

**ANÁLISE DAS PRINCIPAIS SOLUÇÕES PASSIVAS CONTRA INCÊNDIOS EM
ESTRUTURAS DE AÇO NO BRASIL
ANALYSIS OF THE MAIN PASSIVE SOLUTIONS AGAINST FIRE IN STEEL
STRUCTURES IN BRAZIL**

Eduardo Francisco Abramo*

Euler Rodrigo Abramo**

Paulo Antônio Barreto de Castro Azalim***

Wesley Francisco Eugênio****

Liercio Feital Motta Júnior *****

RESUMO

As estruturas de aço são amplamente utilizadas na construção de edifícios, porém devido a deterioração das propriedades mecânicas diante de um incêndio, é fundamental que toda a estrutura, e os seus elementos, possuam a resistência necessária para prevenir um eventual colapso. O trabalho teve como objetivo apresentar as principais soluções passivas utilizadas para a proteção das estruturas em aço com relação a incêndios. Realizou-se uma pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, através de revisão da literatura. A proteção passiva envolve os materiais de revestimento que devem manter proteção ao fogo ao longo de sua vida útil, além de resistir a desgastes e exposição a umidade. A escolha de revestimentos que aliam proteção, estética e responsabilidade ambiental reflete um compromisso com as práticas de construção sustentáveis atuais. Ao se estudar as principais soluções passivas contra incêndios em estruturas de aço percebe-se uma variedade de opções a serem utilizadas, que associadas às proteções ativas trazem ainda maior segurança às estruturas de aço diante de uma situação de incêndio.

Palavras-chave: Incêndio. Proteção contra Incêndio. Fogo na Estrutura Metálica.

ABSTRACT

Steel structures are widely used in the construction of buildings, but due to the deterioration of mechanical properties in the face of a fire, it is essential that the entire structure, and its elements, have the necessary strength to prevent an eventual collapse. The objective of this study was to present the main passive solutions used for the protection of steel structures against fires. An applied, quantitative, exploratory research was carried out through a literature review. Passive protection involves the coating materials that must maintain fire protection throughout their useful life, in addition to resisting wear and tear and exposure to moisture. The choice of coatings that combine protection, aesthetics and environmental responsibility reflects a commitment to current sustainable construction practices. When studying the main passive solutions against fires in steel structures, a variety of options to be used are perceived, which associate with the active protections bring even greater safety to steel structures in the face of a fire situation.

Keywords: Fire. Fire Protection. Fire in the Metal Structure.

* Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – e-mail: abramoeduardo1980@gmail.com – Graduando em Engenharia Civil

** Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – e-mail: eulerabramo@gmail.com - Graduando em Engenharia Civil

*** Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – e-mail: pauloazalim@gmail.com - Graduando em Engenharia Civil

**** Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – e-mail: wesleyeugeniojf42@gmail.com - Graduando em Engenharia Civil

***** Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – e-mail: liercioengenhariajf@doctum.edu.br (orientador do trabalho)

1- Introdução

Os incêndios sempre representaram um risco às edificações e à população. Quando o incêndio ocorre de forma descontrolada pode ocasionar consequências devastadoras.

As estruturas de aço são amplamente utilizadas na construção de edifícios devido à sua elevada resistência mecânica, boa ductilidade e rápida execução da obra.

No entanto, devido à deterioração das propriedades mecânicas com a temperatura, é fundamental que toda a estrutura, e os seus elementos, possuam a resistência necessária para prevenir um eventual colapso causado pela ocorrência de um incêndio (BARROSO, 2020).

Segundo Basso (2016), os metais, quando expostos a altas temperaturas, inicialmente sofrem tensões indesejadas devido à expansão térmica e, ao aquecerem ainda mais, começam a plastificar, perdendo suas propriedades estruturais. Por isso, a proteção contra incêndios é essencial, pois a falta dela pode levar a desastres. A resistência do aço a temperaturas elevadas é bem documentada; especificamente, a 550°C, o aço estrutural retém apenas 60% de sua capacidade de resistência observada à temperatura ambiente, conforme descrito por (BASSO, 2016).

Com isto é possível observar diversos sistemas de proteção no mercado da construção civil, onde cada um apresenta suas peculiaridades de aplicação e formas de proteger a estrutura, como exemplo um perfil revestido com argamassa projetada, que protegem o substrato do calor por apresentarem baixa condutividade térmica.

Para que se possa verificar a segurança estrutural em situação de incêndio dos elementos estruturais de aço de uma edificação, é necessário conhecer a exigência de resistência ao fogo para cada tipo de elemento estrutural que compõe a edificação (viga, pilar, laje), conforme as normas vigentes no país.

As Normas Brasileiras que tratam da segurança estrutural frente ao fogo foram aprovadas em 1999. O desempenho requerido para os materiais de construção estrutural (concreto, madeira ou aço) ou de compartimentação prescritos na NBR 14432/2003, trata de prevenir o colapso estrutural, tornando possível a retirada dos ocupantes, de reduzir os danos às propriedades vizinhas e permitir o rápido acesso do Corpo de Bombeiros.

Neste cenário, uma diversidade de materiais, que ajudam a garantir o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) da estrutura surgiu no mercado como

alternativa de proteção da estrutura metálica à ação do fogo. Esses tipos de sistemas de proteção são classificados como passivos, que são medidas incorporadas ao sistema construtivo e que visam reduzir a probabilidade de colapso das estruturas sempre que ocorra um incêndio.

Os sistemas passivos atuam durante o uso normal da edificação onde em caso de incêndio evitam a propagação e o desenvolvimento das chamas, entre os materiais mais comuns temos o uso de tintas intumescentes, argamassa projetada e placas de gesso acartonado.

Este trabalho tem como objetivo apresentar as principais soluções passivas utilizadas para a proteção das estruturas em aço com relação a incêndios.

Assim, o presente trabalho se justifica pela crescente preocupação quanto ao desempenho das estruturas metálicas quando submetidas ao incêndio.

2- Referencial teórico

2.1- Estrutura metálica

Desde a antiguidade o aço já era conhecido, só não era usado com grande parte por motivo do preço e da dificuldade, que era a forja do mesmo. Somente em 1856 foi inventado o forno que permitiu a produção do aço em larga escala. Em 1864, os irmãos Martin desenvolveram um outro tipo de forno de maior capacidade e, desde então, o aço rapidamente substituiu o ferro fundido e o forjado na indústria da construção. O primeiro material siderúrgico empregado na construção foi o ferro fundido. Entre 1780 e 1820 construíram-se pontes em arco ou treliçadas, com elementos em ferro fundido trabalhando em compressão (BRUNO, (2019).

A primeira ponte construída em ferro fundido foi a de *Coalbrookdale*, sobre o rio Severn na Inglaterra, que é uma ponte do tipo em arco com vão de incríveis 30 metros, construído em 1779. Já no Brasil, a ponte sobre o rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro, foi inaugurada em 1857. Os vãos de 30 metros são vencidos por arcos atarantados, sendo os arcos constituídos de peças de ferro fundido montadas por encaixe e o tirante em ferro forjado. Foram também construídos o Edifício Garagem América em 1957, o Edifício Avenida Central em 1961 e o Edifício CSN em 1966, todos no Rio de Janeiro (BRUNO,2019).

No final do último século, a posição de liderança na construção de edifícios altos foi assumida por Nova York, não somente na quantidade de edifícios que estavam sendo construídos, mas também em recordes de altura e de grau de

desenvolvimento e qualidade arquitetônico. Foi em 1913 que foi construída a *Woolworth Tower*, com 234 metros de altura, 55 andares, considerado o edifício mais alto do mundo até 1930. Já em 1929 foi construído o *Chrysler Building* com 320 metros de altura e 75 andares, e em 1931 o *Empire State* com 380 metros de altura e 102 andares, que durante os 40 anos que se seguiram não encontrou rival no mundo, mas desde esse tempo se buscam tecnologias para se construir prédios maiores com (BRUNO,2019).

As vantagens do uso de estruturas metálicas nas obras são muitas, mas se destaca a alta resistência do material nos diversos estados de tensão, se traduzindo em tração, compressão, flexão, torção e outros efeitos. Outra vantagem do uso de estruturas metálicas é que os elementos em aço oferecem uma grande margem de segurança na execução do trabalho e dimensionamento. Se tem um controle tecnológico mais aprimorado por seguir regras severas de qualidade e há a possibilidade de desmontar as estruturas e posteriormente montá-las em outro local. Também podem ser reaproveitados os materiais que ficarem em estoque, ou mesmo as sobras de obra (OLIVEIRA CAVALCANTE,2021).

Os pórticos transversais são importantes para suprir as ações transversais da estrutura, transferindo-as para as fundações. Apresentam-se como coberturas em vigas-tesoura compostas por perfis tipo “I” ou treliçados, como tesouras por exemplo. Existem dois tipos, que são de alma cheia ou treliçados, e sua seção é constante ou também pode ser variável. As barras rígidas suprimem os esforços à compressão e normalmente são formadas por cantoneiras simples, cantoneiras duplas ou com perfil laminado do tipo I. Essa barra faz o travamento do banzo superior (Azevedo, 2009).

Para se fazer a escolha do’ arranjo estrutural correto de uma edificação, devem ser considerados vários aspectos construtivos da estrutura em um contexto geral e específico de cada elemento construtivo. Por exemplo, deve ser analisada a distância necessária entre pórticos em função da utilização da edificação, além de seus vãos e esforços específicos que cada elemento construtivo irá receber. Deve-se atender os aspectos economia e segurança, para que não se estime demais a estrutura de forma exagerada, além de estipular sempre a balança econômica e a segurança para que esta fique equilibrada, mas tendendo sempre para o lado da segurança e para o consumo de aço que será necessário. (OLIVEIRA CAVALCANTE,2021)

Dos tipos de estruturas, temos também os pórticos do tipo em arco, que é um arco treliçado em muitos casos. O arco atirantado pode ser muito econômico, contanto

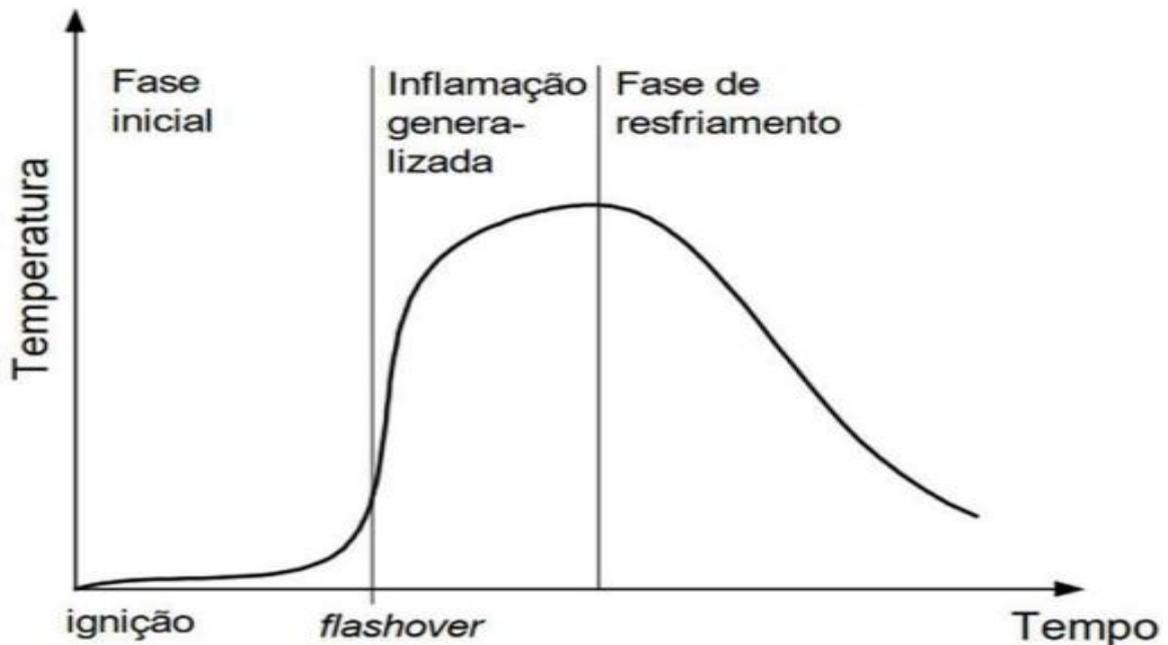
que carregamentos no sentido vertical na direção da gravidade sejam predominantes. Em casos de inversão de carregamento, o arco pode se fechar e o tirante não terá mais nenhuma finalidade. Seu detalhamento geral de estrutura se trata de uma cobertura em formato de arco sustentada por pilares, os quais vão se encontrar no gênero, que resistirá aos esforços normais, cisalhantes e refletores. Normalmente seus banzos são paralelos e sua fabricação é muito trabalhosa, pois é necessário que sejam feitas formas específicas, o que aumenta o tempo de execução (OLIVEIRA CAVALCANTE,2021)

2.2 - Resistência ao fogo

Quando tratamos de estruturas em situação de incêndio, o projeto de se torna mais complexo em comparação ao projeto em temperatura ambiente. Quando seus elementos e componentes são submetidos a elevadas temperaturas, além da perda de resistência mecânica, há uma série de efeitos que também não estão presentes em temperatura ambiente, tais como a acentuação das não-linearidades geométricas do material e a alteração das condições do contorno do sistema da estrutura, que podem influenciar em pioras imediatas ou a longo prazo da estrutura, também como erros de prumadas, irregularizações do projeto executado diferente do planejado e muitos outros (HEISSBEMESSUNG ,2024).

O desenvolvimento de um incêndio pode ser representado por três etapas. A fase inicial é a ignição, o início do incêndio, sendo está por um curto-circuito ou acidente inflamável. A segunda etapa é a inflamação generalizada (flashover), quando o incêndio está tomando uma proporção quase descontrolada, na qual o aumento de temperatura se eleva exponencialmente. Por fim há a fase de esfriamento, quando quase não se tem mais combustível para queimar e aos poucos o incêndio começa a apagar. Segue abaixo o ciclo do fogo onde mostra a fase do pico (Figura1).

Figura 1 - Desenvolvimento de um incêndio em um compartimento.



Fonte: Lima,2022

Para que se tenha uma proteção melhor na edificação ou parte dela, no intuito de evitar a combustão das chamas, cada pavimento deve ter ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas, provida por aberturas que possam ser consideradas uniformemente distribuídas e que tenham comprimentos em planta que somados atinjam pelo menos 40% do perímetro e áreas que somadas correspondam a pelo menos 20% da superfície total das fachadas externas; ou tenha ventilação permanente em duas ou mais fachadas externas, provida por aberturas cujas áreas somadas correspondam a pelo menos 1/3 da superfície total das fachadas externas, e pelo menos 50% destas áreas abertas situadas em duas fachadas opostas (LIMA, 2022).

Na falta de um espectro de carga que defina a frequência de repetição de cada nível de carga, permitindo a aplicação da regra de Palmgren-Miner, a verificação da fadiga pode ser feita para um único nível de carga. Esse nível de carga é definido pela carga frequente de fadiga à qual corresponde um certo número de ciclos de carga. A combinação frequente de fadiga é o número de repetições dessa condição de carregamento, N , ao longo da vida útil, que pode causar a ruptura por fadiga. Com o aumento da temperatura, a resistência do metal diminui exponencialmente inversa, sendo que o cume dessa curva seria a ruptura (LIMA, 2022).

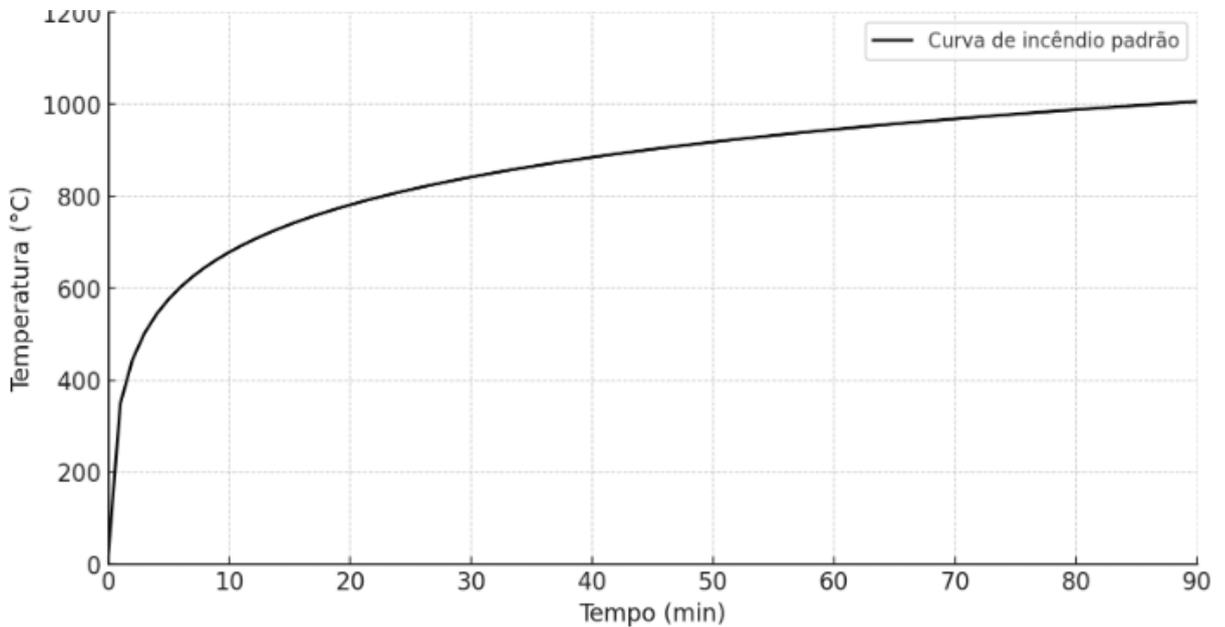
O comportamento da coluna, como composta global, depende da flexibilidade devido à flexão causada pela excentricidade de desaprumo, ou não uniformidade das cargas no mesmo e também ao cisalhamento Normal, causado pela carga que o pilar tem a resistir e a deformabilidade das ligações. O efeito das deformações cisalhantes mostra a distorção de uma seção originalmente reta na flambagem de uma coluna múltipla. Com a presença da alta temperatura, essa resistência ao esforço normal é ainda mais prejudicada, pelo fato de o aço perder sua consistência, se deslocando das ligações e prejudicando ainda mais a resistência à flexão, levando a estrutura à ruína (LIMA,2022).

A flambagem é um dos estudos mais preocupantes do calculista, se não o mais preocupante, ainda mais quando o pilar tem um vão muito grande. Com isso, deve ser feito um estudo muito específico para os diferentes compartimentos da estrutura, pois cada local terá um esforço, excentricidade e reação à alta temperatura diferente. Dessa maneira, as tabelas de TRRF com os diferentes tipos de cômodos, tipos de obras e peculiaridades do tipo de obra ajudarão no dimensionamento e redimensionamento da estrutura, que sofrerá com o aumento leve, mediano e bruto de temperatura (LIMA, 2022).

2.3- Coeficientes de resistência

Na curva padrão “Temperatura-fogo”, é definido o programa térmico a ser adotado no ensaio, na qual já podemos perceber um dos coeficientes de resistência ao fogo ao subtrair onde o objeto chegou à ruína da temperatura inicial. Dessa maneira, poderemos definir a temperatura de determinado objeto a ser estudado utilizando como teoria de ensaio a temperatura final da estrutura subtraída da temperatura ambiente, na qual a temperatura ambiente deve estar de acordo com cada região, pois conforme regiões obteremos comportamentos de incêndio diferentes, sendo uns mais agressivos que outros (FIGUEREDO ,2020).

Figura 2 - Curva de incêndio padrão.



Fonte: Heissbemessung, 2024.

Sendo o gás a principal característica do incêndio, a curva do aumento de temperatura em função do tempo é como uma montanha (Figura 2). No *flashover* o crescimento é exponencial e, ao chegar na metade do crescimento, o aumento segue uma função de raiz até chegar no cume. Em seguida desce com concavidade para baixo, mudando a concavidade para baixo no meio da descida até a temperatura se igualar à inicial anterior ao incêndio. A partir dessa curva é possível calcular a máxima temperatura atingida pelas peças estruturais e, portanto, sua correspondente resistência a altas temperaturas, sendo essa a evolução da temperatura dos gases em incêndio (HEISSBEMESSUNG,2024).

Dentre os coeficientes, tem como impactos nas estruturas tanto nos estados de limite último quanto nos estados limites de serviços, sendo preciso dois tipos de coeficientes para a mesma situação de incêndio e estrutura, sendo que para cada etapa do incêndio teremos tipos de deformações e esforços causados nas estruturas e ligamentos, até que, de acordo com o tempo de incêndio decorrente, o coeficiente possa perder índice de impacto na estrutura. Com o aumento de tempo de estrago, podem se tornar plásticos os efeitos causados na estrutura e, dentre os estados limites

de serviço, deve-se ter uma estimativa de quando ainda é seguro adentrar no edifício, tanto para socorro quanto para correções.

No contexto de análise de incêndios em estruturas, é fundamental considerar a evolução do comportamento dos materiais sob condições extremas de calor. À medida que o incêndio se desenvolve, os materiais que compõem a estrutura podem sofrer alterações significativas em suas propriedades mecânicas. Os coeficientes de segurança devem, portanto, ser ajustados dinamicamente para refletir a perda de resistência e a mudança na rigidez dos materiais. Isso é crucial para garantir que as previsões sobre a integridade estrutural permaneçam válidas ao longo das várias fases do incêndio (PASTORELLO, 2020).

Durante um incêndio, a aplicação de coeficientes variáveis é essencial para a modelagem da resposta estrutural. Conforme o calor se intensifica, as partes metálicas podem começar a deformar, perdendo a sua capacidade de suportar cargas predeterminadas. Este fenômeno é especialmente preocupante em estruturas de aço, que podem atingir um ponto de falha mais rapidamente devido à redução na capacidade de carga. Portanto, os engenheiros precisam utilizar modelos que incorporem a degradação progressiva dos materiais para prever corretamente o momento crítico antes que falhas catastróficas ocorram (SILVA, 2004).

Além das preocupações estruturais, a segurança dos ocupantes e dos socorristas é primordial. Estabelecer claramente o momento em que é seguro entrar na edificação em chamas para realizar resgates ou iniciar reparos é um aspecto crítico da gestão de incêndios. Os coeficientes utilizados nas análises devem, portanto, fornecer diretrizes claras sobre os limites de segurança operacional, permitindo decisões informadas sobre quando e como intervenções podem ser seguramente realizadas (PASTORELLO, 2020)

Finalmente, a longo prazo, o impacto dos incêndios nas estruturas deve ser avaliado dentro de uma perspectiva de recuperação e reabilitação. Isso envolve não apenas a reparação física das partes danificadas, mas também uma revisão dos coeficientes de segurança usados na análise estrutural. A adaptação dos padrões de segurança para refletir as novas condições e garantir a resiliência futura contra incêndios é essencial para o desenvolvimento de estratégias mais robustas de proteção e resposta a incêndios em ambientes urbanos (SILVA, 2012).

As condições de segurança de uma estrutura podem ser resumidas ao esforço solicitante de cálculo, estando este em situação de incêndio a partir de combinações

feitas em estudos numéricos e utilizada a pior situação existente, sendo maior que o esforço de resistente de cálculo de um elemento. Explanando, é como fazer o estudo da resistência de uma corrente, sendo a resistência da combinação de esforços sofrida na corrente maior do que o esforço maior que um elo da corrente poderá suportar, porém considerando o estado limite último e o de serviço para obtenção de um coeficiente mais seguro de acordo com a variabilidade da estrutura (PASTORELLO, 2020)

Sendo a flambagem um dos esforços mais prejudiciais para a estrutura metálica, por se tratar de um material menos resistente à compressão, deve-se determinar um enorme fator de segurança para combate à flambagem local e global na em situação de incêndio, ou utilizar suportes estruturais resistentes ao fogo, como suportes estruturais de concreto, madeira adequada, aumento da seção de perfil, ou preenchimento dos vazamentos do perfil. A madeira não é tão frágil ao fogo assim quanto se imagina, pois, a mesma quando tem sua superfície queimada cria uma camada de carvão ininflamável, que protege o restante da madeira e garante certa resistência. (PASTORELLO, 2020)

Tirantes têm seu melhor aproveitamento de resistência por serem totalmente tração. Com isso, seu coeficiente de proteção ao incêndio se torna melhor e apresenta mais soluções, sendo que também muito desses tirantes podem ser protendidos, e com a combinação de tirantes eles mesmos podem ser o apoio de resistência a incêndio. Se a distribuição dos esforços não for possível, pode ser proteger a superfície do tirante com uma superfície de plástico que quando queimada se torna ininflamável, tornando assim sua superfície protegida até o próprio incêndio se extinguir conforme a temperatura ou combates corretivos.

Em situações de incêndios de grandes proporções em pequenos tempos de incêndio, teremos uma fadiga imensa pela agitação e desagregação extrema dos ligamentos metálicos, tendo sido estudado em artigos passados que, em suma, pela plasticidade e/ou cisalhamento extremo de componentes metálicos necessitam de estudos à parte de seus componentes em locais diferentes da estrutura, pois a ruína nem sempre vem do local específico do aumento brusco de temperatura (SILVA,2012).

As análises serão obtidas pelo estudo da variabilidade de cada segmento metálico, conforme as fórmulas padronizadas de cálculo para determinação dos módulos de resistência dos esforços fundamentais, sendo eles axial, cisalhante, fletor

e torço, sendo os resultados das resistências da estrutura inseridos à perda de resistência por reação do aumento de temperatura. Essas perdas de resistência serão abordadas desde o flashover ao pico do incêndio, contando também com a estagnação e extinção do incêndio (SILVA, 2012).

2.3- Comportamento estrutural

Como exemplo teremos um galpão comum com coeficiente C_e , sendo os coeficientes de pressão externa são gerados a partir das características geométricas da edificação e, para ventos a 0° e 90° , respectivamente, coeficientes C_{pi} . De acordo com as características da edificação serão consideradas as seguintes hipóteses de abertura e consequentes valores de C_{pi} : quatro faces igualmente permeáveis, $C_{pi} = -0,3$ ou $C_{pi} = 0$; duas faces igualmente permeáveis e outros dois impermeáveis vento a 0° $C_{pi} = -0,3$ ou 0 , vento a 90° $C_{pi} = -0,3$ ou $0,2$ (DIAS, 2002).

Sendo submetido a diferentes condições de incêndio, o aumento de temperatura no ambiente é caracterizado pela curva tempo-temperatura padronizada (ISO 834-1, 1999). Adota-se a combinação de carregamentos externos recomendada pela AISCLFRD (2005), na qual se prevê a consideração de cargas nodais fictícias e são previstos dois cenários básicos de incêndios compartimentados. Para cada cenário, a hipótese da inflamação generalizada (flashover) ocorre, simultaneamente, em dois pavimentos consecutivos, ou inicia no pavimento inferior, propagando-se em tempo mínimo estimado (SILVA, 2012).

Os elementos finitos foram escolhidos de forma a representar satisfatoriamente o comportamento dos elementos estruturais na análise térmica, procurando concomitantemente limitar a complexidade do problema, de forma que a análise possa ser concluída dentro do prazo e padrões de qualidade esperados. Na análise dos pilares e vigas de aço, bem como da mesa de concreto que forma a viga mista, foi utilizado o elemento sólido SOLID70, de forma a bem representar o comportamento dos elementos estruturais. O elemento finito possui a capacidade de condução nas três dimensões. Cada elemento SOLID70 possui oito nós, com um grau de liberdade cada associado à temperatura (PASTORELLO, 2020).

O cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo é essencial nesta fase do projeto, pois corresponde ao tempo fictício que a edificação deve suportar a carga térmica, de acordo com a curva de incêndio padrão dada pela ISO 834. O cálculo desta é base para a análise térmica dos elementos. Por se tratar de uma edificação

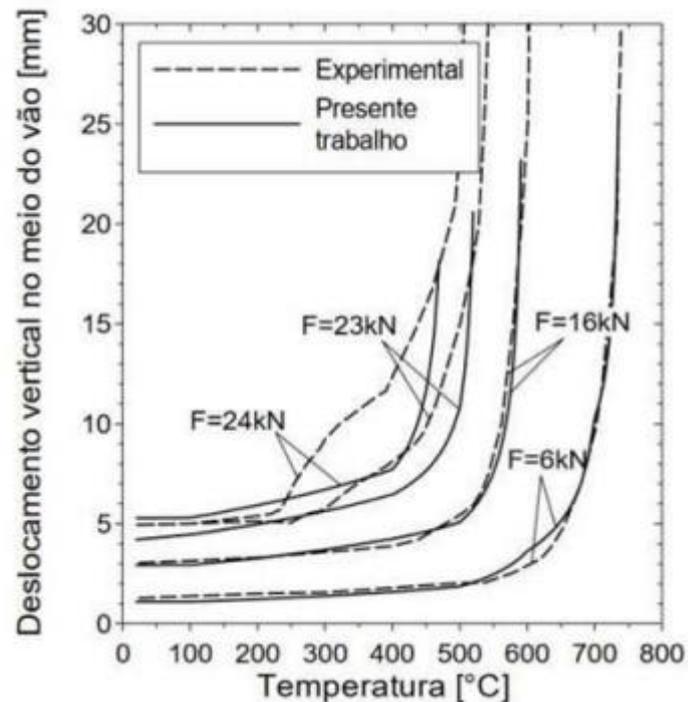
de três pavimentos com área total igual a aproximadamente 1750m², o galpão comercial em questão não está isento da análise, e o tempo requerido de resistência ao fogo exigido da estrutura é dado pela tabela A.1 da ABNT NBR 14432:2001 (ABNT, 2001).

Com a finalidade de simular o incêndio, é adicionado um nó extra ao modelo, que tem o papel de gerar o aumento de temperatura do sistema. Este aumento de temperatura segue um padrão comumente utilizado para edificações urbanas, já que o incêndio é proposto pela ISO 834. Segundo esta norma internacional, a temperatura média dos gases no incêndio pode ser calculada através da equação $\theta_g = 345 * \log_{10}(8t + 1) + 20$, sendo que, na equação, a temperatura é dada em graus Celsius e o tempo em segundos. A equação, fornecida ao pacote computacional em forma de Array, pode ser plotada para fins de melhor visualização da curva em questão. O tempo final da análise é aquele encontrado através da TRRF (item anterior), de 60 minutos (PASTORELLO,2020)

Dentre esses coeficientes, podemos inserir um valor de constante para cada elemento estrutural na ferramenta de cálculo (TQS, FToll etc). Esses valores irão automaticamente baixar a resistência dos metais de acordo com as recomendações do fabricante do mesmo, obtendo-se assim seus coeficientes individuais, sendo que para cada elemento estrutural deve se obedecer às recomendações de cada fabricante, pois somente estes têm as ferramentas necessárias para a execução desses testes. Sobre os móveis e outros de cada pavimento, a norma do corpo de bombeiro TRRF informa o valor adotado para cada ocasião (PASTORELLO,2020)

Em um experimento hipotético temos um exemplo de um pórtico Vogel, onde foi feito um experimento matemático, com estrutura metálica com seção transversal IPE 80 de comprimento inicial de 1140mm, e os valores adotados de cargas foram 24, 23, 16 e 6 kN, representando 85, 70, 50 e 20% de carga necessárias para formar rótulas plásticas na temperatura ambiente. A tensão de escoamento do material é 399MPa a 20°C, exceto para 24 kN, que é 352 na mesma temperatura, sendo o módulo de elasticidade 210Gpa, com taxa de aquecimento a 5,33 °C/min, revelando o deslocamento vertical no meio do vão (Figura3) (LIMA, 2022).

Figura 3 – Resultado de experimento.



Fonte: Lima, 2022

Devido a essa baixa resistência do aço à ação do fogo é então necessário proteger as peças para que estas suportem o tempo necessário para a fuga e entrada da equipe de combate a incêndio. A escolha da melhor proteção envolve fatores como ambiente e disponibilidade dos materiais, manutenção e custo.

Existem disponíveis no mercado várias opções de proteção passiva contra incêndio para estruturas metálicas. Serão abordadas, a seguir, as seguintes: tintas intumescentes; argamassa e fibra projetada; placa de gesso acartonado e placa de lã de rocha.

2.4 - Proteção

2.4.1- Proteção ativa

A proteção ativa contra incêndios em estruturas de aço envolve a aplicação de sistemas que detectam e respondem automaticamente ao início de um incêndio, com o objetivo de controlar ou extinguir o fogo antes que ele cause danos significativos à estrutura ou comprometa a integridade do aço.

Embora o aço seja um material não inflamável, ele perde resistência mecânica em temperaturas elevadas, o que pode comprometer a segurança estrutural durante um incêndio. Por isso, a proteção ativa é crucial para mitigar o risco.

A eficácia dos sistemas de sprinklers automáticos é bem documentada na proteção contra incêndios em estruturas de aço. Esses sistemas são projetados para atuar imediatamente ao detectar um aumento significativo na temperatura, distribuindo água ou soluções retardantes de forma precisa. O mecanismo de ativação dos sprinklers se baseia em sensores térmicos que rompem ao alcançar temperaturas pré-determinadas, liberando a água armazenada. Esta intervenção precoce é fundamental para manter o controle do fogo, minimizando danos e proporcionando mais tempo para a evacuação segura das pessoas presentes no local (FELIX, ONO, OLIVEIRA, 2022).

Os sistemas de extinção com espuma ou gás oferecem uma solução alternativa crucial em ambientes onde o uso de água é inviável. Em áreas com equipamentos eletrônicos sensíveis, como data centers ou instalações de telecomunicações, a água pode causar danos irreversíveis. Portanto, gases inertes como o dióxido de carbono, ou espumas especiais que suprimem o oxigênio e bloqueiam a reação química do fogo, são preferidos. Estes sistemas são especialmente projetados para extinguir incêndios rapidamente sem comprometer a funcionalidade dos equipamentos críticos (OLIVEIRA, CAVALCANTE, 2021).

Os sistemas de detecção e alarme são a primeira linha de defesa contra incêndios. A instalação de sensores de fumaça, calor e chama em locais estratégicos permite a detecção precoce de um incêndio, crucial para uma resposta eficaz. Quando um incêndio é detectado, esses sistemas podem ativar automaticamente os sprinklers ou outros sistemas de supressão, além de alertar os ocupantes do edifício com alarmes sonoros e visuais. Este nível de resposta automática ajuda a assegurar que medidas de segurança sejam implementadas instantaneamente, aumentando significativamente as chances de controle do fogo antes que ele se espalhe (LIMA, 2020)

Finalmente, a integração de sistemas de resfriamento contínuo desempenha um papel vital na proteção de estruturas de aço durante um incêndio. Esses sistemas são projetados para manter as temperaturas das seções críticas de aço abaixo dos limiares de falha, através da aplicação constante de água ou soluções resfriantes. Ao fazer isso, eles não só ajudam a preservar a integridade estrutural do aço mas também

prolongam o tempo necessário para ações de combate e evacuação, oferecendo uma margem maior de segurança para os ocupantes e equipes de resgate. A implementação dessas tecnologias avançadas é essencial para maximizar a segurança e a resiliência das estruturas modernas em face de incêndios (TIMMERMANN, JUNIOR, 2021).

2.4.2- Proteção passiva

A proteção passiva contra incêndios em estruturas de aço refere-se ao conjunto de medidas que visam retardar o aumento da temperatura do aço durante um incêndio, sem a necessidade de intervenção ativa ou mecânica. Como o aço perde sua resistência estrutural em altas temperaturas, a proteção passiva é essencial para garantir que ele mantenha sua integridade por tempo suficiente para a evacuação de pessoas e o combate ao incêndio. (BARROSO, 2020)

Principais métodos de proteção passiva para estruturas de aço são:

- Revestimentos Intumescentes
- Chapas de Proteção (Revestimento de Placas)
- Encasco com Concreto (Concreto Refratário)
- Spray de Argamassa de Cimento Refratário
- Materiais Compósitos Resistentes ao Fogo

Torna-se fundamental em edifícios de grande porte, como arranha-céus e fábricas, onde as estruturas de aço são frequentemente usadas. Esses sistemas não dependem de detecção ou ativação, funcionando de maneira contínua assim que o fogo começa. O objetivo principal é aumentar o tempo de resistência ao fogo, garantindo que as estruturas de aço mantenham sua estabilidade por longos períodos (geralmente entre 30 minutos e 2 horas, dependendo do método) para permitir a evacuação segura e a resposta dos bombeiros. (BRUNO, 2019)

As vantagens são: continuidade, pois funciona sem necessidade de detecção ou ativação; eficiência, que mantém a integridade estrutural por um tempo crucial durante um incêndio e custo-benefício visto que muitas soluções são econômicas e podem ser combinadas com proteções ativas (BRUNO, 2019).

A combinação de proteção passiva com sistemas de proteção ativa oferece a melhor abordagem para a segurança contra incêndios em estruturas de aço, criando uma barreira contra o calor e retardando a falha estrutural até que o incêndio possa ser controlado (BRUNO, 2019).

3 - Metodologia

Realizou-se uma pesquisa aplicada, quantitativa, exploratória, através de revisão da literatura.

Neste trabalho utilizou-se, unicamente, a pesquisa do tipo bibliográfica, que segundo Fonseca (2002) livros, artigos científicos, teses e dissertações que foram analisadas e públicas, servem para levantamento de referências teóricas. Para o desenvolvimento dessa pesquisa bibliográfica, seguiram-se algumas das etapas sugeridas. listadas abaixo:

1. Escolha do tema;
2. Levantamento bibliográfico preliminar;
3. Formulação do problema;
4. Busca de fontes através do google acadêmico com a palavra-chave: “proteção passiva contra incêndio”;
5. Leitura do material e filtragem;
6. Organização lógica do assunto;
7. Redação do texto.

4 – Resultados e discussão

4.1- Descrição dos métodos de proteção passiva

4.1.1 Tintas Intumescentes

São tintas especiais que, quando expostas ao calor de um incêndio, incham e formam uma camada espessa de espuma isolante. Essa camada ajuda a proteger o aço, retardando a transferência de calor para a estrutura.

O revestimento intumescente é amplamente utilizado por sua leveza, estética e capacidade de proteger o aço sem adicionar muito peso à estrutura. Em incêndios, a espuma criada pode aumentar várias vezes o volume da tinta, criando uma barreira eficaz contra o calor.

As tintas intumescentes são tintas que foram desenvolvidas com intuito de expandirem ao ficarem expostas à temperaturas a partir de 200°C, formando uma superfície enrijecida que protege a estrutura metálica isolando-a dos gases e das chamas, conforme Figura 4.

Figura 4 – Tinta intumescente exposta ao fogo



Fonte: Google imagens

Segundo (FIGUEREDO,2020), são três reações principais que ocorrem durante o processo de intumescência. A primeira acontece a 150°C , quando ocorre a decomposição do catalisador, em seguida, a uma temperatura um pouco superior, acontece a reação do ácido formado com o agente carbonífero. Por último, tem-se a decomposição do agente expensor, a uma temperatura de 200 a 300°C , ocasionando em liberação de gases que expandem o resíduo de carbono, formando uma espuma de cor escura.

A aplicação das pinturas intumescentes possui como algumas vantagens, sendo elas a característica da tinta possuir um bom acabamento superficial e durabilidade, uma grande variedade de cores no mercado o que pode auxiliar na compatibilização com projetos de arquitetura, por ser uma proteção a base de tinta não adiciona cargas consideráveis a estrutura, simples aplicação apesar de necessitar de experiência e controle de qualidade, não precisa fixar na estrutura e a manutenção é simples, pode ser usado nas regiões de ligações estruturais, pode ser aplicada em estruturas já desgastadas pelo tempo desde que feitos os devidos preparos da superfície que receberá a tinta. O quadro 1 mostra alguns tipos de produtos disponíveis no Brasil.

Quadro1 - Produtos disponíveis no Brasil e respectivo fabricante

PRODUTO	FABRICANTE	REPRESENTANTE NO BRASIL
Nullifire S605 e S707	Carboline	Unifrax Brasil
Firetex	Leigh's Paints	Morganite do Brasil
Sprayfilm	Isolatek International	Morganite do Brasil
Interchar 963	Tintas International	Produzido no Brasil
Firesteel 47-A	Firetherm	CKC do Brasil
Calatherm 600	Tintas Calamar	Produzido no Brasil

Fonte: Figueredo ,2020

A espessura da camada intumescente, de acordo com o TRRF pretendido, pode ser consultada em catálogos e varia muito conforme cada fabricante. A Tabela 1 e Tabela 2 apresentam a espessura de tinta intumescente aplicada em vigas tipo "I", com os quatro lados exposto segundo o catálogo de dois fornecedores distintos.

Tabela 1 - Espessura (mm) de tinta intumescente, catálogo Nullifire, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$:

F (m ⁻¹)	TRRF (min)			
	Catálogo Nullifire Internacional			
	30	60	90	120
150	0,49	1,27	1,73	3,96
200	0,49	1,27	2,31	5,94
300	0,49	2,23	-	-

Fonte: Catálogo Tintas Calamar

Tabela 2 - Espessura (mm) de tinta intumescente, catálogo Tintas Calamar, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$:

F (m ⁻¹)	TRRF (min)			
	Catálogo Tintas Calamar			
	30	60	90	120
150	0,37	1,20	2,10	2,90
200	0,47	1,70	3,00	-
300	0,67	2,30	-	-

Fonte: Catálogo Tintas Calama

4.1.2. Materiais projetados

Também conhecido como "spray de proteção contra incêndios", é uma mistura aplicada por pulverização sobre o aço, composta por materiais como cimento ou gesso misturados com agregados leves, como vermiculita ou perlita. Esse material cria uma camada espessa que isola o aço do calor.

Esse tipo de spray é resistente ao fogo e ajuda a proteger a estrutura sem modificar significativamente sua aparência ou dimensão.

Os materiais projetados são constituídos à base de cimento ou gesso contendo agregados como fibras minerais e vermiculita expandida. Esses materiais podem oferecer proteção de até 240 minutos.

A argamassa projetada é um tipo de proteção de estruturas metálicas de fácil aplicação e apresenta baixo custo. Segundo Mendes et al., (2006): Estes materiais são os mais utilizados para a proteção de estruturas metálicas em todo o mundo e já foram especificados para a proteção contra incêndio em grandes edifícios, como o Sears Towers, World Trade Center, Torres Petronas, entre outros. (FIGUEREDO,2020).

Essa argamassa é constituída em grande parte de sua composição por aglomerantes, como gesso e cimento; além disso, contém resinas acrílicas e cargas inertes, como a celulose e o poliestireno expansível.

Quando adicionada a água, a argamassa apresenta característica fluida que facilita sua aplicação de forma projetada com o auxílio de mangueiras e pistolas de projeção. Segue em forma de ilustração (Figura 5).

Figura 5 – Aplicação de argamassa projetada



Fonte: Google imagens

As fibras projetadas mais usadas no Brasil são importadas dos Estados Unidos e são obtidas de rochas ou escória de alto-forno. Segundo Vargas et al. (2010) “as argamassas projetadas contendo fibras consistem de agregados, fibras minerais e aglomerantes (por exemplo, cimento Portland)”. (SILVA ,2012).

Essas fibras também são aplicadas por projeção e não apresentam nenhum tipo de reação química depois de aplicada, permanecendo inerte. Sua densidade é de aproximadamente 240 kg/m³ e é atóxica (Tabela 3).

Tabela 3 – Mínimos recomendados das propriedades físicas das fibras projetadas

PROPRIEDADES FÍSICAS	MÍNIMOS RECOMENDADOS
Densidade seca média	240 kg/m ³
Aderência ao aço	9,6 kpa
Compressão- 10%def. máx.	57 kpa
Erosão - ar a 24 km/h	Máx. 0,53 g/m ²

Fonte: Silva, 2012

Os materiais projetados na estrutura metálica para garantir a resistência ao fogo devem acompanhar os movimentos da estrutura, de forma a evitar desprendimentos e fissuras. Além disso, não devem reagir com o ar, para não haver corrosão da estrutura metálica.

O quadro 2 apresenta os principais fabricantes de fibra projetada utilizada no Brasil.

FIGURA 2 – Principais fibras projetadas utilizadas no Brasil

PRODUTO	FABRICANTE	REPRESENTANTE NO BRASIL
Blaze Shield II	Isolatek International	Morganite do Brasil
Cafco 300	Isolatek International	Morganite do Brasil
Fendolite	Isolatek International	Morganite do Brasil
Pyrolite 15 HY	Carboline	Unifrax Brasil
Pyrolite 22	Carboline	Unifrax Brasil
Pyrolite 40	Carboline	Unifrax Brasil
Termosist	Grupo Sistema	Produzido no Brasil
Isobrax	Magnesita	Produzido no Brasil
Isopiro	Eucatex	Produzido no Brasil
Isopiro LV	Eucatex	Produzido no Brasil
Monokote MK6	Grace	Grace do Brasil

Fonte: Silva,2012

A Tabela 4 apresenta a espessura de argamassa necessária, conforme o TRRF, segundo o catálogo de um fabricante de argamassa pré-fabricada para proteção de estruturas metálicas contra a ação do fogo.

Tabela 4 - Espessura (mm) da argamassa pré-fabricada Termosist G, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$

F (m ⁻¹)	TRRF (min)			
	30	60	90	120
150	10	17	25	34
200	11	20	30	39
300	13	24	36	47

Fonte: Catálogo Sistema

4.1.3- Placas de gesso acartonado

As estruturas de aço podem ser revestidas com placas de materiais resistentes ao fogo, como gesso acartonado ou placas de cimento. Essas placas são fixadas ao redor das colunas ou vigas, proporcionando uma barreira física entre o fogo e o aço.

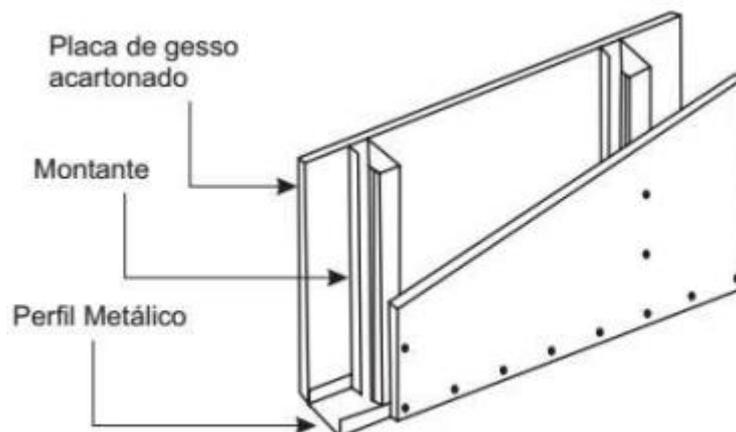
Esses materiais não inflamam e têm a função de impedir que o calor do incêndio atinja o aço diretamente, retardando o aquecimento.

As placas rígidas são elementos pré-fabricados, podendo ser rígidas ou flexíveis, que dispõem de material fibroso e gesso em sua composição. Geralmente são fixadas na estrutura por meio de pinos e garantem boa estética ao ambiente.

Material gessado específico para estruturas metálicas, em formato de placas de 15 mm, são cortadas uma a uma nas medidas requeridas e envolvidas nas estruturas metálicas seguindo normas adequadas. Em alguns casos é necessário vedar as juntas entre as placas com materiais de *firestop*, para que a sua proteção seja efetiva em caso de incêndio.

Por ocuparem espaços de áreas úteis e serem mais frágeis, não são recomendadas, por exemplo, em garagens ou áreas expostas a impactos mecânicos. O tempo de instalação também costuma ser maior, devido ao trabalho artesanal e de encaixe das placas. Durante a exposição ao fogo, à placa perde as moléculas de água contidas no gesso, o que mantém a temperatura do aço mais baixa; a fibra de vidro tem a função de manter a placa estruturada (MOTA ,2023).

Figura 6 – Fixação da placa de gesso acartonado na estrutura



Fonte: Lima ,2022

O dimensionamento da espessura dessas placas de gesso acartonado, assim como as placas de lâ de vidro, é feito conforme as características do aço utilizado e do TRRF exigido pelo Corpo de Bombeiros Militar (Figura 6 e Tabela 5).

Tabela 5- Espessura (mm) do painel Thermax-PEM em função de F e do TRRF, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$

F (m ⁻¹)	TRRF (min)			
	30	60	90	120
< 55	12,5	12,5	12,5	15
55	12,5	12,5	12,5	2 x 12,5
70	12,5	12,5	12,5	2 x 12,5
98	12,5	12,5	15	2 x 12,5
138	12,5	12,5	2 x 12,5	2 x 12,5
152	12,5	12,5	2 x 12,5	2 x 15
203	12,5	15	2 x 12,5	2 x 15
240	12,5	15	2 x 12,5	3 x 12,5
334	12,5	2 x 12,5	3 x 12,5	3 x 12,5
400	12,5	2 x 12,5	3 x 12,5	3 x 12,5

Fonte: Catálogo Rock Fibras

4.1.4- Placa de lã de rocha

As placas de lã de rocha são compostas de material fibroso, aglomerado pela adição de resinas termoendurecíveis. As placas são incombustíveis, apresentam baixa densidade e são encontradas na forma rígida ou flexível.

O dimensionamento da espessura da placa é feito conforme o TRRF exigido pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (Tabela 6).

Tabela 6 - Espessura (mm) do painel Thermax-PEM em função de F e do TRRF, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$

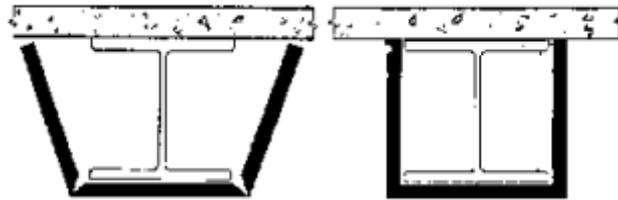
F (m ⁻¹)	TRRF (min)			
	30	60	90	120
30	25	25	25	25
60	25	25	25	25
65	25	25	25	38
95	25	25	25	38
100	25	25	38	38
105	25	25	38	50
140	25	25	38	50
145	25	25	38	63
160	25	25	38	63
165	25	25	50	63
185	25	25	50	63
190	25	25	50	75
230	25	25	50	75
235	25	38	50	75
240	25	38	63	88
300	25	38	63	88
305	25	38	63	100
320	25	38	63	100

Fonte: Catálogo Rock Fibras

A fixação é feita através de pinos de aço soldados à estrutura metálica, envolvendo-a na forma de caixas, conforme Figura 7, o ar confinado dentro desse sistema melhora ainda mais a proteção da estrutura, e como consequência, tem-se a redução da espessura dessas placas.

Elas podem ser fornecidas com acabamentos superficiais, como papel Kraft, véu de poliéster e alumínio reforçado, garantindo também estética ao ambiente.

Figura 7 - Fixação das placas de lã de rocha.



Fonte: RockFibras

4.2- Comparação entre os sistemas de proteção

Ao comparar sistemas de proteção contra fogo em revestimentos estruturais, é importante analisar uma variedade de fatores que vão além da simples resistência ao fogo. Um dos aspectos críticos é a preparação da superfície e o processo de aplicação do material. Diferentes materiais exigem preparações distintas, que podem incluir limpeza especial, primers ou tratamentos específicos que influenciam diretamente na aderência e eficácia do revestimento. Tais processos podem impactar significativamente no cronograma e custos de construção, tornando essencial uma escolha informada baseada não só na performance contra incêndio, mas também na praticidade de aplicação (GRANVILLE; DIAS, 2023).

Outro ponto de consideração é a resistência do material ao longo do tempo. Materiais de revestimento devem não só oferecer proteção imediata contra o fogo, mas também manter essa proteção ao longo de sua vida útil, mesmo sob condições adversas. Isso inclui resistir a desgastes, exposição a umidade e variações térmicas. A durabilidade do revestimento assegura que o investimento inicial em um sistema de proteção eficaz não seja comprometido por deterioração precoce ou manutenção excessiva (BARROSO, 2020).

Além da durabilidade, o acabamento final dos materiais de revestimento também é um fator crucial. Este aspecto afeta não apenas a estética da construção, mas pode influenciar a integração do material com outros componentes do edifício e a satisfação dos usuários finais. Materiais que oferecem uma variedade de acabamentos permitem uma melhor adaptação às especificações de design e podem melhorar a aceitação do sistema de proteção, integrando segurança e aspecto visual de maneira harmoniosa (MOTA, 2021). Por fim, a sustentabilidade dos materiais de revestimento é uma consideração cada vez mais vital. Materiais que são

ecologicamente corretos e que contribuem para a construção de edifícios mais sustentáveis estão se tornando uma exigência no mercado. Isso inclui não apenas a eficácia do material em termos de proteção ao fogo, mas também seu impacto no ambiente durante a produção, aplicação e ao longo de seu ciclo de vida. A escolha de revestimentos que aliam proteção, estética e responsabilidade ambiental reflete um compromisso com as práticas de construção sustentáveis, essenciais para o futuro do setor (FIGUEIREDO, 2020).

A tabela 7 apresenta de forma objetiva uma comparação entre os materiais projetados, rígidos e semirrígidos e intumescentes.

Tabela 7 – Comparação entre os materiais de proteção contra o fogo para estruturas metálicas

	MATERIAS PROJETADOS	MATERIAS RIGIDOS E SEMIRRIGIDOS	MATERIAIS INTUMESCENTES
CUSTO	BAIXO A MEDIO	BAIXO A MEDIO	MÉDIO E ALTO
APLICAÇÃO	ÚMIDO	SECO	ÚMIDO
EQUIPAMENTOS PARA APLICAÇÃO	NECESSÁRIOS	FERRAMENTAL SIMPLES	EQUIPAMENTOS NORMALMENTE UTILIZADOS EM PINTURA
USO	INTERNO E EXTERNO	INTERNO	INTERNO, COM ALGUNS SISTEMAS EXTERNOS
PREPARAÇÃO PARA APLICAÇÃO	SUPERFICIE LIMPA	NENHUM	NECESSITA DE TINTA DE FUNDO
ROBUSTEZ	RELATIVAMENTE FRAGIL; PODE SER VULNERAVEL A DANOS MECANICOS	RELATIVAMENTE FRAGIL; PODE SER VULNERAVEL A DANOS MECÂNICOS	SEMELHANTE AOS SISTEMAS DE PINTURAS ADICIONAIS
ACABAMENTO	TEXTURIZADO	MATERIAIS RIGIDOS SÃO NORMALMENTE LISOS	LISO OU LEVEMENTE TEXTURIZADO
FAIXA DE ESPESSURAS	<i>10 A 75 MM</i>	<i>PLACAS DE 6 100MM E MANTAS DE 12 A 76 MM</i>	<i>0,3 A 6,5 MM</i>
RESISTÊNCIA MÁXIMA AO FOGO	240 MINUTOS	240 MINUTOS	120 MINUTOS

Fonte: Lima, 2022

5 - Considerações Finais

Após a revisão bibliográfica sobre as proteções passivas contra incêndios em estruturas de aço, é evidente que a adoção dessas medidas é crucial para garantir a integridade estrutural em situações de emergência. Revestimentos intumescentes, encascalhamento com concreto e o uso de placas ou sprays refratários são métodos amplamente validados pela literatura, cada um com características próprias que variam conforme o tipo de construção e os requisitos de segurança. A eficácia dessas soluções está diretamente ligada à capacidade de retardar o aumento de temperatura no aço, proporcionando um tempo adicional crítico para a evacuação e o combate ao incêndio. Além disso, a combinação de proteção passiva com sistemas ativos de combate a incêndio reforça ainda mais a segurança estrutural, criando um ambiente mais seguro e resiliente a eventos de fogo. Todas as edificações estão sujeitas a incêndio e, portanto, o projeto contra incêndio é tão importante quanto o projeto de dimensionamento da estrutura, seguindo as regras estabelecidas na NR14432.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14323:2013- *Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio Brasil*, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14432: - *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento Brasil*, 2001a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5628 - *Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo Brasil*, 2001b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800 - *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e de concreto de edifícios Brasil*, 2008.

BARROSO, L. B.; FERREIRA, L. S.; DE LIMA, R. C. A. *Proteção passiva contra incêndios em edificações*. Revista de Ciência e Inovação, v. 5, n. 1, 12 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26669/2448-4091250>. Acesso em: 11 out. 2024.

BARROSO, L.B.; FERREIRA, L.S. *Proteção passiva contra incêndios em edificações*. Revista de Ciência ..., 2020. Disponível em: <http://periodicos.iffarroupilha.edu.br/index.php/cienciainovacao/article/view/250>. Acesso em: 10 out. 2023.

BASSO, G. *Proteção passiva em estruturas metálicas: desempenho de pinturas intumescentes*. Handle.net, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/148716>. Acesso em: 11 out. 2024.

BRUNO. *Proteção passiva contra fogo em estruturas metálicas em prédio comercial*. Uniceub.br, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/14007>. Acesso em: 11 out. 2024.

CBPMESP. INSTRUÇÃO TÉCNICA No 02/2018 - *Conceitos básicos de segurança contra incêndio Brasil*, 2018

DOMINGOS, A. *Estudo comparativo de diferentes métodos de proteção estrutural passiva contra incêndio em edifício de oito pavimentos em aço localizado em Maceió*. Ufal.br, 2023. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/12448>. Acesso em: 11 out. 2024.

FELIX, P.M.A.C.; ONO, R.; OLIVEIRA, F.L. de. *Aplicação dos requisitos de proteção passiva para o Cross Laminated Timber-CLT segundo a ABNT NBR 155575: 2021*. Gestão & Tecnologia de Projetos, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/196689>. Acesso em: 11 out. 2024.

FIGUEIREDO, M. L. *Comportamento termofísico de argamassas de proteção passiva contra o fogo de base cimentícia e gesso*. 2020. Disponível em:

<https://search.proquest.com/openview/e4943d84395dcc3eec0efa0487c1a17c/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 10 out. 2024.

GRANVILLE, S.; DIAS, V. G. *Proteção passiva contra incêndios em estruturas metálicas*. *Arq-Engenharia de Mato Grosso*, 2023. Disponível em: <http://revistas.fasipe.com.br:3000/index.php/rae-mt/article/download/161/148>. Acesso em: 10 out. 2024.

HEISSBEMESSUNG. *Curva de incêndio padrão ISO*. Disponível em: <https://www.heissbemessung.net/Infothek/Braende/ISO-standard-fire.html>. Acesso em: 11 out. 2024.

LIMA, P.H.P.; FRANÇA, S.; MACIEL, P.S.; SILVA NETO, J.T. *Resíduos refratários para argamassa para proteção passiva contra incêndio*. *Ambiente*, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/cs49fcnGBn8QpKKRvVPWC4g/>. Acesso em: 10 out. 2024.

LIMA, J.S; LIMA, I.M.S; FERREIRA, D.S. *Coefficientes estruturais de tempo mínimo requeridos dos elementos construtivos quando sujeitos a incêndio em estruturas metálicas*. *RESEARCH SOCIETY AND DEVELOPMENT*v. 11, n. 17, e141111738338, 2022 (CC BY 4.0)

MITIDIARI, V.C.F. *Paredes em chapas de gesso acartonado*. Edição 30/2009. Disponível em: Acesso em 10/10/ 2022.

MOTA, B.S. *Proteção passiva contra fogo em estruturas metálicas em prédio comercial*. 2021. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/14007>. Acesso em: 10 out. 2023.

OLIVEIRA, C. M.; CAVALCANTE, M. M. P. D. *A proteção passiva contra incêndio na concepção de projetos escolares: aplicação no projeto padrão da FNDE-PEED-12 salas*. *Revista Projetar-Projeto e ...*, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/23722>. Acesso em: 10 out. 2023.

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. 220–231, 2017. PANNONI, F. D. *Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio*. Brasil, 2015.

PASTORELLO, A. P. *Desempenho de estruturas de aço, em situação de incêndio, com diferentes proteções passivas*. *Repositorio.ucs.br*, 9 dez. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/11338/8865>. Acesso em: 11 out. 2024.

SILVA, V. P. *Projeto de Estruturas de Concreto em Situações de Incêndio*. [s.l.] Editora Blucher, 2012.

SOARES, É. F. *Aspectos gerais dos sistemas de proteção contra incêndio em estruturas metálicas*. *Uniceub.br*, 30 abr. 2015. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/6391>. Acesso em: 11 out. 2024.

TIMMERMANN, M. A. S.; JUNIOR, E. D. M. *Compartimentação na proteção contra incêndio: um estudo*. *Ignis: Revista Técnico ...*, 2021. Disponível em:

<https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/171>. Acesso em: 10 out. 2024.

VARGAS, M. R.; SILVA, V. P. *Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço*, 2003.