



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

PEDRO SARAIVA DA CRUZ FILHO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA TINTA INTUMESCENTE NA PROTEÇÃO DO
CONCRETO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

JUAZEIRO DO NORTE

2026

PEDRO SARAIVA DA CRUZ FILHO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA TINTA INTUMESCENTE NA PROTEÇÃO DO
CONCRETO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto.
Coorientadora: Profa. Dra. Sofia Leão Carvalho.

JUAZEIRO DO NORTE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

C957e Cruz Filho, Pedro Saraiva da.

Estudo da eficiência da tinta intumescente na proteção do concreto em situações de incêndio / Pedro Saraiva da Cruz Filho. – 2026.
49 f. : il. color.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, CE, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto.

Coorientadora: Profa. Dra. Sofia Leão Carvalho.

1. Engenharia civil. 2. Segurança contra incêndio. 3. Tinta intumescente. 4. Concreto - Proteção térmica. 5. Spalling. I. Barreto, Aerson Moreira (Orient.). II. Carvalho, Sofia Leão (Coorient.). III. Universidade Federal do Cariri. IV. Título.

CDD 624.1834

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

“Estudo da eficiência da tinta intumescente na proteção do concreto em situações de incêndio”

Pedro Saraiva da Cruz Filho

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil. Área de concentração: Engenharia Civil.

Aprovada em 07 de abril de 2026.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br AERSON MOREIRA BARRETO
Data: 15/04/2026 10:26:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto
Orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br SOFIA LEAO CARVALHO
Data: 17/05/2026 11:43:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Sofia Leão Carvalho
1º membro examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIA FABIANA MARQUES ALMEIDA
Data: 18/05/2026 11:30:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Antônia Fabiana Marques
Almeida
2º membro examinador

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso contou com o apoio de diversas pessoas, às quais expresso meus sinceros agradecimentos.

Aos meus orientadores, Prof.^a Dra. Sofia Leão Carvalho e Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto, pelo suporte, orientação e dedicação ao longo de toda a elaboração deste trabalho, contribuindo de forma fundamental para sua conclusão.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, que, ao longo desta trajetória acadêmica, compartilharam seus conhecimentos e contribuíram significativamente para minha formação.

Aos professores e técnicos do curso de Engenharia de Materiais, pelo apoio na obtenção dos dados experimentais e pela disponibilização dos laboratórios necessários à realização desta pesquisa.

A minha colega de curso Rafaela Felix Amorim, por tantas parcerias e apoio em diversas disciplinas.

À minha esposa, pelo apoio, compreensão e incentivo constantes ao longo desta jornada.

RESUMO

A segurança contra incêndio e pânico constitui um tema relativamente recente no contexto nacional, que, em escala global, costuma ganhar maior relevância apenas após a ocorrência de grandes tragédias. Nesse cenário, a adoção de soluções tecnicamente e economicamente viáveis torna-se essencial para garantir a evacuação segura da população em situações de incêndio, sem comprometer a viabilidade dos empreendimentos. Dentre essas soluções, destaca-se a utilização de tintas intumescentes, que atuam como proteção térmica ao impedir a transferência integral de calor entre ambientes, contribuindo para a redução da temperatura em áreas não expostas diretamente ao fogo. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da tinta intumescente na proteção de elementos de concreto submetidos a altas temperaturas. Para isso, foram utilizados corpos de prova de concreto, com e sem revestimento intumescente, submetidos a diferentes níveis de aquecimento. Após o resfriamento, realizou-se ensaio de resistência à compressão, seguido de análise química por Fluorescência de Raios X, a fim de identificar possíveis alterações na composição dos materiais. Os resultados demonstraram que a tinta intumescente contribui significativamente para a redução da transferência de calor, promovendo maior preservação das propriedades do concreto e aumentando sua resistência em situações de incêndio. Além disso, verificou-se que o uso desse revestimento favorece a criação de rotas de fuga mais seguras.

Palavras-chave: Tinta intumescente. *Spalling*. Temperatura. Concreto.

ABSTRACT

Fire safety and panic prevention constitute a relatively recent topic in the national context, which, on a global scale, tends to gain greater relevance only after the occurrence of major tragedies. In this scenario, the adoption of technically and economically viable solutions becomes essential to ensure the safe evacuation of the population in fire situations, without compromising the feasibility of projects. Among these solutions, the use of intumescent paints stands out, as they act as thermal protection by preventing the full transfer of heat between environments, contributing to the reduction of temperature in areas not directly exposed to fire. This study aims to evaluate the efficiency of intumescent paint in protecting concrete elements subjected to high temperatures. For this purpose, concrete specimens, with and without intumescent coating, were subjected to different heating levels. After cooling, compressive strength tests were carried out, followed by chemical analysis using X-ray Fluorescence, in order to identify possible changes in the composition of the materials. The results showed that intumescent paint significantly contributes to reducing heat transfer, promoting greater preservation of concrete properties and increasing its resistance under fire conditions. Furthermore, it was verified that the use of this coating favors the creation of safer evacuation routes.

Keywords: Intumescent paint; Spalling; Temperature; Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva temperatura-tempo de um incêndio real	20
Figura 2 - Spalling em pilar de concreto	23
Figura 3 – Expansão da tinta intumescente submetida à alta temperatura.....	24
Figura 4 - Teste de compressão utilizando prensa hidráulica.	33
Figura 5 – Corpo de prova a 200 °C.....	35
Figura 6 - Corpo de prova a 300 °C	36
Figura 7 – Sequência de elevação de temperatura que resultou em <i>spalling</i> explosivo. ...	37
Figura 8 – Corpo de prova a 500 °C.....	38
Figura 9 - Corpo de prova a 600 °C	39
Figura 10 - Corpo de prova a 665 °C	40
Figura 11 - Corpo de prova a 792 °C	40
Figura 12 - Relação entre temperatura e resistência à compressão residual ($f_{ck,0}$) para corpos de prova com e sem aplicação de tinta intumescente.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Técnica de caracterização aplicada ao estudo de concreto protegido com tinta intumescente.....	26
Tabela 2 - Efeitos da temperatura na sílica.	28
Tabela 3 - Valores das relações $k_{c,\theta} = f_{ck,\theta} / f_{ck}$ para concreto de massa específica normal preparados com agregados predominantemente siliciosos.	32
Tabela 4 - Resultados dos testes dos corpos de prova após serem submetidos a altas temperaturas.	33
Tabela 5 - Análise de composição química semiquantitativa por Fluorescência de Raios-X.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BS	<i>British Standards</i>
CBMDF	Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
CP	Corpo de prova
EN	European Norm
EUA	Estados Unidos da América
FRX	Fluorescência de Raios X
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
RJ	Rio de Janeiro
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
UFCA	Universidade Federal do Cariri

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{ck}	resistência característica à compressão do concreto na temperatura ambiente.
$f_{ck,\theta}$	resistência característica à compressão do concreto na temperatura θ .
$k_{c,\theta}$	fator de redução da resistência do concreto na temperatura θ .
MPa	Megapascal
Cl	elemento químico cloro
Al_2O_3	óxido de alumínio.
CaO	óxido de cálcio.
Cr_2O_3	óxido de cromo.
CuO	óxido de cobre.
Fe_2O_3	óxido de ferro III.
K_2O	óxido de potássio.
MnO	óxido de manganês.
MoO_3	óxido de molibdênio.
Nb_2O_5	óxido de nióbio.
NiO	óxido de níquel.
Rb_2O	óxido de rubídio.
SiO_2	sílica.
SO_3	trióxido de enxofre.
SrO	óxido de estrôncio.
TiO_2	óxido de titânio.
V_2O_5	óxido de vanádio.
Y_2O_3	óxido de ítrio.
ZnO	óxido de zinco.
ZrO_2	óxido de zircônio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Histórico e normas	16
2.1.1 <i>Impacto das tragédias nas normas</i>	18
2.2 Fogo e Incêndio.....	19
2.3 Proteção passiva	21
2.4 Proteção ativa	21
2.5 Comportamento do concreto submetido a temperatura	21
2.6 Pintura intumescente	23
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	25
3.1 Tipo de pesquisa	25
3.2 Materiais e equipamentos.....	25
3.3 Análise por Fluorescência de Raios X (FRX)	26
3.3.1 <i>Óxidos muito estáveis (quase não se alteram)</i>	27
3.3.2 <i>Óxidos comuns de agregados (alterações estruturais)</i>	28
3.3.3 <i>Óxidos metálicos que podem sofrer redução ou mudança de fase</i>	28
3.3.4 <i>Óxidos alcalinos e alcalino-terrosos (fundentes)</i>	29
3.3.5 <i>Óxidos que volatilizam ou sublimam</i>	29
3.3.6 <i>Óxidos de metais de transição com comportamento misto</i>	30
3.4 Procedimentos experimentais	30
3.5 Análise da resistência à compressão conforme parâmetros da EN 1992-1-2:2004 e ABNT NBR 15200:2024.	31
3.6 Critérios de análise.....	32
4 RESULTADOS.....	32

4.1	Teste de compressão após submissão a temperatura	32
4.2	Análise por Fluorescência de Raios-X.....	42
5	CONCLUSÕES.....	44
	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio e pânico tem sido progressivamente reconhecida como uma área relevante do conhecimento científico e tecnológico, demandando investimentos e estudos voltados à redução de perdas humanas e materiais decorrentes de incêndios. Conforme destacado por Carlo (2008), observa-se que essa temática vem ganhando maior atenção ao longo do tempo, especialmente em função do impacto causado por eventos de grande magnitude.

Nesse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento de pesquisas que permitam compreender o comportamento dos materiais estruturais quando submetidos a elevadas temperaturas, possibilitando a adoção de soluções que garantam a evacuação segura dos ocupantes, sem comprometer a viabilidade técnica e econômica das edificações.

As normas de segurança contra incêndio estabelecem critérios mínimos de desempenho para os elementos construtivos, com o objetivo de assegurar tempo suficiente para a evacuação dos usuários e para a atuação das equipes de combate e resgate. Dessa forma, o estudo do comportamento das estruturas em situação de incêndio torna-se essencial para o atendimento a esses requisitos normativos.

De acordo com Costa e Pignatta (2002), as estruturas de concreto apresentam, em geral, bom desempenho em situações de incêndio, devido às características térmicas do material, como a incombustibilidade, a baixa condutividade térmica e a ausência de emissão de gases tóxicos quando aquecido. Além disso, elementos de concreto possuem maior massa e volume quando comparados a estruturas metálicas, o que contribui para sua resistência ao fogo.

Entretanto, a exposição a altas temperaturas pode provocar a redução das propriedades mecânicas do concreto, como a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, além de induzir comportamentos complexos associados à sua natureza heterogênea. Destaca-se, ainda, a ocorrência do fenômeno de *spalling*, que pode levar ao destacamento superficial do material e, em casos mais severos, ao *spalling* explosivo, comprometendo a integridade estrutural.

Diante dessas limitações, a utilização de sistemas de proteção térmica tem se mostrado uma estratégia eficaz para aumentar o desempenho das estruturas em situação de incêndio. Segundo Pignatta *et al.* (2008), uma das soluções mais utilizadas consiste na aplicação de materiais de proteção passiva, que atuam retardando o aumento da temperatura nos elementos estruturais.

Entre essas soluções, destacam-se as tintas intumescentes, que apresentam a capacidade de expandir quando submetidas ao calor, formando uma camada isolante que reduz

a transferência térmica para o substrato. Embora seu desenvolvimento remonte ao início do século XX, com a primeira patente registrada em 1938, o uso desse tipo de revestimento tem crescido significativamente nas últimas décadas, acompanhando as demandas por soluções eficientes e economicamente viáveis na área de segurança contra incêndio.

Dessa forma, este trabalho busca contribuir para o entendimento do desempenho da tinta intumescente aplicada em estruturas de concreto, avaliando sua eficácia como sistema de proteção passiva em situações de incêndio.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar em que medida a aplicação de tinta intumescente é capaz de conservar o desempenho mecânico de estruturas de concreto submetidas a situações de incêndio. Para isso, foram realizados ensaios com corpos de prova de concreto expostos a diferentes condições térmicas, comparando-se amostras sem aquecimento e aquecidas, com e sem a aplicação da pintura intumescente. Assim, investigaram-se os efeitos dessa proteção sobre as propriedades mecânicas e mineralógicas do concreto, bem como sua capacidade de retardar os processos degradantes provocados por altas temperaturas.

1.1 Objetivos

Como objetivo geral, analisar a eficiência da aplicação de tinta intumescente na proteção de estruturas de concreto, avaliando sua contribuição para a manutenção das propriedades químicas e mecânicas do material em situações de incêndio. Os objetivos específicos são:

- a) Apresentar a microestrutura do concreto antes e após a exposição a elevadas temperaturas, com e sem a aplicação de tinta intumescente;
- b) Avaliar o desempenho da tinta intumescente em ensaios de resistência ao fogo, verificando sua capacidade de retardar a degradação estrutural do concreto;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico e normas

No Brasil, a cultura de prevenção e combate a incêndios ainda é relativamente recente quando comparada a outros países. Seguindo uma tendência mundial, observa-se que normas e regulamentações na área da engenharia normalmente surgem após grandes tragédias, que expõem a necessidade de avanços técnicos e legislativos.

Conforme evidenciado por Oliveira, Negrisolo e Gill (2008) os grandes incêndios alteraram a maneira de encarar e operar a segurança contra incêndio da sociedade brasileira, destacando que tais eventos geraram vontade e condições políticas para as mudanças e o modo como essa vontade se consubstanciou.

Oliveira, Negrisolo e Gill (2008, p. 20), citam quatro grandes incêndios com vítimas que criou marcos divisórios na segurança contra incêndio:

Em 30 de dezembro de 1903 o Teatro Iroquois em Chicago com lotação de aproximadamente 1600 pessoas, 600 delas o fogo vitimou.

Situada em Boyertown, Pensilvânia, essa Casa de Ópera incendiou-se em 13 de janeiro de 1908, com a queda de uma lâmpada de querosene. Situava-se em um segundo pavimento e as saídas estavam fora de padrão ou obstruídas. A estreita saída existente não foi suficiente e 170 pessoas pereceram.

A maior tragédia ocorrida em ambiente escolar nos EUA se desenrolou em 4 de março de 1908, vitimando 172 crianças, 2 professores e uma pessoa que tentou socorrer as vítimas. Devastador, esse incêndio reforçou a consciência americana sobre a necessidade de melhoria dos códigos, normas e dos exercícios de escape e de combate ao fogo.

Em 25 de março de 1911, situada em um prédio elevado em Nova York, o edifício Asch, a indústria de vestuário ao se incendiar causou a morte de 146 pessoas, em sua maioria jovens mulheres imigrantes, com menos de 18 anos de idade. Muitas delas se projetaram pelas janelas, outras pereceram nas escadas e corredores.

Conforme Oliveira, Negrisolo e Gill (2008), assim fechou a sequência trágica dando início ao processo de mudanças, surgindo então a quinta edição, em 1914 do “Manual de proteção contra incêndios”. Essa edição traz o diferencial que ampliou a missão da NFPA para a proteção a vida e não somente de propriedades.

Analisando o histórico da evolução da regulamentação relativa à proteção contra incêndio no Brasil, percebe-se que não aprendemos com as catástrofes em outros países, e foi

necessário que ocorressem no Brasil, para assim começar a mobilização para regulamentação.

Oliveira, Negrisolo e Gill (2008, p. 22) relatam que:

Muito pela ausência de grandes incêndios e de incêndios com grande número de vítimas, o “problema incêndio”, até início dos anos 70 do século passado, era visto como algo que dizia mais respeito ao corpo de bombeiros.

A regulamentação relativa ao tema era esparsa, contida nos Códigos de Obras dos municípios, sem quaisquer incorporações do aprendizado dos incêndios ocorridos no exterior, salvo quanto ao dimensionamento da largura das saídas e escadas e da incombustibilidade de escadas e da estrutura de prédios elevados.

O corpo de bombeiros possuía alguma regulamentação, advinda da área seguradora, indicando em geral a obrigatoriedade de medidas de combate a incêndio, como a provisão de hidrantes e extintores, além da sinalização desses equipamentos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tratava do assunto por intermédio do Comitê Brasileiro da Construção Civil, pela Comissão Brasileira de Proteção Contra Incêndio, regulamentando mais os assuntos ligados à produção de extintores de incêndio.

Ainda conforme Oliveira, Negrisolo e Gill (2008, p. 23) igualmente ao ocorrido nos EUA, o Brasil também esperou a ocorrência de grandes incêndios para assim começar a preparar normas sobre o assunto, assim eles citam quatro grandes tragédias no Brasil que foram marcos na criação de regulamentações.

O maior incêndio em perda de vidas, no Brasil, e de maior perda de vidas ocorridas em um circo até nossos dias, aconteceu em 17 de dezembro de 1961, em Niterói (RJ) no Gran Circo Norte-Americano, tendo como resultado 250 mortos e 400 feridos. Vinte minutos antes de terminar o espetáculo, um incêndio tomou conta da lona. Em três minutos, o toldo, em chamas, caiu sobre os dois mil e quinhentos espectadores. A ausência dos requisitos de escape para os espectadores, como o dimensionamento e posicionamento de saídas, a inexistência de pessoas treinadas para conter o pânico e orientar o escape etc., foram as causas da tragédia. As pessoas morreram queimadas e pisoteadas. A saída foi obstruída pelos corpos amontoados. Seu autor foi julgado e condenado, e a tragédia teve repercussão internacional, com manifestações do Papa e auxílio dos EUA, que forneceram 300 metros quadrados de pele humana congelada para ser usada no tratamento das vítimas. A cidade de Niterói só voltou a ver um novo circo quatorze anos depois da tragédia, em 1975.

O incêndio na Ala 13 da montadora de automóveis Volkswagen, em São Bernardo do Campo, ocorrido em 18 de dezembro de 1970, consumindo um dos prédios da produção (Ala 13), com uma vítima fatal e com perda total dessa edificação.

Efetuando-se uma única comparação, que reafirma o fato de não importarmos aprendizados e soluções, podemos destacar que em 12 de agosto de 1953, incendiaram-se as instalações da General Motors, em Livonia, Michigan, EUA. Pela incapacidade de penetrar nas instalações, totalmente tomadas pela fumaça, as perdas materiais foram totais. As perdas humanas contabilizaram quatro mortes e quinze pessoas seriamente feridas. Após esse incêndio, iniciaram-se os estudos para a implantação de sistemas de controle de fumaça - ausentes nas instalações da Volkswagen - que somente começaram a ser realmente exigidos no Brasil a partir de 2001, na regulamentação do Corpo de Bombeiros de São Paulo.

O primeiro grande incêndio em prédios elevados ocorreu em 24 de fevereiro de 1972, no edifício Andraus, na cidade de São Paulo. Tratava-se de um edifício comercial e de serviços (Loja Pirani e escritórios), situado na Avenida São João esquina com Rua Pedro Américo, com 31 andares, estrutura em concreto armado e acabamento em pele de vidro. Do incêndio resultaram 352 vítimas, sendo 16 mortos e 336 feridos. Apesar de o edifício não possuir escada de segurança e a pele de vidro haver proporcionado uma fácil propagação vertical do incêndio pela fachada, mais pessoas só não pereceram pela existência de instalações de um heliponto na cobertura.

Logo após o incêndio, foram criados grupos de trabalho, que verificaram a necessidade de reformulação quer na legislação quer no corpo de bombeiros (em especial de São Paulo), e sem que houvesse sido produzido ainda quaisquer efeitos, ocorre o segundo grande incêndio, o do Edifício Joelma.

O edifício Joelma, atualmente conhecido por edifício Praça da Bandeira, também construído em concreto armado, com fachada tradicional (sem pele de vidro), situa-se na Avenida Nove de Julho, 22, possuindo 23 andares de estacionamentos e escritórios. Ocorrido em 1º de fevereiro de 1974, gerou 179 mortos e 320 feridos. O edifício, assim como o Andraus, não possuía escada de segurança.

Nesse incêndio, como ocorrera no da *Triangle Shirtwaist Factory*, pessoas se projetaram pela fachada do prédio, gerando imagens fortes e de grande comoção (a maior parte das pessoas que se projetou do telhado caiu em pátio interno, longe das vistas da população). Muitos ocupantes do edifício pereceram no telhado, provavelmente buscando um escape semelhante ao que ocorrera no edifício Andraus.

Somado ao incêndio do edifício Andraus, pela semelhança dos acontecimentos e proximidade espacial e temporal, o incêndio causou grande impacto, dando início ao processo de reformulação das medidas de segurança contra incêndios (Oliveira, Negrisolo; Gill, 2008, p. 24).

2.1.1 Impacto das tragédias nas normas

Após os desastres que provocaram grande comoção na sociedade, houve

movimentação para modificar as normas existentes.

Oliveira, Negrisoló e Gill (2008), listam os principais eventos normativos que ocorreram logo após as tragédias já citadas:

- A prefeitura municipal de São Paulo, uma semana após o incêndio no edifício Joelma e dois anos após o do edifício Andraus, edita o decreto municipal nº10.878¹.
- De 18 a 21 de março de 1974, ocorreu a primeira manifestação técnica².
- De 3 a 7 de julho de 1974, foi promovido o Simpósio de Sistemas de Prevenção contra Incêndios em Edificações Urbanas³.

Com o processo de verticalização das cidades e o aumento constante da altura e complexidade das edificações, cresce a preocupação com a segurança em situações de incêndio. Nesse contexto, torna-se essencial adotar soluções que garantam rotas de fuga seguras e tempo adequado para evacuação dos ocupantes, sem comprometer a estética arquitetônica ou gerar custos excessivos.

2.2 Fogo e Incêndio

Seito *et al.* (2008, p. 35), fazem referências a algumas normas mundiais para definir o fogo, enfatizando que apesar dos grandes avanços na ciência do fogo, ainda não há consenso mundial para sua definição:

- a) Brasil -ABNT - NBR 13860 Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz.
- b) Estados Unidos - (NFPA): fogo é a oxidação rápida auto-sustentada

¹ Institui normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observadas na elaboração do projeto, na execução, bem como no equipamento e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário”. É a primeira consequência. Logo após as regras estabelecidas nessa regulamentação, são incorporadas na Lei nº 8 266 de 1975, o novo Código de Edificações para o Município de São Paulo.

² Quando o Clube de Engenharia do Rio de Janeiro realizou Simpósio de Segurança Contra Incêndio, buscando o desenvolvimento de três linhas mestras de raciocínio: 1. Como evitar incêndios; 2. Como combatê-los; 3. Como minimizar os efeitos. Apresentaram-se 13 especialistas, tendo as palestras sido transcritas na “Revista do Clube de Engenharia” (RJ) de maio/junho de 1974.

³ Ocorreu em Brasília na Câmara dos Deputados, promovido pela Comissão Especial de Poluição Ambiental. Ao final, foram apresentadas proposições, recomendações e solicitações.

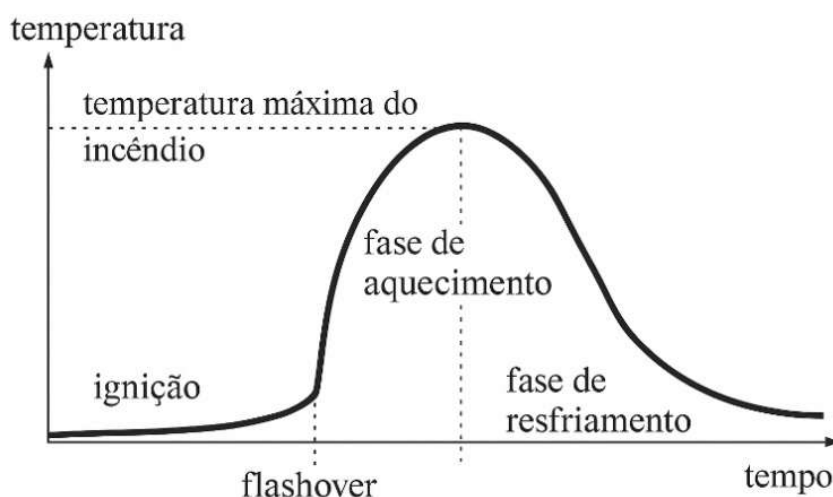
acompanhada de evolução variada da intensidade de calor e de luz.

c) Internacional - ISO 8421-1 *Fire protection - Vocabulary*: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumaça, chama ou ambos.

d) Inglaterra - BS 4422 *glossary of terms associated with fire -Part 1*: fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos.

Segundo o manual de segurança contra incêndio e pânico a proteção passiva do CBMDF (2009), incêndio é o fogo que foge ao controle do homem, queimando tudo aquilo que a ele não é destinado queimar; capaz de produzir danos ao patrimônio e à vida por ação das chamas, do calor e da fumaça. A Figura 1 mostra a curva de evolução do incêndio, onde se podem observar três fases distintas.

Figura 1 - Curva temperatura-tempo de um incêndio real



Fonte: Manual de segurança contra incêndio e pânico a proteção passiva do CBMDF.

A primeira fase é o incêndio incipiente tendo-se um crescimento lento, em geral de duração entre cinco a vinte minutos até a ignição, em que inicia a segunda fase, caracterizada pelas chamas que começam a crescer aquecendo o ambiente. Quando a temperatura do ambiente atinge em torno de 600 °C, todo o ambiente é tomado por gases e vapores combustíveis desenvolvidos na pirólise dos combustíveis sólidos. Havendo líquidos combustíveis, eles irão contribuir com seus vapores, ocorrerá a inflamação generalizada (*flashover*) e o ambiente será tomado por grandes labaredas. A terceira fase é caracterizada pela diminuição gradual da temperatura do ambiente e das chamas, e isso ocorre por exaurir o material combustível.

2.3 Proteção passiva

Segundo Marcatti, Berquó e Coelho (2008, p. 169):

proteção passiva contra incêndio é constituída por meios de proteção incorporados à edificação e que não requer nenhum tipo de acionamento para o seu funcionamento em situação de incêndio. Esses meios de proteção atendem às necessidades dos usuários em situação normal de funcionamento do edifício, porém em situação de incêndio têm um comportamento especial que retarda o crescimento do incêndio, impede uma grande emissão de fumaça ou permite uma saída segura para os ocupantes do prédio, entre tantas outras finalidades. São exemplos de proteção passiva o controle de materiais de acabamento e revestimento, proteção das rotas de fuga, compartimentação e isolamento de risco.

Conforme a ABNT - NBR 14432 (2021, p. 3), a proteção passiva é:

um conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional durante o uso normal da edificação e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários e a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate.

2.4 Proteção ativa

Ono, Valentin e Venezia (2008, p. 130) explicam que:

as medidas de proteção ativa vêm a complementar as medidas de proteção passiva, sendo compostas basicamente de equipamentos e instalações prediais que serão acionadas em caso de emergência, de forma manual ou automática, usualmente não exercendo nenhuma função em situação normal de funcionamento da edificação. Dentre os principais sistemas se encontram os de: detecção e alarme manual ou automático de incêndio; extinção manual e/ou automática de incêndio; iluminação e sinalização de emergência; controle de movimento de fumaça.

De acordo com a norma NBR 14432 (ABNT, 2001) a proteção ativa é o “tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio” (NBR 14432, 2001, p 3).

2.5 Comportamento do concreto submetido a temperatura

Pignatta et al. (2008, p. 146) definem que:

o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) pode ser entendido como o tempo mínimo (descrito em minutos e fruto do consenso de uma dada sociedade) que os elementos construtivos devem resistir (com respeito à integridade, estanqueidade e isolamento, onde aplicável) a uma ação térmica padronizada, em um ensaio laboratorial. A variável “tempo” é utilizada, em códigos e regulamentos, como uma medida para a definição do desempenho em incêndio.

Ainda segundo os autores, o que determina a ruína de um elemento estrutural é o campo de temperaturas a que ele está submetido e não o tempo em que esse campo foi atingido.

De acordo com a ABNT NBR 15200:2024, o incêndio-padrão é definido como a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, dada pela curva-padrão de temperatura, conforme a Equação:

$$\theta_g = 345 \cdot \log(8t + 1) + 20 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que t é o tempo, em minutos, e θ_g é a temperatura dos gases no compartimento de incêndio, em graus Celsius, no instante t . A curva-padrão relaciona tempo e temperatura ao longo de toda a extensão do ensaio ou do modelo adotado para a comprovação da resistência ao fogo (ABNT, 2024).

Conforme discutido anteriormente, o que afeta a resistência de uma estrutura não é o tempo de permanência no incêndio, mas sim a temperatura à qual ela é exposta. O tempo, por sua vez, está associado à uniformização da temperatura no interior da estrutura.

Pignatta et al. (2008, p. 136) explicam que:

o concreto, além da redução da resistência, perde área resistente devido ao efeito *spalling*. O *spalling* é um lascamento da superfície do elemento de concreto submetido a um incêndio, devido à pressão interna da água ao evaporar-se e ao comportamento diferencial dos materiais componentes do concreto. Em concretos de alta resistência pode ocorrer o *spalling* explosivo, pela maior dificuldade de percolação da água. O *spalling* reduz a área resistente do concreto e expõem a armadura ao fogo.

O efeito *spalling* pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - *Spalling* em pilar de concreto



Fonte:

<https://www.civilengineermag.com/concrete-spalling-causes-and-how-it-can-be-prevented/>,
acessado em 02/10/2025

Segundo manual da CKC (2025) os principais efeitos termomecânicos que afetam o concreto exposto ao fogo são:

- Elevação da pressão entre as estruturas porosas do concreto;
- Alteração da resistência mecânica do concreto, devido ao gradiente de aquecimento, podendo envergar ou até mesmo ceder após efeito de “*concrete spalling*”;
- Ocorrência de fissuras internas, antes mesmo do “*concrete spalling*”;
- Ocorrência de reações químicas, também durante o aquecimento e que podem acelerar o processo de perda da resistência do material.

Dessa forma, Neville (2016) indica que o risco de lascamento explosivo aumenta com a diminuição da permeabilidade do concreto e com o aumento na velocidade de elevação da temperatura e da umidade excessiva, sendo este último o fator mais relevante na determinação do comportamento estrutural em temperaturas elevadas.

2.6 Pintura intumescente

A utilização de tintas intumescentes surge como uma alternativa eficaz, pois proporciona aumento significativo do tempo de resistência ao fogo, pois absorve parte da energia que seria destinada ao componente estrutural, já que cria uma barreira isolante, retardando o colapso estrutural. Além disso, apresenta vantagens em relação a outros sistemas, como a ausência de sobrecarga adicional na estrutura, diferentemente de sistemas hidráulicos complexos, como sprinklers, e maior simplicidade de aplicação quando comparada a revestimentos como placas de drywall resistentes ao fogo.

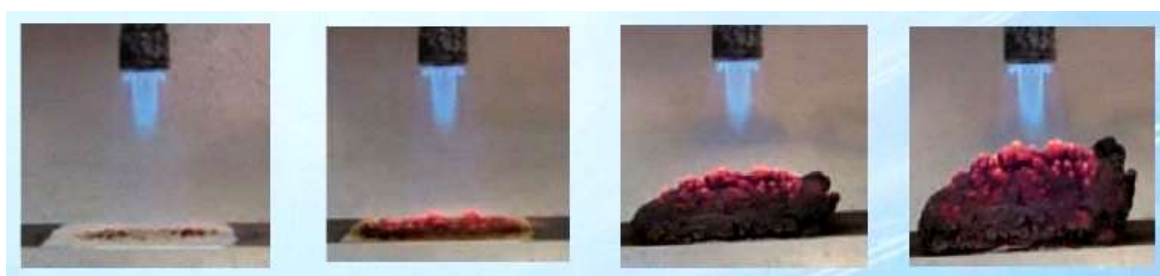
Esse tipo de pintura, portanto, trata-se de uma solução viável, economicamente competitiva e alinhada às exigências contemporâneas de segurança contra incêndios em edificações de concreto.

Pignatta et al. (2008, p. 157) explicam que:

O termo intumescente deriva do latim “*tumescere*”, que significa iniciar, expandir. A intumescência ocorre pela reação de componentes ativos sob influência do calor, produzindo uma expansão significativa. Esses componentes ativos, ou intumescentes, expandem muitas vezes sua espessura inicial aplicada quando aquecidos, produzindo uma massa carbonácea que protege qualquer substrato sobre o qual o revestimento tenha sido aplicado.

O efeito da expansão de um material intumescente pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Expansão da tinta intumescente submetida à alta temperatura



Fonte: <https://lemarg.com.br/pinturaintumescente/>, acessado em: 06/10/2025

Ainda segundo os autores, um sistema intumescente possui, de modo geral, três componentes: um primer, a tinta intumescente (a fase que reage) e um selante (a pintura de acabamento). Em algumas situações, o primer ou o acabamento podem não ser necessários.

Pignatta et al. (2008, p. 157) descrevem os ingredientes dos revestimentos intumescentes:

- Um catalisador que se decompõe sob efeito do calor, produzindo um ácido mineral (como o ácido fosfórico). O polifosfato de amônio é o catalizador comumente utilizado;
- Um agente carbonizante, como o amido, que se combina com o ácido mineral, formando uma massa carbonácea;
- Um aglutinante, ou resina, que amolece a uma temperatura predeterminada;
- Um agente espumífico que se decompõe juntamente com a fusão do ligante, liberando grandes volumes de gases não-inflamáveis. Esses gases incluem o dióxido de carbono, amônia e vapor de água. A produção desses gases promove o inchamento (entumescimento) da massa carbonácea, gerando uma espuma carbonácea, que se expande cerca de 60x (ou mais) o volume original da tinta, promovendo a proteção

térmica.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método proposto neste trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da tinta intumescente na proteção do concreto em situações de incêndio, por meio de ensaios laboratoriais que permitam identificar alterações químicas e mecânicas no material após exposição a altas temperaturas.

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa é de natureza experimental e aplicada, com enfoque quantitativo, pois busca medir a variação das propriedades do concreto submetido a diferentes condições térmicas, com e sem o uso da tinta intumescente. Também apresenta caráter comparativo, ao analisar o desempenho de amostras protegidas e não protegidas.

3.2 Materiais e equipamentos

Nesta pesquisa foram usados como materiais:

- I. Corpos de prova (CP): cilíndricos de concreto (10 x 20 cm), todos moldados com o mesmo traço padrão, seguindo o método ABCP e cura de 30 dias com fck calculado para 20 MPa, já o adquirido conforme testes de compressão foi de aproximadamente 30MPa:
 - a. Foram moldados 16 corpos de prova, dos quais 12 reservados para os ensaios, dos quais 6 foram pintados com tinta intumescente e 6 não, e 4 mantidos como reservas, para eventuais substituições ou ensaios complementares;
- II. Tinta intumescente: Produto comercial destinado à proteção passiva contra incêndios, aplicada conforme recomendações do fabricante.
 - a. A pintura foi aplicada no 12º dia após os 30 de cura para garantir que a superfície estivesse sem umidade e assim fixar melhor.

A tinta escolhida para os testes é a CKC-333. Segundo a ficha técnica CKC-333 – alvenaria (parede corta-fogo) esse material é um revestimento intumescente à base de água acrílica, atóxico, inodoro, anti-mofo e anti-fungos, que a aproximadamente 200°C, dá início a um processo de expansão volumétrica, provocando o retardamento da elevação das temperaturas nos substratos tratados.

O sistema desenvolvido, não exige a aplicação de chapisco, emboço e reboco em paredes. Apenas a aplicação da tinta intumescente – dentro das especificações da ficha técnica – asseguram uma elevação do tempo de resistência ao fogo, sem comprometer nenhuma das 3

características que fazem deste sistema. Essa pintura representa um item de segurança aprovado e aceito pelas corporações de bombeiros do Brasil garantindo: integridades, estanqueidade e isolamento térmico (ficha técnica CKC-333 – alvenaria (parede corta-fogo), 2020, p. 2).

Neste trabalho, foram utilizados ensaios que permitiram conhecer as alterações em propriedades mecânicas e químicas dos CPs que foram submetidos à elevação de temperatura. Nesse grupo de CP alguns receberam a proteção da tinta intumescente e dois CPs foram usados como controle para definição dos parâmetros sem submissão a elevação de temperatura e sem pintura.

Para isso, no procedimento de aplicação de temperatura foram usados:

- I. Forno mufla para aquecimento controlado até 1.000°C (Laboratório de Metais, UFCA), para submeter os corpos de prova à temperatura simulando um evento de incêndio, a taxa de aquecimento utilizada foi 30 °C por minutos e a queima dois dias após a pintura, garantindo que a tinta estivesse seca por completo;
- II. Estufa para teste submetendo um dos CPs a 100 °C durante 1 hora (Laboratório de Metais, UFCA).

Para conhecer as propriedades mecânicas dos CPs submetidos a temperatura com ou sem a pintura intumescente, e os CP controle foi utilizada:

- I. prensa hidráulica de ensaio de resistência à compressão da Solotest, referência: 1501220, série: 3083, (Laboratório de Materiais de construção, UFCA).

Ainda foi analisada a microestrutura dos corpos de prova:

- I. equipamento de Fluorescência de Raios X (FRX), utilizado na detecção de mudanças de elementos químicos das diversas situações analisadas (UFCA);

A Tabela 1 apresenta um resumo dos ensaios específicos sobre a microestrutura do material concreto e como eles poderão colaborar para o entendimento dos efeitos do fogo no concreto e da proteção intumescente neste trabalho.

Tabela 1 - Técnica de caracterização aplicada ao estudo de concreto protegido com tinta intumescente

Técnica	Princípio	O que analisa	Contribuição para o TCC
Fluorescência de Raios X (FRX)	Emissão de radiação característica pelos átomos excitados por raios X.	Determina a composição química elementar (óxidos, fosfatos, aditivos).	Mostra alterações químicas no concreto antes e após o incêndio.

Fonte: Autor (2025)

3.3 Análise por Fluorescência de Raios X (FRX)

A caracterização química das amostras foi realizada por meio da técnica de Fluorescência de Raios X (FRX), utilizando o espectrômetro Epsilon 1, da empresa Malvern

Panalytical. O equipamento é equipado com tubo de raios X com ânodo de cobre (Cu), sendo adequado para análises multi-elementares em materiais sólidos.

As análises foram conduzidas conforme os parâmetros operacionais previamente estabelecidos pelo equipamento, incluindo ajuste automático de corrente e tensão, com tempo de leitura variando entre 60 e 300 segundos, dependendo do método aplicado.

A identificação e quantificação dos elementos químicos foram realizadas com base na emissão de radiação característica de cada elemento presente na amostra, após excitação pelos raios X. O comportamento que influencia a estrutura e a resistência do concreto dividido em categorias de elementos são descritos entre os itens de 3.3.1 a 3.3.6 para óxidos: muito estáveis; comuns em agregados; metálicos; alcalinos e alcalino-terrosos; que volatizam ou sublimam; e de metais de transição.

3.3.1 Óxidos muito estáveis (quase não se alteram)

Esses compostos mantêm sua estrutura química em altas temperaturas, podendo apenas participar de fusões ou reações secundárias.

- I. Al_2O_3 (óxido de alumínio)
 - a. Muito refratário e estável.
 - b. Ponto de fusão $\approx 2050^\circ\text{C}$.
 - c. Em concreto pode formar fases aluminossilicatadas quando aquecido com SiO_2 .
- II. TiO_2 (óxido de titânio)
 - a. Estável até temperaturas muito altas.
 - b. Pode mudar entre anatase $\rightarrow$ rutilo ($\sim 600\text{--}700^\circ\text{C}$).
- III. Cr_2O_3 (óxido de cromo)
 - a. Muito estável.
 - b. Pode participar de espinélios metálicos em altas temperaturas.
- IV. ZrO_2 (óxido de zircônio)
 - a. Extremamente refratário.
 - b. Sofre transições cristalinas ($\sim 1170^\circ\text{C}$) que causam expansão volumétrica.
- V. Y_2O_3 (óxido de ítrio)
 - a. Muito estável e refratário.

b. Pouca alteração térmica relevante.

3.3.2 Óxidos comuns de agregados (alterações estruturais)

Esses geralmente vêm da areia, quartzo ou minerais silicatos.

I. SiO₂ (sílica)

a. Muito importante no concreto, e descritos na Tabela 2

b. Efeito no concreto: expansão térmica, microfissuração e perda de resistência.

A forma estável do quartzo à temperatura ambiente é o quartzo- α , que passa por uma transformação reversível para quartzo- β à 573 °C, o que causa uma variação dimensional abrupta de ($\Delta L/L = 0,35\%$ e $\Delta V/V = 2\%$). Sendo assim, durante o resfriamento, a transformação de β para α pode ocasionar a redução das propriedades mecânicas do produto acabado devido à esta contração. (EPPLER et al., 2000; SINGER, 1960; BOCH et al., 2007 apud SILVA, 2019).

Tabela 2 - Efeitos da temperatura na sílica.

Temperatura	Transformação
~573 °C	quartzo $\alpha \rightarrow$ quartzo β
~870 °C	tridimita
>1470 °C	cristobalita

Fonte: Adaptado de GUZZO (2008, apud LÜDKE, 2018, p. 11).

3.3.3 Óxidos metálicos que podem sofrer redução ou mudança de fase

I. Fe₂O₃ (óxido de ferro III)

a. Pode reduzir para: Fe₂O₃ $\rightarrow$ Fe₃O₄ $\rightarrow$ FeO, em atmosfera pobre em oxigênio.

b. Também pode: alterar coloração, participar de fases vítreas.

II. MnO (óxido de manganês)

a. Estável, mas pode oxidar para Mn₂O₃ ou Mn₃O₄ dependendo do ambiente.

III. NiO (óxido de níquel)

a. Estável.

b. Pode formar soluções sólidas com FeO.

IV. CuO (óxido de cobre)

a. Pode reduzir para Cu₂O ou Cu metálico em ambiente redutor.

V. ZnO (óxido de zinco)

- a. Estável até $\sim 1000^\circ\text{C}$.
- b. Pode volatilizar parcialmente em temperaturas muito altas.

3.3.4 Óxidos alcalinos e alcalino-terrosos (fundentes)

Esses são importantes porque reduzem o ponto de fusão da matriz.

- I. K_2O (óxido de potássio)
 - a. Muito reativo.
 - b. Forma silicatos alcalinos fundentes.
- II. Rb_2O (óxido de rubídio)
 - a. Similar ao K_2O .
 - b. Atua como fundente em fases vítreas.
- III. CaO (óxido de cálcio)
 - a. No concreto é extremamente importante.
 - b. Pode resultar da decomposição de:
 - c. $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ($\approx 700\text{--}900^\circ\text{C}$)
 - d. Depois pode reagir com sílica: $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow$ silicatos de cálcio
 - e. Consequências: retração, perda de coesão.
- IV. SrO (óxido de estrôncio)
 - a. comportamento semelhante ao CaO .
 - b. forma silicatos.

3.3.5 Óxidos que volatilizam ou sublimam

Esses podem diminuir após altas temperaturas.

- I. SO_3 (trióxido de enxofre)
 - a. Instável.
 - b. Pode decompor:
 - c. $\text{SO}_3 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{O}_2$
 - d. Normalmente liberado como gás.

II. MoO_3 (óxido de molibdênio)

- a. Sublima $\sim 700^\circ\text{C}$.
- b. Pode diminuir nas amostras após aquecimento.

III. V_2O_5 (óxido de vanádio)

- a. Ponto de fusão $\approx 690^\circ\text{C}$.
- b. Pode formar fases líquidas fundentes.

IV. Cl (cloro)

- a. Presente geralmente como cloretos.
- b. Pode volatilizar (NaCl , KCl etc.) em temperaturas elevadas.

3.3.6 Óxidos de metais de transição com comportamento misto

I. Nb_2O_5 (óxido de nióbio)

- a. Muito estável.
- b. Pode participar de estruturas cristalinas complexas.

3.4 Procedimentos experimentais

As etapas específicas do procedimento experimental deste trabalho são listadas a seguir como:

- I. Preparação dos corpos de prova:
 - a. Moldagem e cura.
 - i. Método utilizado de dosagem ABCP.
 - ii. Cura 30 dias.
- II. 12 corpos de prova para análise:
 - a. Corpos de prova controle: 02
 - b. Corpos de prova sem pintura submetido a altas temperaturas: 05
 - c. Corpos de prova com pintura submetidos a altas temperaturas: 05
- III. Aplicação da tinta intumescente:
 - a. Após o processo de cura, 30 dias, foi aguardado 12 dias com os CPs fora da água para secagem e assim ser aplicada a tinta;
- IV. Exposição térmica, dois dias após a pintura:
 - a. Foram submetidos a diferentes faixas de temperatura que variam de temperatura ambiente até 1000°C em forno tipo mufla até atingir a temperatura conforme Tabela 4, a exposição a

temperatura foi realizada no 44º dia, após a confecção.

- V. Resfriamento:
 - a. De forma natural até atingir temperatura ambiente, por tempo indeterminado;
- VI. Ensaaios de caracterização:
 - a. Mecânico: Ensaio de resistência à compressão de todas as variações das amostras de corpos de prova;
 - b. Físico-químico para verificação de alterações na estrutura mineral, composição química, por meio do FRX.
- VII. Análise e interpretação dos resultados:
 - a. Comparar o desempenho dos corpos de prova protegidos e não protegidos, correlacionando as mudanças estruturais e a perda de resistência com o aumento da temperatura.

3.5 Análise da resistência à compressão conforme parâmetros da EN 1992-1-2:2004 e ABNT NBR 15200:2024.

Conforme a ABNT NBR 15200:2024, a resistência a compressão do concreto decresce com o aumento da temperatura e pode ser obtida pela seguinte equação:

$$f_{ck,\theta} = k_{c,\theta} \cdot f_{ck} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde

$f_{ck,\theta}$ é a resistência característica à compressão do concreto na temperatura θ

$k_{c,\theta}$ é o fator de redução da resistência do concreto na temperatura θ (Ver Tabela 3)

f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto na temperatura ambiente;

Os valores de resistência residual ($f_{ck,\theta}$) foram obtidos experimentalmente por meio dos ensaios de compressão realizados após a exposição térmica dos corpos de prova. Esses resultados foram comparados com os fatores de redução $k_{c,\theta}$ previstos em norma, a fim de avaliar a coerência do comportamento experimental em relação ao modelo teórico.

Conforme análise química dos corpos de prova pelo FRX, pode inferir que os agregados são em sua predominância silicosos.

Tabela 3 - Valores das relações $k_{c,\theta} = f_{ck,\theta} / f_{ck}$ para concreto de massa específica normal preparados com agregados predominantemente siliciosos.

Temperatura do concreto °C	$k_{c,\theta} = \frac{f_{ck,\theta}}{f_{ck}}$
20	1,00
100	1,00
200	0,95
300	0,85
400	0,75
500	0,60
600	0,45
700	0,30
800	0,15
900	0,08
1 000	0,04
1 100	0,01
1 200	0,00

Fonte: ABNT NBR 15200:2024

Conforme ABNT NBR 5739:2018 temos a resistência a compressão definida pela seguinte fórmula:

$$f_c = \frac{4F}{r \cdot D^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

3.6 Critérios de análise

Os resultados foram confrontados com os parâmetros das normas ABNT NBR 15200:2024, EN 1992-1-2:2004 verificando o atendimento aos requisitos de desempenho e resistência ao fogo.

4 RESULTADOS

4.1 Teste de compressão após submissão a temperatura

Os resultados da Tabela 4, foram obtidos a partir dos resultados em laboratório, onde

os corpos de prova foram submetidos a teste de compressão com o uso de prensa hidráulica, obtendo o valor de $f_{ck,\theta}$, conforme Figura 4.

Figura 4 - Teste de compressão utilizando prensa hidráulica.



Fonte: Autor (2026)

Observando na Tabela 4 os valores de resistência dos CPs de referência, CP01 e CP02, o f_{ck} ficou acima do esperado que seria 20MPa, como calculado, isso não interfere na análise, já que os valores dos resultados foram comparados entre as amostras.

Tabela 4 - Resultados dos testes dos corpos de prova após serem submetidos a altas temperaturas.

CP	Resistência $f_{ck,\theta}$ (MPa)	Força máxima prensa θ (tf)	Diâmetro do CP (mm)	Temperatura submetida (°C)	Tempo	Pintura?
CP 01	29,56	22,75	98	ambiente	0	N/A
CP 02	27,10	20,86	98	ambiente	0	N/A
CP 09	1,61	1,29	100	1000	92 min	NÃO
CP 10	-	-	-	1000	92 min	NÃO
CP 11	-	-	-	364	31min	NÃO
CP 12	30,00	23,09	98	100	60 min	NÃO
CP 13	-	-	-	469	21min	NÃO
CP 03	24,09	18,92	99	210	40min	SIM
CP 04	25,37	19,53	98	210	40min	SIM
CP 05	27,26	20,98	98	364	31min	SIM
CP 07	10,42	8,02	98	800	92 min	SIM
CP 08	10,74	8,27	98	800	92 min	SIM

Fonte: Autor (2026)

Comparando os valores fornecidos pela norma e os obtidos nos testes, observa-se que os corpos de provas expostos a altas temperaturas sem a proteção da tinta, seguem os parâmetros

da Tabela 3, já os com a proteção da tinta conseguem uma resistência maior, demonstrando que a tinta intumescente atua como barreira térmica que protege a alvenaria, fazendo com que ela não perca tanta resistência conforme a sem pintura, que em alguns casos sofreram *spalling* explosivo, conforme observa-se na Tabela 4.

Deste processo, um resumo do que ocorreu com os CPs é descrito a seguir:

Os CPs 01 e 02, são referências, por esse motivo não foram pintados com a pintura intumescente e não foram submetidos a temperaturas;

Os CPs 11 e 13, não foram pintados com a tinta intumescente e ocorreu *spalling* explosivo dentro do forno durante o processo, em temperaturas distintas;

O CP 10 não foi pintado com a tinta intumescente e ao ser movido de local após o resfriamento somente com a pressão da mão, rompeu;

Os CPs 09 e 12 foram os únicos sem pinturas que suportaram a elevação de temperatura.

Com base nos resultados dos ensaios de compressão, observa-se, conforme apresentado na Tabela 4, que os corpos de prova CPs 03 e 04, submetidos à temperatura de 210 °C, apresentaram apenas pequenas reduções na resistência à compressão. No entanto, essa faixa de temperatura já está no intervalo típico de ocorrência do *spalling* explosivo, compreendido entre 200 °C e 400 °C. Por outro lado, a pintura intumescente, nessa condição térmica, não apresentou alterações visíveis, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Corpo de prova a 200 °C



Fonte: Autor (2026)

Ao se atingir temperaturas próximas de 300 °C, conforme ilustrado na Figura 6 observa-se o início da reação da pintura intumescente em determinadas regiões da face do corpo de prova. Em relação ao comportamento dos espécimes, o CP 11, sem revestimento, ao atingir 364 °C, apresentou ocorrência de *spalling* explosivo. Por outro lado, o CP 5, protegido com pintura intumescente, não apresentou esse fenômeno e ainda resistiu aos efeitos da explosão do corpo de prova adjacente, conforme mostrado na Figura 7c.

Figura 6 - Corpo de prova a 300 °C



Fonte: Autor (2026)

Esses resultados demonstram que, mesmo sem ter reagido completamente, a pintura intumescente conferiu ao corpo de prova uma proteção térmica significativa, conforme evidenciado na Figura 7b, registrada aproximadamente um minuto antes da explosão do CP 11.

Inicialmente, havia a hipótese de que a ruptura do CP 11 pudesse ter sido causada por choque térmico, uma vez que o forno foi aberto cerca de um minuto antes do evento, possibilitando a entrada de ar frio.

Para verificar essa hipótese, realizou-se um novo ensaio com o CP 13, aquecido isoladamente. Ao atingir a temperatura de 469 °C, o corpo de prova também apresentou ruptura explosiva, sem que o forno tivesse sido aberto em qualquer momento. Dessa forma, descarta-se a ocorrência de choque térmico, uma vez que não houve entrada de ar frio no sistema, confirmando-se que o fenômeno observado nos dois casos corresponde ao *spalling* explosivo.

Figura 7 – Sequência de elevação de temperatura que resultou em *spalling* explosivo.



Fonte: Autor (2026)

Na Figura 8, observa-se a evolução da tinta intumescente sob a influência da temperatura, correspondente ao corpo de prova submetido a 500 °C. Nessa condição, verifica-se que a tinta se encontra em estágio avançado de carbonização, já significativamente expandida e apresentando coloração escura, distinta da tonalidade branca inicial. Esse comportamento indica a ocorrência do processo de expansão e formação de uma camada carbonizada, contribuindo para a criação de uma barreira térmica espessa, responsável pela proteção do concreto contra a ação das altas temperaturas.

Figura 8 – Corpo de prova a 500 °C



Fonte: Autor (2026)

Já na Figura 9, com uma temperatura de 600 °C, observa-se o processo de calcinação. A cor anteriormente preta começa a dar lugar a camada espessa branca, indicando que o carbono na pintura está sendo consumido por completo pela temperatura. Também se observou na imagem o desprendimento da tinta, na parte superior do corpo de prova. Observa-se que em um caso real isso seria um problema, já que deixou a estrutura exposta.

Figura 9 - Corpo de prova a 600 °C



Fonte: Autor (2026)

Na Figura 10 observa-se o corpo de prova submetido à temperatura de 665 °C, evidenciando o estágio final do processo de calcinação da tinta intumescente. Nesse ponto, a maior parte da matéria orgânica já foi consumida, indicando que a tinta atingiu seu nível máximo de expansão e, conseqüentemente, sua maior capacidade de proteção térmica.

Na Figura 11, verifica-se que a coloração branca da camada expandida, em comparação com a Figura 10, não apresenta alterações significativas. Por outro lado, a coloração escura observada no corpo de prova a partir da Figura 9 — associada ao escoamento da tinta — deixa de ser visível, sugerindo a queima do carbono presente na camada superficial do concreto.

Figura 10 - Corpo de prova a 665 °C



Fonte: Autor (2026)

Figura 11 - Corpo de prova a 792 °C



Fonte: Autor (2026)

Com o objetivo de complementar a análise dos resultados, foi realizada uma avaliação estatística simples dos valores de resistência à compressão residual ($f_{ck,\theta}$) dos corpos de prova com e sem aplicação de tinta intumescente.

Para os corpos de prova protegidos com tinta, obteve-se uma resistência média, (Eq. 4), de 19,58 MPa, conforme, com desvio padrão, (Eq. 5), de 8,08 MPa.

Já para os corpos de prova sem proteção, considerando apenas os valores válidos obtidos experimentalmente, a resistência média, (Eq. 6) foi de 15,81 MPa, com desvio padrão, (Eq. 7) de 20,06 MPa.

$$x = \frac{24,09 + 25,37 + 27,26 + 10,42 + 10,74}{5} = 19,58 MPa \quad (\text{Eq. 4})$$

$$s = \sqrt{\frac{(24,09 - 19,58)^2 + (25,37 - 19,58)^2 + (27,26 - 19,58)^2 + (10,42 - 19,58)^2 + (10,74 - 19,58)^2}{4}} = 8,29 MPa \quad (\text{Eq. 5})$$

$$x = \frac{1,61 + 30}{2} = 15,81 MPa \quad (\text{Eq. 6})$$

$$s = \sqrt{\frac{(1,61 - 15,81)^2 + (30 - 15,81)^2}{4}} = 20,06 MPa \quad (\text{Eq. 7})$$

Observa-se que, além de apresentar maior resistência média, os corpos de prova com tinta intumescente apresentaram menor dispersão dos resultados, indicando comportamento mais estável sob ação térmica. Por outro lado, os corpos de prova sem proteção apresentaram elevada variabilidade, associada à ocorrência de danos severos, como o fenômeno de *spalling* explosivo.

Esses resultados reforçam a eficiência da tinta intumescente não apenas na preservação da resistência mecânica, mas também na redução da instabilidade estrutural após exposição a altas temperaturas.

Apesar do número reduzido de amostras, os resultados indicam tendência consistente de melhoria do desempenho mecânico e maior confiabilidade estrutural com o uso da tinta intumescente.

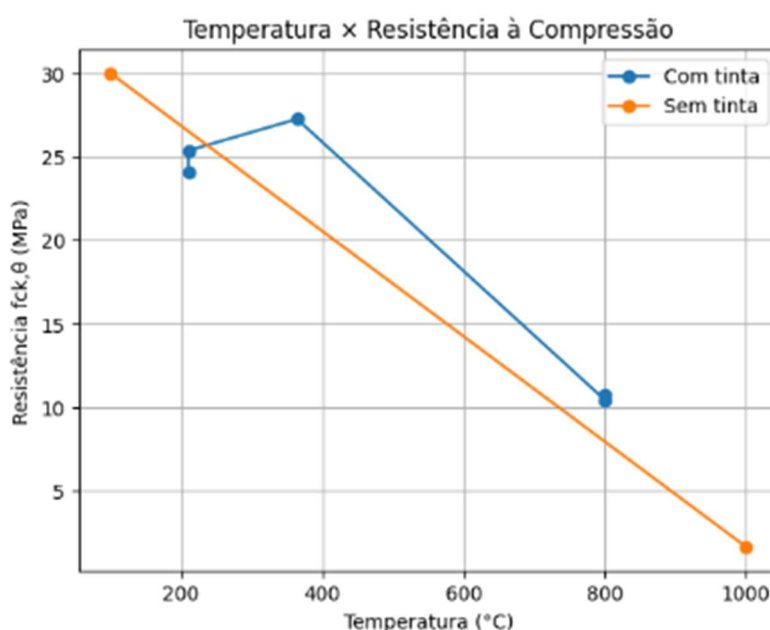
A Figura 12 apresenta a relação entre a temperatura de exposição e a resistência à compressão residual dos corpos de prova. Observa-se uma tendência de redução da resistência com o aumento da temperatura para ambos os grupos. No entanto, os corpos de prova com

aplicação de tinta intumescente apresentaram desempenho superior, mantendo maiores níveis de resistência, especialmente em temperaturas intermediárias.

Além disso, verifica-se que os corpos de prova sem proteção apresentaram queda mais acentuada da resistência, além de maior dispersão dos resultados, associada à ocorrência de danos severos, como o fenômeno de spalling explosivo.

Ressalta-se que o número reduzido de amostras válidas no grupo sem proteção limita a análise estatística, sendo os resultados interpretados como tendência de comportamento.

Figura 12 - Relação entre temperatura e resistência à compressão residual ($f_{ck,\theta}$) para corpos de prova com e sem aplicação de tinta intumescente.



Fonte: Autor (2026)

4.2 Análise por Fluorescência de Raios-X

Verificando a Tabela 5, que apresenta os resultados da composição química dos componentes dos CPs de maneira geral, os resultados obtidos indicam que o aquecimento do concreto promove principalmente transformações mineralógicas e perda de massa, sem provocar alterações químicas significativas nos óxidos principais identificados por FRX.

Os componentes SiO_2 (sílica / quartzo) e o CaO (óxido de cálcio) compõem mais de 40% da amostra, eles contribuem para o aumento das fissuras no concreto, o primeiro pela sua expansão quando aquecido o outro pela contração quando desidratado, decomposição de Ca(OH)_2 .

Pela análise de Fluorescência de Raios X (FRX) dos corpos de prova de concreto

submetidos a diferentes temperaturas, foi possível concluir que:

- A composição química das amostras é predominantemente formada por SiO₂, CaO, Al₂O₃ e Fe₂O₃, elementos característicos de concretos produzidos com cimento Portland e agregados silicosos.
- A exposição do concreto a temperaturas elevadas não provocou alterações significativas na composição química dos principais óxidos presentes, indicando estabilidade química relativa desses compostos.
- Observou-se uma redução gradual no teor relativo de SiO₂ com o aumento da temperatura, possivelmente associada à perda de massa causada pela desidratação de compostos hidratados da matriz cimentícia.
- O aumento relativo do teor de CaO em temperaturas superiores a aproximadamente 364 °C sugere a ocorrência de processos de decomposição térmica, como a decomposição de hidróxidos e carbonatos presentes no material.

Os Corpos de prova CP02 e CP11, por problemas técnicos não puderam ser analisados.

Tabela 5 - Análise de composição química semiquantitativa por Fluorescência de Raios-X.

RESULTADOS DOS TESTES DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X										
Componentes/ Corpo de prova	CP01	CP12	CP03	CP04	CP05	CP13	CP07	CP08	CP09	CP10
TEMPERATURA	AMBIENTE	100°C	210°C	210°C	364°C	469°C	800°C	800°C	1000°C	1000°C
Al ₂ O ₃ (%)	5,206%	5,159%	4,792%	5,095%	5,192%	5,040%	4,926%	5,092%	5,259%	5,504%
SiO ₂ (%)	28,11%	27,12%	25,69%	26,41%	25,95%	26,43%	24,74%	24,80%	24,97%	25,66%
SO ₃ (%)	0,830%	0,698%	0,815%	0,822%	0,825%	0,848%	0,880%	0,785%	0,914%	0,932%
Cl (%)	0,107%	0,104%	0,114%	703,6 ppm	0,121%	0,124%				985,5 ppm
K ₂ O (%)	3,391%	3,347%	3,052%	3,064%	3,248%	3,220%	3,189%	3,184%	3,595%	3,501%
CaO (%)	16,54%	15,22%	19,41%	19,13%	18,86%	18,98%	21,38%	20,52%	20,02%	19,01%
TiO ₂ (%)	0,537%	0,511%	0,539%	0,475%	0,594%	0,552%	0,573%	0,603%	0,608%	0,568%
V ₂ O ₅ (ppm)	165,3 ppm	188,4 ppm	202,2 ppm	185,4 ppm	190,9 ppm	193,4 ppm	200,1 ppm	216,8 ppm	198,8 ppm	192,1 ppm
Cr ₂ O ₃ (%)	0,115%	0,118%	0,114%	979,4 ppm	0,117%	0,110%	782,6 ppm	654,7 ppm	556,4 ppm	606,7 ppm
MnO (ppm)	614 ppm	610 ppm	665,7 ppm	658 ppm	718,4 ppm	693,8 ppm	681,2 ppm	718,9 ppm	711,9 ppm	688 ppm
Fe ₂ O ₃ (%)	3,343%	3,417%	3,557%	3,312%	3,692%	3,558%	3,551%	3,830%	3,725%	3,627%
NiO (ppm)	360,1 ppm	376,5 ppm	374,3 ppm	333,9 ppm	362,3 ppm	364,4 ppm	255,9 ppm	213,3 ppm	209,1 ppm	223,1 ppm
CuO (ppm)	106,5 ppm	111,7 ppm	100 ppm	139 ppm	114,2 ppm	107,6 ppm	107,4 ppm	132,7 ppm	121 ppm	117,6 ppm
ZnO (ppm)	68,6 ppm	68,7 ppm	73,5 ppm	70 ppm	75,8 ppm	75 ppm	75,5 ppm	81,7 ppm	90,3 ppm	78,8 ppm
Rb ₂ O (ppm)	159,6 ppm	160,6 ppm	142,2 ppm	0,323%	154,40	151,80	0,350%	0,463%	181,7 ppm	182,1 ppm
SrO (ppm)	542,5 ppm	560,6 ppm	545,9 ppm	521 ppm	543,2 ppm	578,5 ppm	552,5 ppm	556,2 ppm	598,7 ppm	589,3 ppm
Y ₂ O ₃ (%)	0,350%	0,342%	0,347%	0,325%	0,321%	0,342%	0,359%	0,350%	0,341%	0,320%
ZrO ₂ (ppm)	840,1 ppm	0,103%	917,7 ppm	0,100%	0,110%	990,7 ppm	0,138%	0,113%	0,116%	0,123%
Nb ₂ O ₅ (ppm)	28,1 ppm	26,9 ppm	21,3 ppm	21 ppm	29,3 ppm	23,5 ppm	28,7 ppm	30,1 ppm	26,2 ppm	26,1 ppm
MoO ₃ (ppm)	0,00	995,8 ppm	421,9 ppm	0,00	643,4 ppm	244,1 ppm	703,3 ppm	0,189%	232,2 ppm	0,00

Fonte: Autor (2026)

Esses resultados reforçam o potencial da tinta intumescente como solução aplicável em projetos reais de engenharia civil, especialmente em edificações que demandam maior nível de segurança contra incêndio.

5 CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, em conjunto com os parâmetros estabelecidos pela EN 1992-1-2:2004 e pela ABNT NBR 15200:2024, verificou-se que os corpos de prova não protegidos apresentaram comportamento compatível com o previsto em norma, incluindo a ocorrência do fenômeno de *spalling* explosivo em determinadas faixas de temperatura. Observou-se ainda que, para atingir temperaturas elevadas sem ocorrência desse fenômeno, foi necessária a redução prévia da umidade interna dos corpos de prova, evidenciando a influência significativa da umidade no comportamento do concreto sob ação térmica.

Em contrapartida, os corpos de prova protegidos com tinta intumescente não apresentaram *spalling* explosivo, independentemente da temperatura atingida, indicando que o revestimento contribuiu para uma elevação mais gradual da temperatura interna do material. Esse comportamento permitiu a dissipação mais controlada do vapor de água, reduzindo a pressão interna e, conseqüentemente, o risco de ruptura explosiva.

Os resultados dos ensaios mecânicos indicaram que, embora haja redução da resistência à compressão com o aumento da temperatura, conforme previsto em norma, os elementos protegidos apresentaram melhor desempenho quando comparados aos não protegidos. Esse comportamento está associado à formação de uma camada isolante decorrente da expansão da tinta intumescente, que atua como barreira térmica, retardando a degradação das propriedades do concreto.

Adicionalmente, os ensaios de isolamento térmico demonstraram que a utilização da tinta intumescente proporciona significativa redução da transferência de calor, resultando em temperaturas substancialmente inferiores na face não exposta ao fogo. Esse resultado reforça o potencial da solução na melhoria das condições de segurança em situações de incêndio, especialmente no que se refere à preservação de rotas de fuga.

Do ponto de vista físico-químico, as análises por Fluorescência de Raios X indicaram que as principais alterações decorrentes da exposição térmica estão associadas a transformações mineralógicas e perda de massa, sem mudanças significativas na composição química dos óxidos predominantes.

Como limitações deste estudo, destaca-se o número reduzido de amostras submetidas a altas temperaturas, decorrente de problemas técnicos com o forno. Destaca-se, ainda, a impossibilidade de medição direta da temperatura interna dos corpos de prova durante os ensaios, o que restringe uma avaliação mais precisa dos gradientes térmicos no interior do

material.

Conclui-se, portanto, que a tinta intumescente apresenta elevada eficiência como sistema de proteção passiva contra incêndio em estruturas de concreto, contribuindo para a redução da transferência térmica, mitigação do fenômeno de *spalling* explosivo e preservação das propriedades mecânicas do material. Apesar de limitações relacionadas ao custo e à necessidade de manutenção, os benefícios observados indicam que sua aplicação é tecnicamente viável e relevante para o aumento da segurança em edificações.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: Informação e documentação — Referências — Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9775**: Agregados — Determinação da absorção de água em agregados graúdos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9939**: Agregados — Determinação do teor de material pulverulento. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: Informações e documentação — Citações em documentos — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações — procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724**: Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16916**: Concreto — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16917**: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972**: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054**: Concreto — Determinação do módulo de elasticidade estático à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- CARLO, U. D. A segurança contra incêndio no Brasil. In: SEITO, A. I. et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 9-17
- CASTRO, V. G. **Cimento Portland**. In: **Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro** [online]. Mossoró: EdUFERSA, 2021, pp. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1. DOI: 10.7476/9786587108612.0002.

CKC – Chemical Knowledge Center. **Aplicações: proteção de concreto e alvenaria.** Disponível em: <https://ckc.com.br/aplicacoes-protecao-de-concreto-e-alvenaria/>. Acesso em: 6 out. 2025.

CKC DO BRASIL LTDA. CKC-333® Alvenaria: **Tinta antichamas para alvenaria (parede corta-fogo)** – catálogo técnico 2020. São Paulo: CKC do Brasil, 2020. 2 p. Disponível em: <https://ckc.com.br/>. Acesso em: 10 out. 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio: módulo 1 – comportamento do fogo.** 2. ed. Brasília: CBMDF, 2009.

COSTA, C.N. e PIGNATTA, V. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio.** XXX Jornadas sul-americanas de engenharia estrutural. Brasília. p2, 2002.

DIAS, Alisson Rodrigues de Oliveira; AMANCIO, Felipe Alves; RAFAEL, Maria Fabíola de Carvalho; CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Comportamento do concreto submetido a elevadas temperaturas.** *Revista Matéria*, v. 25, n. 2, 2020. DOI: 10.1590/S1517-707620200002.1029

EN 1992-1-2. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.** Brussels: CEN, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13381-3: Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members.** Brussels: CEN, 2014.

HARTMANN, Carine Toso. **Análise do comportamento de materiais cimentícios submetidos a elevadas temperaturas.** 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-21052025-140335/publico/CarineTosoHartmannDISSERT.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2026.

LÜDKE, Marcelo Cristiano. **A rota metalúrgica do silício: da extração do quartzo à obtenção do silício de grau fotovoltaico.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2018.

MARCATTI, Carlos; BERQUÓ, Pedro; COELHO, José Luiz. **Compartimentação e afastamento entre edificações.** In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (coord.). *A segurança contra incêndio no Brasil.* São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 169-181.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 251: Standard methods of tests of fire resistance of building construction and materials.** Quincy, MA: NFPA, 2006.

OLIVEIRA, Carlos; NEGRISOLO, Walter; GILL, Alfonso Antonio. **Aprendendo com os grandes incêndios.** In: SEITO, Alexandre Itiu Seito et al. (coord.). *A segurança contra incêndio no Brasil.* São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 19-31.

OLIVEIRA, R. B. R. S.; MORENO JUNIOR, A. L.; VIEIRA, L. C. M. **Intumescent paint as fire protection coating**. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 10, n. 1, p. 220–243, 2017. DOI: 10.1590/S1983-41952017000100010

ONO, Rosaria; VENEZIA, Adriana P. P. Galhano; VALENTIN, Marcos Vargas. **Arquitetura e urbanismo**. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (coord.). *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 123-134.

PIGNATTA SILVA, Valdir et al. **Segurança das estruturas em situação de incêndio**. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (coord.). *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 135-169.

PROMAT. **Quais as vantagens da proteção passiva contra incêndio?** 2021. Disponível em: <<https://www.promat.com/pt-br/construcao/blog/118684/vantagens-protecaopassiva-incendio/>>. Acesso em: 18 de setembro de 2025.

QUÍMICA BRASILEIRA. **Cimento: estrutura, composição e sustentabilidade**. 2025. Disponível em: <https://www.quimicabrasileira.com.br/2025/03/05/cimento-estrutura-composicao-e-sustentabilidade/>. Acesso em: 30 mar. 2026.

SALES, C. A. S *et al.*. **Resistência ao fogo de blocos de alvenaria cerâmica de vedação utilizando proteção de tinta intumescente**. *Revista ALCONPAT*, Mérida, v. 10, n. 1, 2020. DOI: 10.21041/ra.v10i1.417.

SANTOS, Carlos da Silva. **Carbonatação natural do concreto: análise experimental e modelagem**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/36052/1/csscarbonatacaonatural.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2026.

SEITO, Alexandre Itiu et al. **Fundamentos de fogo e incêndio**. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. (coord.). *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 35-54.

SILVA, Rodrigo França da. **Aplicação industrial de design de experimentos (DOE) no estudo de substituição da frita em esmaltes cerâmicos transparentes**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que o Trabalho de Conclusão de Curso do aluno *Pedro Saraiva Cruz Filho*, intitulado: “Estudo da eficiência da tinta intumescente na proteção do concreto em situações de incêndio”, defendido e aprovado em 08 de abril de 2026 e sob minha orientação, está em versão final, de acordo com as solicitações realizadas pela banca examinadora.

Informo também que procedi à revisão final do texto, constatando que atende às especificações das normas da ABNT para apresentação de trabalhos acadêmicos da UFCA, no que diz respeito ao conteúdo e à formatação.

Juazeiro do Norte, 16 de maio de 2026

Prof Dr Aerson Moreira Barreto
Professor do Magistério Superior
SIAPE 188597