. Incendo e desabamento do edifício Wilton Paes de Almeida em São Paulo. Revista ALCONPAT 2007.<<https://doi.org/10.21041/ra.v10i1.419>> . Acesso em março 2025.

HENDRIX, Izabela; LIMA, João Carlos. Análise comparativa entre fibras de carbono, vidro e aramida para reforço estrutural em elementos de concreto armado. Anais do Congresso de Engenharia e Tecnologia, 2019. p. 718-738. Disponível em:

<<http://izabelahendrix.edu.br/pesquisa/anais/arquivos2019/engenharias/analise-comparativa-entrefibras-de-carbono-vidro-e-aramida-para-reforco-estrutural-em-elementos-de-concreto-armado-pag718-738.pdf>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

MACHADO, Renata. Gestão da segurança contra incêndios em edificações universitárias: um estudo na Universidade Federal de Santa Catarina. 2021. 126 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração Universitária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/231049>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

MORALES, Gilson. A interação entre o concreto e outros materiais em situações de incêndio. [S. l.], 2023. Disponível em:<

<https://www.scielo.br/j/riem/a/qw3rLsvz4yW5BQYfQGz7kby/>>. Acesso em: 15 janeiro 2025.

PETER, Jorge. Incêndio mais mortal do país faz 60 anos; historiador lembra como ‘escapou’. 2021. Disponível em < <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2021/12/17/nunca-mais-fui-aum-circo-diz-historiador-que-escapou-de-tragedia-em-61.htm>> Acesso em 25 de fevereiro de 2025.

PIMENTEL, F.; VELASCO, R.; ALMEIDA, T. Análise térmica de concretos com a incorporação de agregados leves. Encontro Latino Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, v. 4, p. 320–331, 2023. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2523>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. Estruturas de concreto – Capítulo 2: características do concreto. São Carlos: Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, mar. 2004. Disponível em:<<https://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

PROMAT. Proteção estrutural contra incêndios: por que é importante? Promat. 27 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.promat.com/pt-br/construcao/blog/141969/protecao-estrutural-contra-incendio/>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

ROCHA, Marco Aurélio da. Técnicas de combate a incêndio interior (estrutural) - parte2, Revista Emergência, junho de 2022. Disponível em < <https://revistaemergencia.com.br/blogs/tecnicas-de-combate-a-incendio-interior-estrutural-2a-parte/#:~:text=O%20ataque%20combinado%20%C3%A9%20um,atingindo%20a%20base%20das%20chamas.>> Acesso em: 23 dez. 2024.

ROCHA, Rochanna Alves. Efeito da alta temperatura em concretos: Uma revisão da literatura. 2018. Disponível em < <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/726>>. Acesso em 10 de 03 de 2025.

SÁ, Fernanda. O tetraedro do fogo. SOS Paantanal.2021. Disponível em < <https://sospaantanal.org.br/otetraedro-do-fogo/>> Acesso em 25 12 2024

SANTOS, Juan Vinicius dos; QUARESMA, José Eduardo. Considerações sobre o desempenho de estruturas de concreto pré-moldado em situações de incêndio. Revista FT, v. 27, n. 128, nov. 2023. Disponível em: < <https://revistaft.com.br/consideracoes-sobre-o-desempenho-de-estruturas-deconcreto-pre-moldado-em-situacoes-de-incendio/>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

SILVA, Valdir Pignatta, AZEVEDO, Macksuel Soares de. Análise térmica de estruturas de aço externas a edificações, sem revestimento contra fogo 2009.<https://www.researchgate.net/publication/267865598_Analise_termica_de_estruturas_de_aco_externas_a_edificacoes_sem_revestimento_contra_fogo>. Acesso em março 2025.

SILVA, Valdir Pignatta. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio/ Valdir Pignatta Silva -2. Ed. – São Paulo: Blucher, 2016.

SILVA. Efeitos do resfriamento de concreto expostos à altas temperaturas. Revista F&T, v. 27, n. 128, nov. 2023. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/efeitos-do-resfriamento-de-concreto-expostos-aaltas-temperaturas/>>. Acesso em: 23 dez. 2024.

SÓLIDA ENGENHARIA & CONSTRUÇÃO. Concreto inteligente: revolucionando a construção civil. Sólida Engenharia & Construção. 2024. Disponível em: <<https://solidaengenharia.com/2024/02/concreto-inteligente-revolucionando-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

TECNOSIL. Concreto translúcido: saiba tudo sobre essa inovação para as construções. Tecnosil. Disponível em: < <https://www.tecnosilbr.com.br/concreto-translucido-saiba-tudo-sobre-essa-inovacaopara-as-construcoes/>>. Acesso em: 2 jan. 2025.

TRANSOBRA. Do que é feito o concreto? Transobra, [S. l.], 2023. Disponível em: <<https://www.transobra.com.br/do-que-e-feito-o-concreto/>>. Acesso em: 17 fev. 2025.

TRANSOBRA. O que enfraquece o concreto? Transobra, [S. l.], 2023. Disponível em:<<https://www.transobra.com.br/o-que-enfraquece-o-concreto/>>. Acesso em: 17 fev. 2025.

VESPASIANO, Ana Beatriz Rodrigues. Estruturas de concreto armado em situação de incêndio: estudo de caso. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade

VIEIRA, Alexandre, VIDAL, Vanderlei Vanderlino. Características residuais do concreto armado após ser submetido à situação de incêndio. 2015. Disponível em

<<https://www.cbm.sc.gov.br/index.php/biblioteca/trabalhos-academicos/tcc-outroscursos/category/86-cpi-curso-de-pericia-de-incendio-e-explosao-2015?download=633:aracteristicasresiduais-do-concreto-armado-apos-ser-submetido-a-situacao-de-incendio-alexandre-vieira-1vanderlei-vanderlino-vidal-2> >. Acesso em março 2025.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409
	R. Tranquilino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Entrega de TCC

Assunto:	Entrega de TCC
Assinado por:	Eduardo Moraes
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Eduardo Moraes Sousa, ALUNO (201811220019) DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS - CAMPINA GRANDE, em 28/03/2025 17:51:18.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/03/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1439455
Código de Autenticação: a4d7160473

