

PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DE RISCOS ESTRUTURAIS NA INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO

*Felipe Viana de Paula Lobo*¹

<https://orcid.org/0009-0008-7790-7555>

*Pedro Soares de Paula*²

<https://orcid.org/0000-0002-9266-284X>

RESUMO

Este artigo aborda os riscos estruturais em edificações após incêndios, com foco na segurança dos investigadores do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC). Em muitos casos, mesmo após o controle das chamas, permanecem estruturas comprometidas que oferecem riscos de colapso parcial ou total, exigindo atenção redobrada por parte dos profissionais que atuam no local. Diante da ausência de diretrizes práticas específicas para esse tipo de avaliação, o objetivo deste trabalho é propor um método simplificado de análise de riscos estruturais, com base em observações visuais e práticas acessíveis. A proposta está fundamentada na matriz de riscos adaptada da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), articulando-a com conhecimentos sobre comportamento de materiais estruturais diante do fogo e manifestações patológicas comuns em cenários sinistrados. A metodologia foi construída por meio de revisão bibliográfica e adaptação de boas práticas normativas, incluindo NFPA 921, NFPA 1033 e documentos internos do CBMSC. Como resultado, apresenta-se uma ferramenta que não substitui a análise especializada, mas que contribui para decisões mais seguras no campo e fortalece a formação técnica dos profissionais envolvidos em investigações de incêndio.

Palavras-chave: segurança operacional; avaliação de risco; inspeção técnica; patologias estruturais.

¹ Cadete do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amapá – UNIFAP (2022). Curso de Pós Graduação Lato Sensu em Gestão de Investigação de Incêndio e Explosão pelo CBMSC (2025). Email: lobo.bmsc@gmail.com

² Capitão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), Graduado em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC (2022). Especialista em Gestão de Riscos e Eventos Críticos - CBMSC (2016). Perito em Incêndio e Explosão - CBMSC (2019). E-mail: pedrosoaresdepaula@gmail.com

PROPOSAL FOR ASSESSMENT OF STRUCTURAL RISKS IN FIRE INVESTIGATION

ABSTRACT

This article addresses structural risks in buildings after fires, focusing on the safety of investigators from the Military Fire Department of Santa Catarina (CBMSC). In many cases, even after the flames are controlled, structural elements remain compromised, posing risks of partial or total collapse and requiring heightened attention from professionals working at the scene. Given the lack of specific practical guidelines for this type of assessment, the aim of this study is to propose a simplified method for structural risk analysis, based on visual observations and accessible practices. The proposal is grounded in a risk matrix adapted from the National Civil Aviation Agency (ANAC) and integrates knowledge about the behavior of structural materials under fire conditions and common pathological manifestations observed in post-fire scenarios. The methodology was developed through a bibliographic review and the adaptation of recognized normative practices, including NFPA 921, NFPA 1033, and internal CBMSC documents. As a result, the study presents a practical tool that, while not replacing specialized evaluation, contributes to safer field decisions and enhances the technical training of professionals involved in fire investigations.

Keywords: Operational safety; Risk assessment; Technical inspection; Structural pathologies.

Artigo Recebido em 26/05/2024

Aceito em 28/06/2025

Publicado em 02/07/2025

1. INTRODUÇÃO

Incêndios em edificações e infraestruturas urbanas causam diversos danos estruturais, podendo comprometer a estabilidade de construções de concreto, aço e madeira. Estudos indicam que as altas temperaturas podem levar à fissuração, delaminação e colapsos parciais de elementos estruturais (Morales, 2011). Esses danos não tornam o ambiente perigoso apenas para os ocupantes dos locais sinistrados durante a ocorrência de incêndio, mas também para profissionais que precisam acessar a área após o incidente, mesmo após o resfriamento, como bombeiros e peritos. Diante disso, verifica-se que a avaliação de risco estrutural pós-incêndio demanda conhecimento especializado para identificar ameaças de colapso, o qual pode atenuar estes perigos durante a investigação.

A regulamentação vigente na maior parte dos estados brasileiros a respeito dos critérios de tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) para os elementos estruturais das edificações fundamenta-se na ABNT NBR 14432:2001, no caso do Estado de Santa Catarina, trata-se da Instrução Normativa 14 (IN14) do CBMSC. Tais critérios para as estruturas possuem como principal objetivo garantir tempo suficiente para evacuação segura dos ocupantes e um possível controle do incêndio pelas equipes de resposta inicial. Entretanto, esse tempo de resistência não assegura que a estrutura permanecerá estável após a extinção das chamas, tampouco garante segurança suficiente para as fases subsequentes de atuação, como a investigação técnica realizada pelo Corpo de Bombeiros ou pela Polícia Científica, a qual acontece antes mesmo de uma possível perícia do engenheiro civil responsável pelo laudo técnico das estruturas. Portanto, este fato pode se apresentar como um risco em potencial às forças de segurança que permanecem no local após o sinistro.

As estruturas das edificações e infraestruturas urbanas são projetadas para garantir estabilidade e segurança sob diferentes condições de carregamento, incluindo ações de vento, cargas permanentes e variáveis, bem como impactos acidentais, como incêndios (Lima, 2005). Os elementos estruturais, como vigas, pilares, lajes e fundações, desempenham um papel fundamental na redistribuição de esforços para manter a integridade da construção ao longo do tempo (Martins, 2019). Quando expostos a incêndios, esses componentes podem sofrer degradação significativa, o que compromete a capacidade da estrutura de resistir às tensões a que está submetida. Por isso, o entendimento das características estruturais das edificações é essencial para a correta avaliação dos riscos associados ao colapso após um incêndio (IBAPE/SP, 2023).

Os materiais mais comumente usados nos elementos estruturais são o concreto, o aço e a madeira. Cada um desses materiais possui um comportamento diferente ao ser submetido às chamas do incêndio. No concreto, o aumento da temperatura pode levar à perda de resistência, fissuração e deslocamento de camadas superficiais (Lima, 2005). Já o aço, ao ser aquecido em temperaturas comumente observadas em incêndios em edifícios, sofre redução substancial de sua resistência, principalmente sem a proteção adequada contra o fogo (SkyCiv, 2019). A madeira, por sua vez, ao ser submetida a altas temperaturas, sofre amolecimento dos polímeros, o que resulta em mudanças significativas nas suas propriedades mecânicas, especialmente no módulo de elasticidade (Martins, 2019). Nota-se que apesar de possuírem respostas diferentes, a qual depende também da temperatura em questão, a perda de eficiência resistiva é um fator comum a cada um dos supracitados.

No estado de Santa Catarina, a atividade pericial foi consolidada como um componente essencial do ciclo operacional do Corpo de Bombeiros Militar com a publicação da Diretriz Operacional nº 24 do Comando-Geral, que

estabelece que todos os incêndios e explosões em edificações devem ser investigados (CBMSC, 2023). No entanto, o acesso às edificações sinistradas envolve riscos consideráveis, uma vez que não há garantias imediatas sobre a integridade estrutural dos locais afetados. Dependendo da severidade do incêndio, elementos estruturais podem ter sido comprometidos, elevando a possibilidade de colapsos parciais ou totais (Jin e Jang, 2015). Tal fato representa uma ameaça direta à segurança dos peritos e dos inspetores durante as investigações. Portanto, a ausência de uma análise prévia da estabilidade da edificação, pode resultar em acidentes graves.

Destaca-se que além da Diretriz Operacional nº24, vinculado a esta, há o Procedimento Operacional Padrão nº1 (POP Nº1 - CmdoG), o qual trata da coleta de amostras para ensaios laboratoriais. Em sua página 13, no item 4 “Riscos associados”, nas alíneas “d” e “e” diz-se o seguinte:

- d) Imóveis que passaram por um incêndio possuem sempre um grande risco de queda de objetos, vidros quebrados, metais contorcidos, parte da alvenaria comprometida, pisos salientes com risco de o investigador cair em buraco, queda de telhado e até de desmoronamento. Antes de entrar no imóvel o investigador deve cercar-se de todas as garantias possíveis que o local está seguro para o levantamento do local, escavação de escombros e todas as etapas do processo de investigação. Em incêndios de grandes proporções recomenda-se que o local seja avaliado por um engenheiro civil para avaliar os riscos de estabilidade estrutural.
- e) Deve ter muito cuidado com a remoção de escombros durante escavação do local e reconstituição, pois a remoção dessas estruturas podem enfraquecer ainda mais a estabilidade da edificação.

Diante disso, verifica-se que o documento trata também de orientações mínimas para o perito ou inspetor ao se deparar com os locais de investigação sinistrados.

Apesar da regulamentação da atividade pericial no CBMSC e das orientações supracitadas, não há diretrizes ou recomendações específicas que orientem os peritos sobre a avaliação estrutural de edificações após um incêndio. Portanto, é descrito e informado que o investigador está exposto a

riscos, porém sem apresentar claramente como identificá-los. Ademais, segundo o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE/SP, 2023), atualmente, os cursos de formação não incluem módulos específicos sobre patologias estruturais causadas pelo fogo, nem fornecem um protocolo técnico mínimo para a análise de riscos estruturais durante a investigação pericial. Esse déficit de capacitação resulta em tomada de decisões baseada apenas na experiência empírica dos profissionais, o que pode comprometer tanto a segurança do investigador quanto a precisão da análise da cena sinistrada.

Outrossim, a NFPA 921 (2021) afirma que antes de entrar em tais estruturas ou iniciar a remoção de detritos, o investigador deve realizar uma avaliação cuidadosa da estabilidade e da segurança da estrutura. Se necessário, o investigador deve buscar a ajuda de especialistas estruturais qualificados. Além disso, a NFPA 1033 (2022), a qual define os requisitos profissionais mínimos para investigadores de incêndio, estabelece de forma clara que a segurança do perito é responsabilidade essencial durante a investigação. Segundo o item 4.1.3:

Devido aos investigadores de incêndio serem exigidos a atuar em condições adversas, as avaliações de segurança do local devem ser realizadas em todas as cenas, e normas de segurança regionais e nacionais devem ser seguidas e incluídas nas políticas e procedimentos organizacionais.

É possível afirmar que essa normativa reforça que o ingresso em locais sinistrados exige mais do que apenas o conhecimento investigativo, demanda também capacidade de identificar perigos estruturais que possam comprometer a integridade física do profissional. Desse modo, avaliando esses documentos normativos que atuam como os principais norteadores da atividade pericial, percebe-se a necessidade da implementação de diretrizes e de conteúdos didáticos voltados à verificação estrutural pós-incêndio na formação dos peritos e dos inspetores do CBMSC, garantindo que estes

possam atuar com maior segurança e embasamento técnico nas investigações.

Nesse sentido, o objetivo deste artigo científico é apresentar conhecimentos relevantes sobre o comportamento das estruturas diante da ação do fogo, além das patologias associadas a estas em sinistros de incêndio. Além disso, há como objetivo propor um método de avaliação de riscos estruturais para investigadores de incêndio com base na metodologia de gerenciamento de riscos adotada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

A metodologia adotada neste artigo é de natureza qualitativa e exploratória, baseada em revisão bibliográfica sobre comportamento de materiais estruturais diante do fogo, manifestações patológicas e diretrizes técnicas. A partir desse levantamento, foi desenvolvida uma proposta prática de avaliação de riscos estruturais, utilizando como referência a matriz de riscos da ANAC, adaptada à realidade da investigação pericial em cenários pós-incêndio.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 COMPORTAMENTO DOS PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS NAS ESTRUTURAS PERANTE O FOGO

Os materiais estruturais mais amplamente utilizados na construção civil são o concreto armado, o aço e a madeira, cada qual com características que os tornam mais adequados a diferentes contextos de projeto e execução (Saga Construção, 2021). Portanto, neste item, o objetivo é compreender a influência do fogo sobre cada um desses materiais mais comumente encontrados nas estruturas das edificações, a fim de compreender as possibilidades dos efeitos do incêndio a cada caso. Ou seja, conhecer como cada material se comporta diante de um sinistro de incêndio não é essencial

somente para a investigação, mas também para melhor averiguar patologias e/ou instabilidades na superestrutura.

2.1.1 Concreto Armado

O concreto armado é uma combinação entre concreto e barras de aço, em que o concreto contribui predominantemente com a resistência à compressão e o aço com a resistência à tração. Essa combinação resulta em um material versátil e durável, amplamente utilizado em fundações, pilares, vigas e lajes. Sua capacidade de moldagem permite grande flexibilidade no design arquitetônico. Além disso, apresenta boa resistência ao fogo e baixo custo de manutenção. No entanto, estruturas de concreto armado tendem a ser mais pesadas, o que exige fundações mais robustas (SkyCiv, 2019).

O concreto armado, apesar de apresentar boa resistência ao fogo quando comparado a outros materiais estruturais, sofre alterações significativas em suas propriedades físicas, químicas e mecânicas à medida que a temperatura se eleva. Estudos apontam que o material pode perder até 25% de sua resistência à compressão aos 300 °C e até 75% aos 600 °C, sobretudo em situações em que há resfriamento brusco após o incêndio (Britez *et al.*, 2019; Morales *et al.*, 2011). Um dos efeitos mais críticos é o spalling, caracterizado pelo deslocamento superficial violento de partes do concreto, especialmente em concretos com alta umidade, baixa permeabilidade ou agregados instáveis. O fenômeno ocorre com frequência entre 250 °C e 400 °C e pode comprometer a seção resistente do elemento, expondo armaduras e favorecendo colapsos (Britez *et al.*, 2019).

Ademais, internamente, a elevação térmica provoca fissuração, desidratação da matriz cimentícia (C-S-H), perda de aderência entre aço e concreto e transformações estruturais nos agregados, especialmente no quartzo, que se expande significativamente a 573 °C (Morales *et al.*, 2011). A coloração do concreto também varia conforme a temperatura atingida,

servindo como um possível indicador de exposição térmica: do rosa e vermelho pálido (300–600 °C) ao amarelo claro (acima de 1000 °C). Embora o aspecto visual de uma estrutura pós-incêndio possa ser crítico, estudos sugerem que a estabilidade nem sempre está comprometida, sendo a decisão por reforço ou demolição dependente de uma avaliação técnica especializada e criteriosa da integridade estrutural residual (Britez et al., 2019).

2.1.2 Estrutura Metálica

As estruturas metálicas, apesar de apresentarem elevada resistência mecânica em temperatura ambiente, tornam-se altamente vulneráveis quando expostas ao fogo. O aço possui alta condutividade térmica, o que permite o rápido aquecimento de seus elementos estruturais durante um incêndio. A perda de resistência à tração e de rigidez inicia-se em torno de 400 °C, intensificando-se significativamente entre 500 °C e 600 °C, podendo resultar em colapso estrutural se não houver proteção térmica adequada (Jacobs, 2007).

Além disso, segundo Silva, Vargas e Ono (2010), a resistência à tração do aço começa a se reduzir significativamente a partir de 400 °C, podendo perder mais de 50% de sua capacidade aos 600 °C. Por conseguinte, o módulo de elasticidade do aço também é afetado, reduzindo-se drasticamente e favorecendo o surgimento de deformações excessivas, flambagens e instabilidades locais. Além da degradação térmica, o aço também é suscetível à fluência em alta temperatura, fenômeno que provoca deformações inelásticas dependentes do tempo sob temperaturas elevadas e cargas permanentes. Quando combinadas, essas condições podem levar ao início precoce de instabilidade nos membros estruturais, gerando colapsos locais e, em casos mais críticos, colapsos progressivos em cadeia (Venkatachari & Kodur, 2023).

Por fim, essa perda rápida de desempenho estrutural faz com que o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) dos elementos metálicos não protegidos seja extremamente baixo. Por isso, ressalta-se a importância de adotar medidas de proteção passiva contra incêndio, como o uso de argamassas projetadas, tintas intumescentes, placas de gesso acartonado ou o aumento das seções dos perfis metálicos, a fim de retardar o aquecimento e preservar a estabilidade da estrutura durante o incêndio (Silva, Vargas e Ono, 2010). Tais fatores construtivos são fundamentais para garantir o tempo necessário à evacuação e à atuação mais segura de bombeiros no local sinistrado.

2.1.3 Madeira

A madeira, por ser um material natural e orgânico, apresenta comportamento típico e relativamente previsível quando exposta ao fogo, sobretudo quando suas propriedades são conhecidas e controladas. Inicialmente, há a liberação de vapores e gases (pirólise), seguida da carbonização das camadas externas, com formação de uma crosta de carvão que atua como isolante térmico, retardando o aquecimento das regiões internas do elemento (Figuerola & Moraes, 2009). Essa característica permite, por exemplo, a utilização de taxas tabeladas de carbonização (como no Eurocode 5 ou na NBR 7190) para dimensionamento de estruturas de madeira com resistência ao fogo. Durante o processo, ocorre também a perda progressiva das propriedades mecânicas, como rigidez e resistência à compressão e tração, o que exige consideração específica em projetos estruturais em situação de incêndio.

Estudos numéricos e experimentais realizados por Molina *et al.* (2012) com elementos de madeira de *Eucalyptus citriodora* confirmam esse comportamento. Os autores observaram que, mesmo sob condições severas de aquecimento, a temperatura nas regiões internas da madeira se mantém

inferior à da superfície graças ao efeito isolante da camada carbonizada. A taxa de carbonização observada nos ensaios foi compatível com valores normativos, e os modelos numéricos apresentaram boa concordância com os resultados experimentais. Contudo, os autores também alertam que a previsibilidade do comportamento térmico da madeira depende da disponibilidade e confiabilidade dos dados térmicos e físicos da espécie analisada, o que nem sempre é garantido, especialmente no caso de madeiras tropicais ou peças reaproveitadas.

Apesar dessa previsibilidade em condições controladas, a madeira possui limitações importantes do ponto de vista da segurança contra incêndio. Por ser altamente combustível, contribui diretamente para a carga térmica do ambiente e pode acelerar a propagação das chamas. A pirólise se inicia a partir de aproximadamente 200 °C, liberando gases inflamáveis que aumentam o risco de ignição (Figuerola e Moraes, 2009). Além disso, a carbonização contínua reduz progressivamente a seção resistente, comprometendo a estabilidade estrutural. Em situações em que a densidade, o teor de umidade ou a espécie da madeira não são conhecidos ou controlados, seu desempenho torna-se mais incerto (Molina *et al.*, 2012). Sem tratamento ignífugo, a madeira costuma apresentar baixo tempo de resistência ao fogo, exigindo o uso de soluções complementares de proteção para aplicações estruturais seguras.

2.1.4 Comparação dos principais materiais estruturais em incêndios

A seguir está a figura 11 adaptada de Jacobs (2007) com a comparação entre os materiais estruturais (aço, madeira e concreto) quanto ao desempenho em incêndios:

Figura 1 - Comparação do desempenho dos principais materiais utilizados nas estruturas em relação a exposição às chamas

Materiais de construção (desprotegidos)	Resistência ao fogo	Facilidade de combustão	Contribuição nas cargas de incêndio	Taxa de elevação de temperatura na seção transversal	Proteção ao fogo (intrínseca do material)	Facilidade de reabilitação (pós incêndio)	Proteção para evacuação e bombeiros
MADEIRA	BAIXA	ALTA	ALTA	MUITO BAIXA	MUITO BAIXA	NULA	BAIXA
AÇO	MUITO BAIXA	NULA	NULA	MUITO ALTA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
CONCRETO	ALTA	NULA	NULA	BAIXA	ALTA	ALTA	ALTA

Fonte: Adaptado de Jacobs (2007).

Entre os principais materiais estruturais utilizados na construção civil: concreto, aço e madeira, o concreto se destaca como o único que reúne, de forma integrada, todas as propriedades desejáveis em termos de segurança contra incêndio. Por ser incombustível, o concreto não contribui com carga térmica, não libera gases tóxicos, não goteja partículas inflamadas e ainda atua como uma barreira térmica eficiente, dificultando a propagação das chamas e preservando a compartimentação entre ambientes. Além disso, mesmo quando danificado, o concreto é facilmente reparável, o que favorece a recuperação estrutural após o sinistro (Jacobs, 2007). Já o aço, apesar de não ser inflamável, perde rapidamente sua resistência mecânica à medida que a temperatura se eleva, sendo comum o colapso de estruturas metálicas expostas ao fogo sem proteção passiva adequada. A madeira, por sua vez, além de ser altamente combustível, agrava a intensidade do incêndio e, sem tratamentos específicos, não apresenta tempo de resistência suficiente para garantir a segurança de ocupantes e profissionais atuantes no local. Diante dessas características, o concreto se mostra como o material mais seguro para edificações onde a proteção à vida, à propriedade e aos profissionais que operam em contextos de incêndio é uma prioridade.

2.2 PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS SINISTRADAS POR INCÊNDIO

2.2.1 Principais patologias em concreto armado

O concreto armado, quando exposto às elevadas temperaturas de um incêndio, sofre diversas alterações em seu comportamento físico e mecânico, o que pode comprometer significativamente sua estabilidade estrutural. A intensidade e a duração da exposição térmica, associadas ao tipo de carregamento atuante no momento do sinistro, contribuem diretamente para o surgimento de manifestações patológicas que demandam avaliação criteriosa e, muitas vezes, intervenções emergenciais (Souza, 2009).

Dentre as manifestações supracitadas, destacam-se as fissuras generalizadas que se formam principalmente em razão da diferença entre os coeficientes de dilatação térmica do aço e do concreto, provocando tensões internas elevadas que comprometem a aderência entre os dois materiais (Souza, 2009). Outro dano recorrente é o spalling (ou deslocamento explosivo), caracterizado pela expulsão de camadas superficiais de concreto devido ao acúmulo de vapor nos poros e à alta taxa de aquecimento. Esse fenômeno, além de reduzir a seção resistente, expõe as armaduras à ação direta do calor e do ambiente, acelerando processos corrosivos, mesmo após o controle do incêndio. A ocorrência de spalling é particularmente crítica em elementos submetidos a altas taxas de aquecimento e com elevada umidade interna (Souza, 2009; Santana *et al.*, 2019). Esse tipo de manifestação foi identificado em casos reais analisados por Borba Júnior *et al.* (2019), em que vigas e lajes de concreto apresentaram perda significativa de cobrimento, com armaduras completamente visíveis e comprometidas.

Figura 2 e 3 - A ocorrência de spalling em incêndio em garagem subterrânea



Fonte: Kowalski *et al* (2025).

As alterações de coloração do concreto também representam uma importante manifestação após o incêndio. Embora não comprometam diretamente a resistência, essas alterações funcionam como um indicativo visual da faixa de temperatura a que o material foi submetido. De acordo com Souza (2009), concretos expostos a temperaturas entre 300 °C e 600 °C tendem a apresentar colorações que variam do rosa ao avermelhado, enquanto acima de 900 °C predominam tons amarelados, sinalizando degradação severa da matriz cimentícia. Tais variações são úteis para uma avaliação preliminar da profundidade de danos, sendo amplamente utilizadas por peritos e engenheiros na inspeção inicial da edificação sinistrada.

A perda de aderência entre o concreto e a armadura, especialmente em estruturas submetidas ao resfriamento brusco com jatos d'água, também se apresenta como uma patologia relevante. Segundo Santana *et al.* (2019), essa perda ocorre com maior intensidade quando a estrutura, após aquecida, sofre choques térmicos durante o combate ao incêndio, o que causa retração diferencial e formação de microfissuras na interface entre os materiais. Essa condição reduz a eficácia da ancoragem e prejudica o funcionamento conjunto da seção estrutural, afetando diretamente sua capacidade resistente.

Casos de ruptura de cabos de protensão também foram registrados em lajes e vigas, particularmente em estruturas de concreto protendido. Borba Júnior *et al.* (2019) destacam que, em um caso específico, esse tipo de falha foi

considerado de prioridade máxima para intervenção, uma vez que o colapso dos cabos compromete por completo a integridade da laje. A perda de tensão dos cabos decorre da elevação da temperatura, que altera as propriedades do aço e pode provocar a liberação repentina das forças de protensão, levando ao aparecimento de grandes flechas e fissuras longitudinais.

Figura 4 - Ruptura dos cabos de protensão da laje



Fonte: Adaptado de Borba Júnior *et al* (2019).

Por fim, em estruturas não diretamente afetadas pelas chamas, mas expostas ao calor e à umidade, podem surgir manifestações como a carbonatação do concreto, identificada através de ensaios com fenolftaleína. Essa patologia, embora não associada exclusivamente ao incêndio, pode ser acelerada por ele, especialmente se a estrutura permanecer com superfícies expostas e alta umidade após o resfriamento. Nos estudos analisados, pilares apresentaram sinais iniciais de carbonatação, com profundidade pequena, mas com potencial de evolução caso não fossem adotadas medidas corretivas (Borba Júnior *et al.*, 2019).

Figura 5 - Carbonatação de pilar de concreto armado em incêndio em garagem subterrânea



Fonte: Kowalski *et al* (2025).

2.2.2 Principais patologias em estruturas metálicas

As patologias em estruturas metálicas podem se manifestar por diversos fatores, e tornam-se especialmente críticas quando associadas à exposição ao fogo. De acordo com Pravia e Betinelli (2016), as manifestações mais comuns incluem corrosão localizada ou generalizada, deformações excessivas, flambagem local ou global, além de fraturas e propagação de trincas. Essas patologias muitas vezes têm origem em falhas de projeto, execução, ausência de proteção contra intempéries ou, ainda, pela falta de inspeções e manutenção. Em situações de incêndio, essas condições são agravadas pela perda de resistência do aço, o que acelera os danos estruturais. Lamont (2001) ressalta que o aumento da temperatura gera perda progressiva da rigidez e resistência dos elementos metálicos, favorecendo o aparecimento de deformações plásticas, flambagens e até colapsos locais.

Além das deformações, as ligações metálicas (soldadas ou parafusadas) são frequentemente pontos críticos de falha. Segundo Marinho Filho (2022), a corrosão é uma das patologias mais recorrentes em estruturas metálicas, podendo se intensificar no período pós-incêndio devido à umidade residual e à exposição contínua ao ar. Isso favorece o desprendimento de material e a

redução da seção resistente, comprometendo a continuidade estrutural. O mesmo autor destaca que a ausência de manutenção adequada é fator determinante para a evolução dessas falhas, sendo recomendada a adoção de revestimentos protetores, como a galvanização ou pinturas especiais, além de inspeções periódicas.

A degradação térmica também atua como agente desencadeador de patologias mesmo após o controle do incêndio. Conforme Lamont (2001), os elementos estruturais que sofrem flambagem térmica ou perda de alinhamento tendem a manter deformações permanentes, que não são visíveis a olho nu de forma imediata, mas comprometem significativamente a distribuição de esforços. Quando não substituídos, esses elementos tornam-se pontos frágeis para futuras solicitações. Portanto, é indispensável uma avaliação técnica criteriosa após qualquer evento térmico significativo, com foco não apenas no comportamento estrutural, mas nas manifestações patológicas que surgem como consequência direta da exposição ao calor.

Figura 6, 7 e 8 - Exemplos de patologias em estruturas metálicas causadas por incêndio



Fonte: Lamont (2001).

2.2.3 Principais patologias em estruturas de madeira

As patologias em estruturas de madeira estão associadas, majoritariamente, à ação de agentes bióticos e abióticos que degradam suas propriedades ao longo do tempo. Segundo Brito (2014), a deterioração da

madeira não ocorre devido ao envelhecimento natural do material, mas sim pela ação de fungos, bactérias, insetos e até mesmo agentes físicos e químicos. Fungos que apodrecem a madeira são apontados como os agentes patológicos mais comuns no Brasil, sendo responsáveis pela perda de resistência, densidade e pela desintegração progressiva da madeira. Já os insetos, como cupins e brocas, removem a microestrutura do material e, além dos danos diretos, facilitam a proliferação de fungos mais agressivos. Conforme destaca Parma *et al.* (2021), a ausência de tratamentos que preservem a estrutura e a falta de inspeções periódicas são fatores determinantes para o avanço dessas manifestações.

As ações abióticas também desempenham papel significativo nas patologias da madeira, especialmente em situações pós-incêndio. A exposição ao fogo provoca carbonização da camada superficial e perda das propriedades mecânicas da região afetada. Brito (2014) ressalta que, mesmo após o controle do incêndio, o calor residual pode manter a estrutura em processo de degradação, principalmente na presença de elementos metálicos que transmitem calor para o interior da peça. Além disso, falhas de projeto, ausência de contraventamentos e deformações por sobrecargas são exemplos de patologias de origem estrutural que, se negligenciadas, comprometem a integridade da estrutura como um todo. Para minimizar esses riscos, é imprescindível a adoção de métodos de inspeção e manutenção preventiva, especialmente em ambientes úmidos e propensos à proliferação biológica.

Figura 9: Estado de estruturas de madeira após um incêndio



Fonte: Portal Menina (2024).

2.3 COMO O INVESTIGADOR DEVE ATUAR EM UM CENÁRIO SINISTRADO PÓS-INCÊNDIO EM VIRTUDE DA ANÁLISE DE RISCOS ESTRUTURAIS

A atuação do perito em uma cena de incêndio deve ser precedida por uma análise criteriosa dos riscos estruturais envolvidos, mesmo antes do início formal da investigação. De acordo com Wisekal (2023), a primeira responsabilidade do investigador é garantir sua própria segurança, adotando uma postura cautelosa e observacional ao se aproximar da edificação afetada.

O autor destaca que a avaliação inicial não exige instrumentação avançada ou medições complexas, sendo baseada na experiência profissional e em critérios visuais objetivos, como colapsos parciais, paredes instáveis, vigas deformadas ou sinais evidentes de perda da integridade estrutural. Wisekal recomenda que o perito avalie não apenas os elementos estruturais principais, mas também riscos secundários, como quebra de conexões, acúmulo de entulho suspenso, queda de revestimentos e pisos comprometidos por sobrecarga de água.

A entrada na edificação deve ser precedida de uma estratégia clara, com planejamento das rotas de acesso e escape, e a decisão de seguir adiante deve ser sempre pautada pelo princípio da precaução. Como o autor afirma diretamente, *“when in doubt, don’t go in”* reforçando que, diante de incertezas quanto à estabilidade da estrutura, o mais prudente é não prosseguir e aguardar suporte técnico especializado (Wisekal, 2023).

Além disso, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Federal Emergency Management Agency – FEMA (2019), a avaliação preliminar de segurança estrutural é uma etapa essencial que deve anteceder qualquer ação investigativa em edificações atingidas por sinistros. O documento *“Post-disaster Building Safety Evaluation Guidance”* orienta que, antes de adentrar o local, o profissional deve realizar uma inspeção visual sistemática para identificar indícios claros de instabilidade, como colapsos parciais, deslocamentos estruturais, fissuras em elementos críticos, perda de verticalidade ou

componentes deformados. A FEMA enfatiza que “*assessments must be conducted from a safe distance before entry*”, ou seja, a aproximação deve ocorrer apenas se houver condições mínimas de segurança identificadas a partir da análise visual externa. A depender das condições observadas, o perito pode classificar a edificação como segura apenas para acesso restrito, insegura para ocupação ou totalmente inacessível até nova avaliação técnica.

O manual reforça que essas decisões, embora baseadas em observação prática, devem ser registradas com clareza e justificadas com base em critérios consistentes, sendo parte fundamental da resposta pós-desastre e da preservação da vida.

Entretanto, é conhecido que a análise de estruturas após um incêndio é, por natureza, uma tarefa complexa e desafiadora, que exige cautela, conhecimento técnico e responsabilidade. No entanto, não se trata necessariamente de um trabalho que dependa exclusivamente de engenheiros especialistas em patologias estruturais. Ademais, é desejável e oportuno que sejam oferecidos direcionamentos práticos e acessíveis, capazes de orientar a atuação de peritos e inspetores em cenários sinistrados, especialmente nos momentos iniciais da investigação, quando a prioridade é garantir a segurança pessoal e a integridade da cena. Para a realidade prática da investigação de incêndios, especialmente no contexto da atuação operacional, é mais viável adotar ferramentas simples e funcionais.

Nesse sentido, propõe-se a utilização de uma matriz de risco inspirada no modelo adotado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), já aplicada também em avaliações de sistemas de segurança contra incêndios. Trata-se de uma abordagem mais direta, baseada na identificação de cenários, avaliação da severidade e da probabilidade, que permite ao perito realizar uma tomada de decisão fundamentada, sem substituir a análise técnica aprofundada, mas fornecendo subsídios para determinar se é seguro

prosseguir com a investigação ou se deve-se aguardar avaliação especializada.

Outrossim, propõe-se que esta avaliação tenha como base a metodologia de gerenciamento de riscos adotada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no contexto do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO). O modelo é estruturado a partir de três etapas principais: identificação do perigo, avaliação da severidade e da probabilidade de ocorrência e, por fim, a determinação do nível de risco por meio de uma matriz. Essa matriz permite classificar o risco como aceitável, tolerável (sob condições) ou inaceitável, orientando assim a tomada de decisão do perito sobre seguir com a investigação, adotar medidas adicionais de mitigação ou aguardar avaliação técnica especializada.

Além de promover decisões mais seguras, a aplicação dessa ferramenta favorece o registro estruturado das condições encontradas no local e a padronização da conduta em campo, mesmo diante da ausência de normativas específicas para a área de atuação pericial pós-incêndio.

2.4 PROPOSTA DE ANÁLISE DE RISCOS ESTRUTURAIS PÓS-INCÊNDIO

Esta seção apresenta uma metodologia simplificada de análise de riscos estruturais em cenários pós-incêndio, voltada à atuação de investigadores. A proposta é dividida em duas etapas: anamnese e definição de ações de acordo com a matriz de riscos.

2.4.1 Anamnese

A anamnese em engenharia civil é a etapa inicial de uma inspeção predial que consiste em levantar informações sobre o histórico de uma edificação. É uma ferramenta fundamental para identificar patologias e anomalias construtivas (Ofitexto, 2019). Nesse contexto, a anamnese será adaptada ao contexto de um cenário pós-incêndio se relacionando à segurança

pessoal do investigador. Segundo Morales et al (2011), dentre as causas que podem levar uma estrutura sujeita a altas temperaturas ao colapso, estão a temperatura máxima atingida, o tempo de exposição, o traço de concreto, o tipo de estrutura, o elemento estrutural e a velocidade de resfriamento. Diante disso, para simplificar uma análise inicial, durante a “anamnese”, é desejável que o investigador tenha noção da intensidade e extensão dos danos a estrutura, conhecendo dois fatores principais:

Tempo de exposição da estrutura ao fogo e a Temperatura atingida durante o incêndio. Para isso, durante uma entrevista inicial, a qual pode ser realizada com testemunhas do local ou com a própria guarnição que atuou no combate às chamas, deve-se questionar o período do incidente, conhecendo assim o primeiro fator que deve auxiliar na tomada de decisão do perito ou inspetor neste momento inicial, visto que um maior período de chamas na edificação pode indicar maior deterioração das superestruturas.

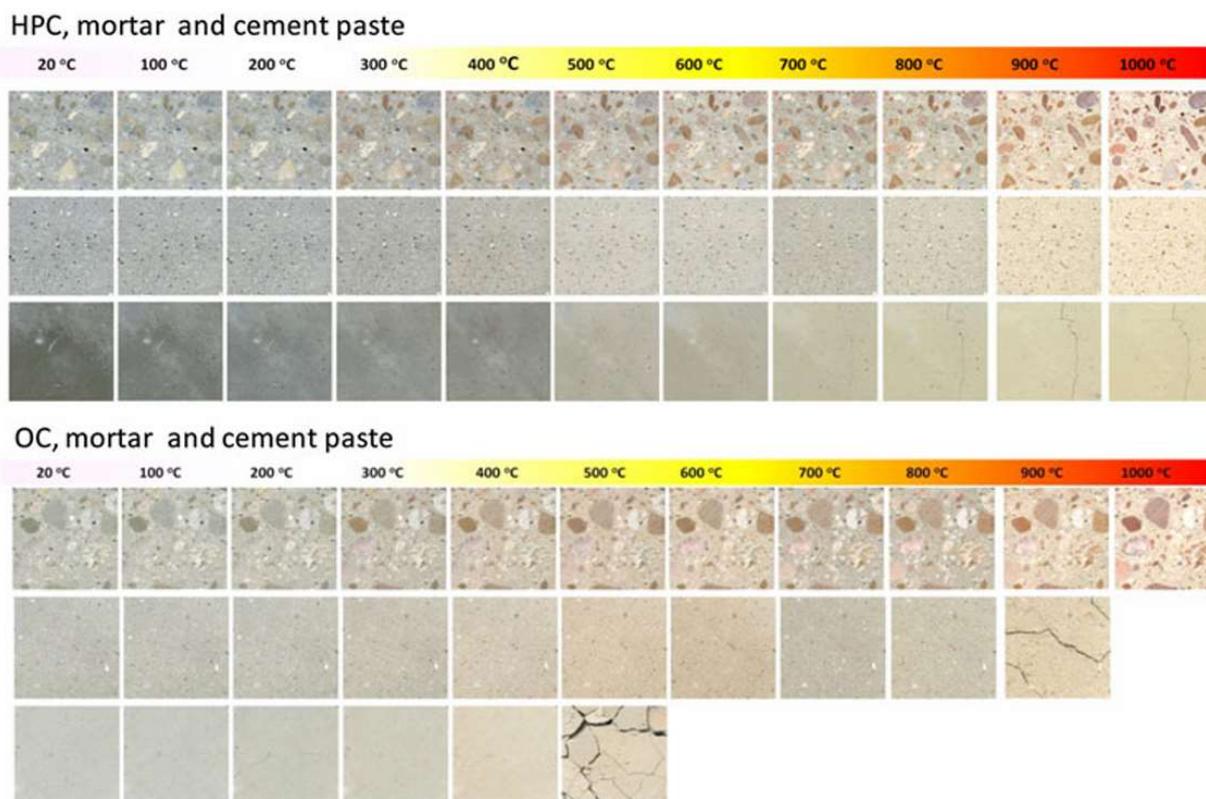
Além disso, para se ter uma melhor noção do segundo fator, temperatura atingida durante o incêndio, indica-se o uso da figura 20, a qual apresenta a “régua” de comparação da coloração do concreto em diferentes temperaturas. O uso dessa técnica simples e prática pode complementar a percepção do perito em campo, por meio da observação da coloração do concreto exposto ao fogo, a qual pode indicar, de forma indireta, a faixa de temperatura à qual o material foi submetido. Essa ferramenta auxilia na estimativa da severidade estrutural do dano térmico.

Essa abordagem foi detalhadamente estudada por Hager (2013), que avaliou as alterações de cor em concretos submetidos a temperaturas entre 100 °C e 1000 °C. Segundo a autora, as mudanças de coloração se devem a processos de desidratação da matriz cimentícia e transformações nos agregados minerais, especialmente os que contêm ferro. Em seus testes laboratoriais, o concreto passou de tons cinza para rosa ou avermelhado entre

300 °C e 600 °C, tornando-se esbranquiçado entre 600 °C e 900 °C e apresentando coloração amarelada acima de 900 °C.

A técnica proposta baseia-se na análise digital da cor por meio de imagens escaneadas e tratamento de histogramas RGB. Porém, de forma adaptada, pode ser utilizada de maneira simplificada pelo perito, por comparação visual direta com uma régua calibrada ou imagens de referência. Ainda que não substitua métodos laboratoriais, o uso dessa “régua” junto a observação visual pode fornecer a fator supracitado de forma rápida e acessível para a tomada de decisão inicial, podendo relacionar à segurança e à integridade do local sinistrado.

Figura 10 - Comparativo da coloração entre concreto de alta performance (HPC), concreto comum (OC), argamassas (mortar) e pastas de cimento (cement paste) expostos em várias temperaturas entre 20 °C à 1000 °C



Fonte: Hager (2013).

Nesse sentido, é possível ter uma ideia da influência da temperatura na resistência do concreto armado de acordo com a tabela 1:

Tabela 1 - Redução da resistência do concreto em função da temperatura

Alterações na Resistência do Concreto Devido à Elevação de Temperatura		
Temperatura (°C)	Tração (%)	Compressão (%)
100	100	100
200	70	85
300	40	75
400	20	50
800	5	50

Fonte: Marcelli (2007).

Em temperaturas acima de 300°C, percebe-se que a perda de resistência à tração do concreto é de 60%. Correlacionando essa informação com os esforços que os elementos estruturais estão sujeitos, ressalta-se que as lajes e vigas estão sujeitas ao momento fletor, tal esforço atua de forma um a tracionar a seção inferior desses elementos, sendo isto um ponto de atenção e de vigilância para o investigador nos cenários sinistrados.

Entretanto, é importante destacar que a análise supracitada nem sempre será possível, visto que Marcelli (2007) menciona a impossibilidade de usar este método ao indicar que o concreto normalmente está impregnado de fuligem, ficando na cor natural apenas nos casos em que ocorreu o desprendimento da argamassa, devido ao choque térmico provocado pela água do combate ao fogo.

2.4.2 Definição de ações de acordo com a matriz de riscos

Após finalizada a “anamnese”, o investigador deve prosseguir com a análise do cenário, através da proposta de avaliação estrutural simplificada para cenários pós-incêndio apresentada neste artigo, a qual baseia-se na adaptação de metodologias consolidadas de gerenciamento de riscos, já utilizadas em ambientes regulados e operacionais como a aviação civil e os

sistemas de segurança contra incêndio. Tal metodologia parte do conceito clássico de risco como a combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e o impacto que ele pode gerar, sendo esse risco classificado em níveis que determinam ações recomendadas. A estrutura proposta segue a mesma lógica, mas adaptada à realidade prática da atividade pericial em incêndios, permitindo que peritos e inspetores avaliem rapidamente se o local oferece condições mínimas de segurança para acesso. Com base na identificação visual de perigos, associada à severidade observada e à probabilidade de agravamento, o investigador classifica o cenário em uma matriz de risco, que por sua vez o direciona na tomada de decisão, como seguir com a investigação, acessar com limitações, propor escoramento de algumas áreas ou recomendar interdição a fim de aguardar uma avaliação técnica especializada. Assim como nos sistemas da ANAC, adota-se o princípio ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), priorizando ações simples, proporcionais e eficazes, que permitam ao perito atuar com mais embasamento técnico e segurança, mesmo sem ser especialista em patologia estrutural. A seguir será apresentado o passo a passo para utilização deste método:

1º passo: Identificação visual de danos

O perito ou inspetor deve realizar inspeção visual detalhada com apoio da Tabela 2, verificando quais patologias são encontradas se atentando ou anotando a intensidade de cada dano. Nessa etapa, é importante avaliar a severidade, estimando os impactos e as consequências desses danos à estrutura, tomando como referência a pior situação possível. Ressalta-se que incidindo em apenas um dos itens descritos por nível, já cabe o enquadramento na respectiva categoria.

Tabela 2 - Tabela de impactos patológicos à edificação (Severidade)

Categoria	Patologias	Nível
Leve	<ul style="list-style-type: none">• Fissuras menores que 2 mm em pilares, vigas ou lajes;• Danos superficiais, sem comprometer a estrutura;• Danos moderados em elementos não-estruturais;• Madeira com escurecimento superficial, trincas longitudinais leves;• Aço sem alteração de cor e sem deformações.	1
Moderado	<ul style="list-style-type: none">• Mudança na coloração do concreto (levemente rosa a rosa) - Use a régua de comparação da coloração (fonte: Hager, 2013);• Umidade excessiva / perda de densidade superficial da alvenaria ou concreto;• Danos superficiais localizados no encontro de elementos estruturais pilar e viga (fissuras de 2 a 4 mm);• Madeira com carbonização superficial, sem perda de seção;• Aço sem deformações e com leves sinais de afrouxamento em conexões parafusadas.	2
Relevante	<ul style="list-style-type: none">• Deformações leves, porém visíveis em elementos estruturais;• Mudança na coloração do concreto (avermelhado para levemente acinzentado) - Use a régua de comparação da coloração (fonte: Hager, 2013);• Exposição parcial das armaduras;• Rachaduras > 4 mm;• Paredes de alvenaria instáveis ou desagregadas.• Madeira com carbonização moderada (5 a 20% da seção) e fissuras longitudinais profundas;• Aço com coloração entre azul claro e roxo e leves deformações visíveis.	3
Muito Significativo	<ul style="list-style-type: none">• Deformações acentuadas em elementos estruturais;• Exposição agressiva das armaduras com corrosão aparente no concreto armado;• Mudança na coloração do concreto para acinzentado ou branco-acinzentado - Use a régua de comparação da coloração (fonte: Hager, 2013).• Madeira com carbonização profunda (> 20% da seção) e fragilidade ao toque;• Aço com empenamento e/ou torções expressivas, coloração azulada ou acinzentada e falhas na ligação de elementos estruturais metálicos: solda ou parafusos.	4
Grave	<ul style="list-style-type: none">• Colapso parcial ou iminente colapso total observado;• Mudança na coloração do concreto para esbranquiçado - Use a régua de comparação da coloração (fonte:Hager, 2013);• Madeira com carbonização severa ou perda total da seção;• Flambagem de pilares esbeltos, torção lateral em vigas metálicas e colapso das ligações.	5

Fonte: Autores (2025).

2º passo: Probabilidade de agravamento dos danos

O perito ou inspetor deve estimar de forma empírica através de uma inspeção visual e com apoio da Tabela 3 a probabilidade de evolução dos danos encontrados. Nessa etapa, é importante observar a estabilidade do cenário, verificando se há alguma intensificação dos danos na superestrutura ou se há objetos que ofereçam perigo de queda como uma parede de alvenaria instável ou objetos acima do nível da cabeça do investigador se desprendendo.

Tabela 3 - Tabela de probabilidade de agravamento dos impactos patológicos à edificação

Probabilidade de agravamento	Possíveis fenômenos observados	Nível
Improvável	Estrutura fria, sem deformações novas após resfriamento ou acometimento estrutural total	1
Possível	Deformações leves e aparentemente estáveis	2
Provável	Trincas se ampliando, presença de calor residual	3
Frequente	Estalos audíveis, elementos cedendo	4
Altamente provável	Colapsos parciais, elementos estruturais visivelmente abaulados	5

Fonte: Autores (2025).

3º passo: Análise de riscos através do uso da matriz de riscos

O perito ou inspetor deve estimar o risco com o apoio da figura 21. Nessa etapa, o investigador determinará o risco através do produto da severidade e da probabilidade (Risco = Severidade x Probabilidade). Se houver a impossibilidade da análise de cada dano, recomenda-se a verificação do pior caso, a fim de trabalhar sempre com o pior panorama possível.

Figura 11 - Tabela de matriz de riscos (Severidade x Probabilidade)

Probabilidade	P1	Baixo (1)	Baixo (2)	Baixo (3)	Baixo (4)	Baixo (5)
	P2	Baixo (2)	Baixo (4)	Moderado (6)	Moderado (8)	Moderado (10)
	P3	Baixo (3)	Moderado (6)	Moderado (9)	Moderado (12)	Alto (15)
	P4	Baixo (4)	Moderado (8)	Moderado (12)	Alto (16)	Alto (20)
	P5	Baixo (5)	Moderado (10)	Alto (15)	Alto (20)	Alto (25)
		S1	S2	S3	S4	S5
		Severidade				

Fonte: Adaptado de ANAC (2018).

4º passo: Definição das ações de acordo com nível de risco estipulado

O perito ou inspetor deve realizar a sua tomada de decisão com o apoio da Tabela 4. Nessa etapa, o investigador determinará se prosseguirá com a investigação ou se realizará ações mitigadoras para seguir com a investigação ou se decidirá por suspender a investigação até a chegada de apoio especializado. Nesta última ação possível, normalmente opta-se por acionar o corpo técnico da Defesa Civil local para auxiliar o militar com avaliações mais avançadas ou para realizar a interdição do cenário sinistrado.

Tabela 4 - Definição de ações de acordo com a análise da matriz de riscos

Nível de Risco	Resposta	Ação
Baixo (1 até 5)	Aceitar riscos	Iniciar investigação, mantendo a observação do cenário
Moderado (6 até 14)	Reduzir ou tolerar riscos	Acesso controlado com medidas de segurança (ex: rota de fuga definida, observador externo com apito, evitar locais mais avariados, considerar a possibilidade de escoramentos)
Alto (15 até 25)	Não aceitar riscos	Acesso suspenso, aguardar avaliação técnica especializada

Fonte: Autores (2025).

Outrossim, de acordo com a ANAC (2018), a gestão de riscos baseia-se frequentemente no conceito de ALARP, do inglês “*As Low As Reasonably Practicable*”, e traduzido como “tão baixo quanto razoavelmente praticável”. Ou seja, todos os esforços devem ser envidados para reduzir os riscos ao menor nível possível, desde que as medidas adotadas sejam compatíveis com os recursos disponíveis e com os princípios de razoabilidade. Ainda que a vida humana seja inestimável e a segurança do investigador deva ser sempre a prioridade, existem situações em que as ações mitigadoras necessárias para garantir essa segurança exigiriam esforços operacionais ou estruturais tão elevados que inviabilizaria o prosseguimento da investigação. Nesses casos, conforme previsto em boas práticas de gerenciamento de risco, deve-se considerar a interrupção da atividade pericial, priorizando a integridade física dos envolvidos em detrimento da continuidade da investigação.

Por fim, ressalta-se que não há segurança absoluta, não sendo possível de garantir a inexistência total de riscos, os quais são inerentes à atividade pericial. Ainda assim, é essencial promover uma cultura voltada à prevenção e ao registro de processos adotados, assim desenvolvendo práticas sistemáticas

de gerenciamento de riscos que priorizem a integridade física e a preservação da vida dos envolvidos nas perícias.

3 CONCLUSÃO

A atuação em cenários de incêndio exige dos peritos e inspetores não apenas conhecimento investigativo, mas também atenção aos riscos estruturais que podem comprometer a segurança durante a análise da cena. Ao longo deste artigo, buscou-se reunir informações técnicas sobre estruturas, comportamento dos materiais diante do fogo e manifestações patológicas comuns, com o objetivo de oferecer uma base para que esses profissionais possam atuar com maior cautela e embasamento.

Foi possível observar que, embora existam diretrizes operacionais e normativas que apontem a importância da segurança do perito, ainda há pouca orientação prática sobre como identificar riscos estruturais em campo. A proposta de um método simplificado de avaliação de riscos, inspirado em modelos já consolidados em outras áreas, surge como uma sugestão inicial que pode auxiliar na tomada de decisões mais seguras no contexto das investigações pós-incêndio.

É importante destacar que essa proposta não pretende substituir avaliações técnicas especializadas, tampouco se apresenta como uma solução definitiva. Trata-se de uma contribuição para o incentivo da segurança, pensada a partir da realidade operacional do CBMSC, que pode ser aprimorada com o tempo, com o apoio de outros profissionais e da própria corporação. Espera-se, com isso, fomentar o debate e o desenvolvimento de protocolos mais claros, reforçando uma cultura institucional que valorize tanto a técnica quanto a segurança pessoal dos envolvidos na atividade pericial.

REFERÊNCIAS

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 921 – Guide for Fire and Explosion Investigations**. Quincy: NFPA, 2021. Disponível em: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=921>. Acesso em: 18 abr. 2025.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 1033 – Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator**. Quincy: NFPA, 2022. Disponível em: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1033>. Acesso em: 18 abr. 2025.

ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Gerenciamento de riscos da aviação: SGSO na prática**. Brasília: ANAC, 2018. Disponível em: <https://www.anac.gov.br>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BORBA JÚNIOR, L. P. et al. **Avaliação pós-incêndio em estruturas de concreto armado: estudo de caso**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 12, n. 6, p. 1382–1401, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1983-41952019000600005>. Acesso em: 18 abr. 2025.

BRITZ, R. M. et al. **Comportamento do concreto exposto ao fogo: revisão de literatura**. Revista ALCANCE, Itajaí, v. 26, n. 3, p. 436–450, 2019. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/ra/article/view/14353>. Acesso em: 18 abr. 2025.

CBMSC – CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **Diretriz Operacional nº 24/2023 - Investigação de incêndio e explosão**. Florianópolis: CBMSC, 2023. Disponível em: <https://www.cbm.sc.gov.br>. Acesso em: 18 abr. 2025.

JACOBS, J. M. **The effects of fire on concrete and concrete structures**. In: MALHOTRA, V. M. (Ed.). SP-92: Symposium on Effects of Fire on Concrete. Detroit: American Concrete Institute, 2007. Disponível em: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&i=51608614>. Acesso em: 05 abr. 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **POP nº 01 - Coleta de amostras para ensaios laboratoriais**. Florianópolis: CBMSC, 2023. Disponível em: https://cbm.sc.gov.br/operacoes/pop01_amostras_laboratoriais.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

FIGUEROA, J. A.; MORAES, R. F. **Resistência ao fogo de estruturas de madeira**. Revista da Madeira – REMAD, v. 10, n. 2, p. 12–19, 2009. Disponível em: <https://exemplo.com/remad2009>. Acesso em: 18 abr. 2025.

HAGER, Izabela. **Colour change in heated concrete**. Fire Technology, v. 49, p. 939–954, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10694-012-0320-7>. Acesso em: 18 abr. 2025.

FEMA – FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Post-disaster Building Safety Evaluation Guidance**. FEMA P-2055. Washington, DC: FEMA, 2019. Disponível em: <https://www.fema.gov>. Acesso em: 18 abr. 2025.

IBAPE/SP – INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Diretrizes para avaliação estrutural pós-incêndio**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://ibape-nacional.com.br>. Acesso em: 18 abr. 2025.

OFITEXTO. **Definições e nomenclaturas no estudo da patologia das construções**. Blog Ofitexto, 21 set. 2021. Disponível em: <https://blog.ofitexto.com.br/engenharia-civil/definicoes-e-nomenclaturas-estudo-patologia-construcoes/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MARCELLI, Maurício. **Sinistros na Construção Civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: PINI, 2007. Disponível em: <https://www.piniweb.com.br/livros/sinistros-construcao-civil>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MORALES, Gilson; CAMPOS, Alessandro; FAGANELLO, Adriana M. Patriota. **A ação do fogo sobre os componentes do concreto**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47-55, jan./mar. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2011v32n1p47>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2009. Disponível em: <https://www.piniweb.com.br/livros/patologia-reforco-concreto>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SANTANA, Roberto Rosa de; SANTANA, Matheus Daniel Santos de; DAYAN, Peterson. **Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado submetidas à ação de incêndio: uma classificação prioritária para sua recuperação**. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2019, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335210090> Acesso em: 18 abr. 2025.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito; KIMURA, Érica Fernanda Aiko; PINTO, Edna Moura; REGOBELLO, Ronaldo. **Análise numérica do comportamento de elementos de madeira em situação de incêndio.** Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 162-170, abr./jun. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.019>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SILVA, V. P.; VARGAS, M. R.; ONO, R. **Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura.** Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267331401>. Acesso em: 18 abr. 2025.

VENKATACHARI, S.; KODUR, V. K. R. **Modeling parameters for predicting the fire-induced progressive collapse in steel framed buildings.** Cidades e Estruturas Resilientes, v. 2, p. 129-144, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcns.2023.10.003>. Acesso em: 18 abr. 2025.

MARTINS, M. E. **A madeira e o seu comportamento estrutural após submetida à elevadas temperaturas.** Avaré: Centro Universitário FSP – UniFSP, 2019. Disponível em: <https://www.acervodigital.unifsp.edu.br/documentos/madeira-temperatura-martins.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

LIMA, R. C. A. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas.** 2005. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/157189>. Acesso em: 18 abr. 2025.

JIN, Y.; JANG, B.-S. **Probabilistic fire risk analysis and structural safety assessment of FPSO topside module.** Ocean Engineering, v. 104, p. 725–737, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.04.019>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SKY CIV. **Steel vs Timber vs Concrete: Building Materials Compared.** Sydney: SkyCiv Engineering, 2019. Disponível em: <https://skyciv.com/pt/technical/steel-vs-timber-vs-concrete/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SAGA CONSTRUÇÃO. **Conheça os 3 tipos de estruturas da construção civil.** 12 jul. 2021. Disponível em: <https://www.sagaconstrucao.com.br/blog/conheca-os-3-tipos-de-estruturas-da-construcao-civil/>. Acesso em: 18 abr. 2025.

WISEKAL, Mike. **Conducting scene risk assessments for structural fires investigations**. 14 dez. 2021. JENSEN HUGHES Disponível em: <https://www.jensenhughes.com/insights/conducting-scene-risk-assessments-for-structural-fires-investigations>. Acesso em: 18 abr. 2025.

KOWALSKI, R.; GŁOWACKI, M.; WRÓBLEWSKA, J.; SENATORSKA-DOBROWOLSKA, M.; SMARDZ, P. **Dangerous damage of RC structural members caused by thermal spalling of concrete during fire in an enclosed car park of residential building**. Fire Safety Journal, v. 152, p. 104352, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2025.104352>. Acesso em: 19 abr. 2025.

MARINHO FILHO, G. F. **Manifestações patológicas em estruturas metálicas: Principais medidas preventivas**. Revista Técnico-Científica da Engenharia Civil, v. 12, n. 2, p. 45–57, 2022. Disponível em: https://facerescientia.com.br/wp-content/uploads/2023/01/MANIFESTACOES-PATOLOGICAS-NAS-ESTRUTURAS-METALICAS_-PRINCIPAIS-MEDIDAS-PREVENTIVAS.docx.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

LAMONT, S. **Behaviour of steel structures in fire**. Fire Engineers Journal, v. 61, n. 207, p. 24–28, 2001. Disponível em: <https://www.fire-magazine.com/behaviour-of-steel-structures-in-fire>. Acesso em: 21 abr. 2025.

PRAVIA, C. G.; BETINELLI, R. **Patologias em estruturas de aço: estudo de manifestações e boas práticas**. Revista de Engenharia Estrutural, v. 9, n. 1, p. 59–68, 2016. Disponível em: <https://www.revistaengenhariaestrutural.com.br/pravia2016>. Acesso em: 21 abr. 2025.

PORTAL MENINA. **Casa de madeira pega fogo em Porto Belo**. Porto Belo, 19 mar. 2024. Disponível em: <https://portalmenina.com.br/casa-de-madeira-pega-fogo-em-porto-belo/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRITO, H. F. **Patologia das estruturas de madeira**. Revista Madeira e Construção, v. 3, n. 2, p. 58–67, 2014. Disponível em: <https://revistamadeira.ufv.br/artigo-patologia-estruturas-2014>. Acesso em: 21 abr. 2025.

PARMA, G. G.; ICIMOTO, F. C. **Inspeção, avaliação e reforço de estruturas de madeira**. Anais do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Estruturas de Madeira – SIMPEEM, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://www.simpeem2021.com.br/artigos/inspecao-estruturas-parma>. Acesso em: 21 abr. 2025.