

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CAMPUS BACABAL
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

ANDRÉ ITALO RODRIGUES MELO CARDOSO

**COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÕES DE
INCÊNDIO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

BACABAL – MA

2025

ANDRÉ ITALO RODRIGUES MELO CARDOSO

**COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÕES DE
INCÊNDIO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, *Campus* Bacabal, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Esp. André Lucas Magalhães do Nascimento

BACABAL – MA

2025

Cardoso, André Italo Rodrigues Melo.

Comportamento da alvenaria estrutural em situações de incêndio: revisão bibliográfica / André Italo Rodrigues Melo Cardoso. - Bacabal - MA, 2025.

45 f.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil Bacharelado) - Universidade Estadual do Maranhão, Campus Bacabal, 2025.

Orientador: Prof. Esp. André Lucas Magalhães do Nascimento.

1. Alvenaria estrutural. 2. Incêndio. 3. Avaliação pós-incêndio. 4. Desempenho térmico. 5. Patologias. I. Título.

CDU: 624.012:614.8


ANDRÉ ITALO RODRIGUES MELO CARDOSO

**COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÕES DE
INCÊNDIO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Estadual do Maranhão para o
grau de bacharelado em Engenharia Civil.


Aprovado em: 19 / 12 / 2025

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUCAS MAGALHAES DO NASCIMENTO**
Data: 16/02/2026 15:10:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Esp. André Lucas Magalhães Do Nascimento (Orientador)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Documento assinado digitalmente
 **GILCYVANIA CASTRO CORVELO COSTA**
Data: 16/02/2026 12:50:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Gilcyvania Castro Corvelo Costa

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS EDUARDO MACHADO DE OLIVEIRA**
Data: 16/02/2026 13:20:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Carlos Eduardo Machado De Oliveira

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente à Deus, por sustentar a minha fé e iluminar cada passo dessa caminhada. Nos momentos de incerteza, foi Sua presença que me guiou e me deu coragem para continuar.

Aos meus pais, Gilberto e Concita, expresso minha profunda gratidão pelo amor, carinho e suporte incondicionais, pelos ensinamentos que moldaram meu caráter, por serem a base que me sustenta e o porto seguro que sempre pude contar, por sempre acreditarem em mim, mesmo quando eu duvidei das minhas próprias capacidades. Vocês são o motivo pelo qual nunca desisti dos meus sonhos.

Ao meu irmão, Arthur, agradeço pela parceria e incentivo, que tantas vezes me motivaram a seguir.

À minha amada, Ana, agradeço pelo carinho, pelo apoio constante e pela paciência nos dias de estresse. Sua companhia tornou essa caminhada mais leve.

Estendo meus agradecimentos a toda a minha família e amigos que torceram por mim, oferecendo palavras de incentivo e companhia nos momentos difíceis. Cada gesto de apoio contribuiu para que este trabalho se tornasse possível.

Por fim, agradeço a aqueles que infelizmente se foram durante essa jornada, mas que continuam vivos em minha memória e no meu coração, minhas avós Raimunda e Josefa, meu avô Cicero e meu tio Expedito. Seus ensinamentos e exemplos me estimularam a ser uma pessoa melhor, mesmo nos momentos mais difíceis. Que esse trabalho seja, de alguma forma, uma homenagem ao amor e aos ensinamentos que permaneceram.

RESUMO

O presente trabalho analisa o comportamento da alvenaria estrutural em situações de incêndio e destaca a relevância desse sistema construtivo para a segurança das edificações, considerando a ausência de normas brasileiras específicas sobre seu desempenho térmico. O estudo tem como objetivo investigar os danos estruturais provocados pelo fogo e, de modo complementar, elaborar uma revisão bibliográfica sistemática, classificando os mecanismos de degradação, identificando as manifestações patológicas pós-incêndio e analisando normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis. A pesquisa utiliza metodologia de revisão bibliográfica sistemática com abordagem qualitativa, baseada em artigos, teses, dissertações, normas técnicas e estudos experimentais publicados nas últimas décadas. Os resultados mostram que os blocos e argamassas perdem resistência e rigidez progressivamente conforme a temperatura aumenta, sendo recorrentes a fissuração vertical, o destacamento de revestimentos, o lascamento e a perda de seção resistente, além de instabilidade estrutural associada a diferenças térmicas e excentricidades de carregamento. As conclusões confirmam que o desempenho da alvenaria estrutural depende da interação entre seus componentes e das condições de exposição ao fogo, que a degradação térmica compromete a estabilidade global das edificações e que o país necessita de uma norma específica para tratar da alvenaria estrutural em situação de incêndio, bem como de protocolos técnicos padronizados para avaliação pós-incêndio e para orientar intervenções de reforço, reparo ou demolição.

Palavras-chaves: alvenaria estrutural. incêndio. patologias. avaliação pós-incêndio. desempenho térmico.

ABSTRACT

This study analyzes the behavior of structural masonry in fire situations and highlights the relevance of this construction system for building safety, considering the absence of specific Brazilian standards on its thermal performance. The study aims to investigate the structural damage caused by fire and, in addition, to prepare a systematic literature review, classifying the mechanisms of degradation, identifying post-fire pathological manifestations, and analyzing applicable national and international technical standards. The research uses a systematic literature review methodology with a qualitative approach, based on articles, theses, dissertations, technical standards, and experimental studies published in recent decades. The results show that blocks and mortars progressively lose strength and stiffness as the temperature increases, with recurrent vertical cracking, detachment of coatings, chipping, and loss of resistant section, in addition to structural instability associated with thermal differences and loading eccentricities. The conclusions confirm that the performance of structural masonry depends on the interaction between its components and the conditions of exposure to fire, that thermal degradation compromises the overall stability of buildings, and that the country needs a specific standard to address structural masonry in fire situations, as well as standardized technical protocols for post-fire assessment and to guide reinforcement, repair, or demolition interventions.

Keywords: structural masonry. fire. pathologies. post-fire assessment. thermal performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disposição dos elementos de uma edificação em alvenaria estrutural. ...	17
Figura 2 - Vantagens e desvantagens do sistema construtivo feito em alvenaria estrutural.	18
Figura 3 - Edifícios Andraus e Joelma durante seus incêndios.	19
Figura 4 - Tetraedro do Fogo.....	20
Figura 5 - Curva de incêndio-padrão da ISO 834.....	21
Figura 6 - Ruptura das pequenas paredes após a ação do fogo.....	24
Figura 7 - Detalhe da fissuração do bloco vazado (a) e maciço (b) submetidos a ensaio de incêndio.	25
Figura 8 - Fissuras formadas pelo aquecimento das paredes durante o ensaio.	26
Figura 9 - Ruptura da primeira parede (a) e da segunda parede (b) ao final do ensaio	27
Figura 10 - Parede externa com os danos em sua superfície	28
Figura 11 - Gráfico que mostra a resistência à compressão dos prismas expostos a altas temperaturas.....	31
Figura 12 - Argamassas estruturais dois dias após o ensaio.	31
Figura 13 - Mecanismo de colapso provocado pela instabilidade gerada por fissuração.....	32
Figura 14 - Fluxograma de avaliação pós-incêndio para estruturas de alvenaria estrutural	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais funções e características dos componentes da alvenaria estrutural	17
Tabela 2 - Critérios de Desempenho para Avaliação da Resistência ao Fogo de Elementos de Alvenaria.....	23
Tabela 3 - Comportamento de blocos e argamassas sob diferentes temperaturas de exposição ao fogo	33
Tabela 4 - Instruções técnicas estaduais relacionadas ao dimensionamento da resistência ao fogo.	36
Tabela 5 - Análise comparativa das normativas internacionais para alvenaria em situação de incêndio.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação da resistência residual de componentes da alvenaria em função da temperatura.	34
---	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AS - Australian Standard

BNH - Banco Nacional De Habitação

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

NBR - Norma Brasileira Regulamentada

REI - Resistência, Estanqueidade e Isolamento

LISTA DE ABREVIATURAS

min. - Minutos

LISTA DE SÍMBOLOS

°C - Graus Celsius

kN/m - Quilonewton por metro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Justificativa	14
2	METODOLOGIA	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Fundamentos da Alvenaria Estrutural	16
3.1.1	Definição e Histórico.....	16
3.1.2	Componentes do Sistema	16
3.1.3	Vantagens e Desvantagens do Sistema Construtivo.....	17
3.2	O Incêndio em Edificações	18
3.2.1	A física do Fogo.....	18
3.2.2	A curva de Incêndio-Padrão	21
3.2.3	Mecanismos de Transferência de Calor	22
3.3	Comportamento da Alvenaria Estrutural sob Altas Temperaturas	22
3.4	Efeitos das Altas Temperaturas nos Materiais Constituintes	23
3.5	Manifestações Patológicas e Diagnóstico Pós-Incêndio	24
3.5.1	Catálogo dos danos visíveis	24
3.5.2	Métodos de avaliação da estrutura remanescente	28
3.5.3	Critérios para tomada de decisão.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	Síntese dos principais danos e comportamentos	33
4.2	Análise crítica das normas	35
4.3	Conexão teoria-prática e proposta de diretrizes	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a alvenaria estrutural tornou-se um sistema construtivo de comprovada eficácia e, no Brasil, consolida-se como uma alternativa segura e economicamente viável no setor da construção civil. Essa crescente popularização reflete a sua capacidade de otimização de recursos, redução de prazos e diminuição de desperdícios. Por ser um sistema onde as paredes têm função dupla (vedação e estrutural) torna-se ainda mais importante o estudo e análise desse tipo de estrutura em situações de sinistros (Mohamad, 2020).

Apesar da robustez, as edificações em alvenaria estrutural estão sujeitas à ação do fogo, onde as altas temperaturas serão responsáveis por degradar as propriedades mecânicas dos materiais (blocos e argamassas). Segundo Capuzzo Neto (2000), as pesquisas relacionadas a esse método construtivo tiveram início no final da década de 70, apesar disso, estudos que relacionam esses elementos submetidos à situação de incêndio são escassos, visto que, ainda não existe um código normativo que trate sobre esse assunto.

Discutir sobre o comportamento de edificações em alvenaria estrutural em situação de incêndio justifica-se pela importância de novos estudos que abordem esse tema, buscando diminuir a carência de pesquisas relacionadas a campo. Sendo assim, o presente trabalho estabeleceu como objetivo da pesquisa, identificar os principais danos e mudanças provocadas nesse método construtivo, por incêndio. A metodologia adotada neste estudo é baseada na revisão bibliográfica acerca do tema, identificando e catalogando as principais manifestações patológicas das paredes desse tipo de alvenaria, além da análise de normas técnicas relacionadas a essa área.

O estudo possui caráter exploratório-descritivo, buscando identificar e analisar os principais comportamentos de imóveis feitos em alvenaria estrutural em situação de incêndio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento estrutural e as principais manifestações patológicas de edificações construídas com esse sistema construtivo em situação de incêndio, a fim de sistematizar os danos e discutir implicações para a avaliação da segurança.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar uma revisão bibliográfica sistemática sobre o comportamento da alvenaria estrutural quando submetida a altas temperaturas.
- Classificar os mecanismos de degradação e os principais danos identificados em paredes de alvenaria estrutural no pós-incêndio.
- Relacionar os danos observados nas paredes de alvenaria estrutural pós-incêndio com os requisitos normativos de segurança contra incêndio.

1.3 Justificativa

O presente estudo realiza uma análise, síntese e comparação das principais contribuições científicas referentes ao comportamento da alvenaria estrutural quando submetida a condições de incêndio. Assim é possível notar que essa pesquisa pode impactar direta ou indiretamente na segurança dos ocupantes desse tipo de edificação e também das equipes de resgates, visto que, a compreensão dos danos ajudará na avaliação dos riscos durante e pós-incêndio.

Portanto, o presente trabalho busca identificar e catalogar os principais comportamentos de edificações em alvenaria estrutural em situação de incêndio, além das manifestações patológicas decorrentes desse sinistro, para que seja possível um diagnóstico mais preciso dos danos, ajudando na orientação sobre quais decisões tomar em relação a estrutura do imóvel, entre reforço, reparo ou demolição, evitando gastos desnecessários.

2 METODOLOGIA

O presente estudo adotou a revisão bibliográfica sistemática como método principal. Esta escolha se justifica pela natureza exploratória-descritiva da pesquisa e pela escassez de dados experimentais e de normatização específica no Brasil sobre o tema. A metodologia foi a mais adequada para mapear, sintetizar e analisar sobre o comportamento da alvenaria estrutural em incêndios.

A execução da pesquisa se deu por meio de consulta a fontes secundárias em portais de credibilidade acadêmica, como Google Acadêmico, SciELO e o Portal de Periódicos CAPES. As palavras-chave utilizadas incluíram termos como 'alvenaria estrutural', 'avaliação pós incêndio', 'comportamento térmico da alvenaria'. No processo de levantamento bibliográfico, foram inicialmente identificados 60 estudos. Após a leitura dos títulos, resumos e, posteriormente, do texto completo, 42 artigos, teses, dissertações, livros e documentos técnicos foram selecionados para compor a análise final do trabalho.

Como critérios de inclusão, foram considerados estudos que abordassem diretamente o comportamento térmico, estrutural ou mecânico da alvenaria estrutural submetida a incêndios, bem como pesquisas relacionadas à avaliação pós-incêndio, desempenho de materiais e segurança estrutural.

Já como critério de exclusão foram adotados estudos que tratassem exclusivamente de outros sistemas estruturais (como concreto armado ou estruturas metálicas), trabalhos duplicados, publicações sem acesso ao texto completo, artigos de caráter opinativo ou sem rigor metodológico, além de estudos que não apresentassem relação direta com o tema da alvenaria estrutural em situação de incêndio.

Quanto ao recorte temporal, foram priorizados estudos publicados entre 1986 e 2025, período que contempla desde os primeiros trabalhos relevantes sobre o comportamento da alvenaria estrutural e dos materiais de construção submetidos a altas temperaturas até as pesquisas mais recentes sobre desempenho estrutural em situação de incêndio. A adoção desse intervalo permitiu reunir tanto estudos clássicos e fundamentais para a compreensão dos mecanismos envolvidos quanto pesquisas atuais, assegurando uma análise abrangente, atualizada e tecnicamente consistente do tema.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Fundamentos da Alvenaria Estrutural

3.1.1 Definição e Histórico

A alvenaria, uma das técnicas mais antigas da humanidade, evoluiu significativamente ao longo dos séculos, transformando-se de um método rudimentar de vedação e abrigo, em um sistema estrutural racionalizado e eficiente, conhecido como alvenaria estrutural. Essa solução reflete a busca contínua por soluções construtivas que aliem resistência, economia e funcionalidade, culminando em sua ampla adoção na construção civil contemporânea (Mohamad; Machado; Jansch, 2021).

Segundo Tauil e Nese (2010, p.20) “em Alvenaria estrutural não se utilizam pilares e vigas, pois as paredes chamadas de portantes compõem a estrutura da edificação e distribuem as cargas uniformemente ao longo das fundações.”, essa capacidade de suportar e distribuir cargas faz com que esse método construtivo ofereça vantagens significativas no processo de racionalização de uma edificação.

No Brasil, após a década de 1970, surgiram as primeiras discussões sobre esse sistema, impulsionadas pelos investimentos do Banco Nacional de Habitação (BNH) em programas de moradia popular, além da criação de normas técnicas específicas para esse sistema. Desde então, a busca por atender demandas da construção civil, como economia, durabilidade e sustentabilidade, levou ao desenvolvimento e à consolidação da alvenaria estrutural no país, transformando uma técnica secular em um sistema moderno e eficiente (ABCI, 1990).

3.1.2 Componentes do Sistema

O sistema construtivo alvenaria estrutural emprega um conjunto definido de materiais, sendo seus componentes primários as unidades (blocos ou tijolos), a argamassa, o graute e as armaduras, estas últimas podendo ser classificadas como construtivas ou destinadas a resistir esforços de cálculo. Paralelamente, temos o grupo secundário, que é formado por elementos pré-fabricados, como vergas e contravergas, que são comumente utilizados para complementar e otimizar o sistema

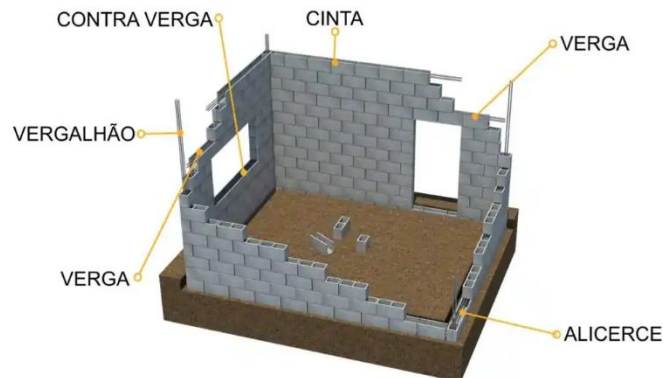
(Camacho, 2006). A Tabela 1 a seguir sintetiza as funções e características desses materiais, enquanto a Figura 1 ilustra a disposição e interação desses elementos em uma parede estrutural.

Tabela 1 - Principais funções e características dos componentes da alvenaria estrutural

Componente	Função Principal	Característica Chave	Aspecto Crítico
Unidades	Resistência estrutural	Resistência à compressão	Determina procedimentos de coordenação modular
Argamassa	Ligação entre blocos e vedação das juntas	Composição cimentícia com trabalhabilidade	Evita pontos de concentração de tensões
Graute	Reforço estrutural	Concreto fino de alta fluidez e preenche vazios dos blocos	Aumenta resistência da parede
Armaduras	Resistência a esforços	Idênticas às do concreto armado	Absorve esforços de tração/compressão

Fonte: Adaptada de Camacho, 2006.

Figura 1 – Disposição dos elementos de uma edificação em alvenaria estrutural.



Fonte: CASACOR (2025)

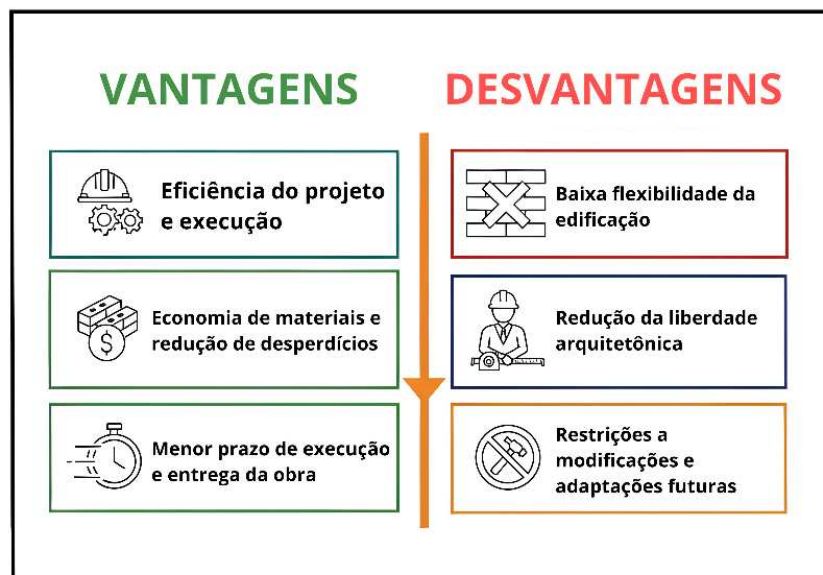
3.1.3 Vantagens e Desvantagens do Sistema Construtivo

O sistema de alvenaria estrutural apresenta vantagens significativas relacionadas à eficiência do projeto e da execução. Sua concepção baseia-se em uma modulação que prioriza a racionalização e a economia de materiais. Esse fato aliado a um planejamento preciso, resulta na redução do desperdício e dos prazos de

execução, diminuindo, conseqüentemente, o tempo total de entrega da obra (Gonçalves *et al.*, 2022).

Contudo, de acordo com Mohamad, Machado e Jansch (2021), a alvenaria estrutural apresenta como principal característica limitante sua baixa flexibilidade e rigidez. Isso se manifesta na concepção do projeto, que não admite improvisos e condiciona a liberdade arquitetônica, uma vez que a estrutura é composta pelas próprias paredes. Conseqüentemente, há significativas restrições relacionadas a modificações futuras e à adaptação do edifício para novos usos e ocupações, além da adoção de paredes com dimensões robustas, sendo desaconselhado o uso de elementos esbeltos. A seguir, a Figura 2 apresenta um panorama geral das vantagens e desvantagens do sistema de alvenaria estrutural.

Figura 2 - Vantagens e desvantagens do sistema construtivo feito em alvenaria estrutural.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.2 O Incêndio em Edificações

3.2.1 A física do Fogo

Os incêndios constituem um dos principais agentes de risco à segurança das edificações, culminando anualmente a um significativo número de vítimas fatais e

prejuízos materiais em todo o mundo. No Brasil, os desastres dos edifícios Andraus, Figura 3(a), e Joelma, Figura 3(b), na década de 1970, foram responsáveis pelo avanço significativo nos estudos sobre segurança e prevenção contra incêndios no país, culminando na fundação do Laboratório de Ensaios de Fogo no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no estado de São Paulo, em 1976 (Ono, 2007).

Figura 3 - Edifícios Andraus e Joelma durante seus incêndios.



(a)

Fonte: Acervo Folha (2017).



(b)

Fonte: Correio Braziliense (2024).

Um incêndio tem início com queima de um material inflamável na presença de oxigênio e de uma fonte de calor. A partir desse foco inicial, as chamas propagam-se progressivamente para os materiais próximos, caracterizando a fase inicial de um incêndio, onde, com um tempo a intensidade e a área do sinistro aumentam (Buchanan e Abu, 2017).

Por um longo período, o fenômeno da combustão era explicado por meio do modelo do triângulo do fogo, que era formado por três elementos: o calor, o combustível e o comburente (oxigênio do ar). No entanto, o modelo mais corretamente utilizado na atualidade é o tetraedro do fogo, que adiciona um quarto elemento que é indispensável para o acontecimento de um incêndio: a reação em cadeia (Pollum, 2016), representado na Figura 4 a seguir:

Figura 4 - Tetraedro do Fogo



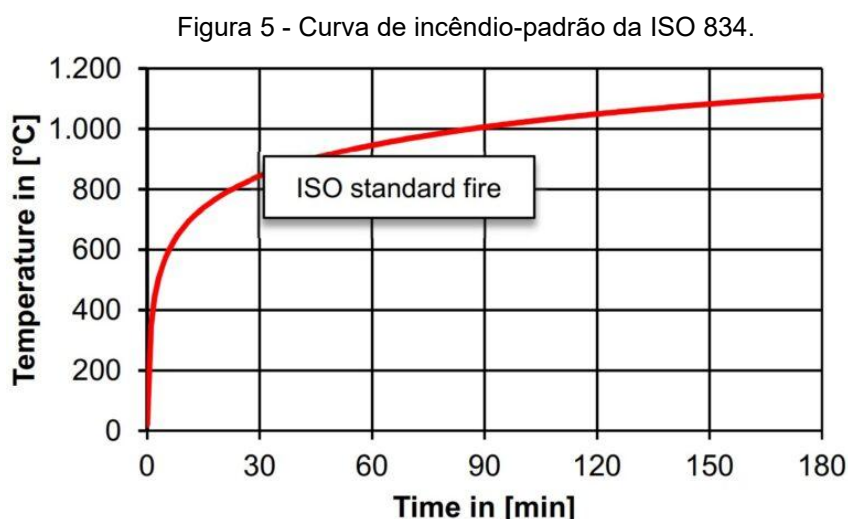
Fonte: Digfire (2025).

Com base nesse conceito do tetraedro, as estratégias para o combate de um incêndio fundamentam-se na interrupção de um ou mais dos quatro elementos constituintes. Assim, os métodos de combate podem ser classificados como:

- a) Método de Resfriamento: Esta é a técnica mais comum, e tem como objetivo a retirada de calor, reduzindo a temperatura do combustível abaixo do seu ponto de ignição, como exemplo temos a água, que possui um alto calor específico e absorve uma grande quantidade de energia térmica do fogo, interrompendo o ciclo de combustão.
- b) Método de Abafamento: Esse método visa a eliminação ou redução do comburente (oxigênio), com o objetivo de cessar o ciclo da combustão, nesse processo pode ser utilizado toalha molhada, pó químico, espuma.
- c) Método de Isolamento: Essa técnica consiste na retirada do combustível do foco de calor, impedindo seu contato com as chamas, como por exemplo, o desligamento de um botijão de gás para interromper o fluxo do combustível gasoso.

3.2.2 A curva de Incêndio-Padrão

A curva de incêndio-padrão, também conhecida como curva de incêndio nominal, é um modelo térmico comumente utilizado para dimensionamento e análise experimental de elementos estruturais em situação de fogo. Ela determina que a temperatura dos gases no interior do compartimento em chamas evolua temporalmente de acordo com curvas predefinidas por normas técnicas, como a ISO-834. Na falta de dados específicos de simulações realísticas ou de cenários de incêndios naturais, essas curvas padronizadas são adotadas como a função temperatura-tempo, que define a atmosfera do ambiente sob efeito térmico (Costa & Silva, 2006). A seguir, na Figura 5, é possível observar sobre o comportamento da curva de incêndio padrão da ISO 834.



Fonte: ISO STANDARD FIRE

As curvas-padrão de incêndio, que mostram apenas um ramo de aquecimento (Figura 5), indicam um crescimento constante da temperatura ao longo do tempo. Esse tipo de modelagem simplificada não considera aspectos essenciais do cenário de um incêndio real, como a carga de incêndio específica, o nível de ventilação dos compartimentos ou as características térmicas dos materiais que o cercam.

Como resultado, essas curvas não detalham com precisão a evolução térmica de um incêndio real, que é singular para cada ambiente. Embora possua essa limitação, sua principal utilidade está na padronização de testes comparativos, que possibilita uma avaliação sistemática e sequencial da resistência ao fogo de diversos

elementos construtivos sob condições térmicas iguais e reproduzíveis (Costa, 2002; Costa & Silva, 2003; Silva, 2004; *apud* Costa & Silva, 2006).

3.2.3 Mecanismos de Transferência de Calor

Um dos processos essenciais para o entendimento em relação à propagação das chamas em incêndio são os mecanismos de transferência de calor, que ocorrem por três meios distintos: condução, convecção e radiação. Conforme Buchanan e Abu (2017), a condução é expressa pela transferência de calor em sólidos, influenciando diretamente a ignição de materiais e a resistência ao fogo de elementos construtivos. Na convecção, por sua vez, o processo se dá em fluidos, gases ou vapores, sendo importante para entender a propagação de chamas e o deslocamento da fumaça. Por fim, a radiação, que consiste no fluxo de energia na forma de ondas eletromagnéticas, se diferencia por ser um fenômeno não local, não dependendo de um meio material para se propagar e podendo ocorrer sem nenhum contato físico direto entre os corpos. (Galarça, 2006).

3.3 Comportamento da Alvenaria Estrutural sob Altas Temperaturas

O desempenho da alvenaria estrutural em condições de exposição ao fogo depende fundamentalmente da constituição do seu sistema. Tendo em vista que a alvenaria é composta por unidades (blocos), argamassa de assentamento, possíveis reforços (armadura) e camadas de revestimento. Sua capacidade de suportar elevadas temperaturas é resultado da avaliação das propriedades de cada material isoladamente e da reação em conjunto deles no sistema (Leite; Moreno; Torres, 2016).

Os procedimentos para o dimensionamento de elementos estruturais em situação de incêndio fundamentam-se na verificação de três critérios de desempenho: resistência mecânica, estanqueidade e isolamento térmico. Para cumpri-los, o elemento deve, integralmente, resistir mecanicamente sem sofrer ruptura, garantir estanqueidade, sem desenvolver fissuras que permitam a passagem de chamas ou gases quentes e proporcionar isolamento térmico, de modo que o aumento de temperatura em sua face não exposta não ultrapasse, em média, 140 °C, nem atinja 180 °C em qualquer ponto isolado (Leite, 2018). A Tabela 2 a seguir, sintetiza os

conceitos e critérios de desempenho para avaliação da resistência ao fogo dos elementos de alvenaria:

Tabela 2 - Critérios de Desempenho para Avaliação da Resistência ao Fogo de Elementos de Alvenaria.

Critério	Conceito Sintetizado	Critério de Falha no Ensaio
Resistência Mecânica	Capacidade de suportar cargas sem ruptura	O elemento estrutural não deve alcançar a ruptura
Estanqueidade	Vedação contra chamas e gases	Não deve permitir passagem de chamas ou gases por fissuras
Isolamento Térmico	Capacidade de limitar a transferência de calor.	Limite de aumento de temperatura: 140°C (média) e 180°C (máx pontual).

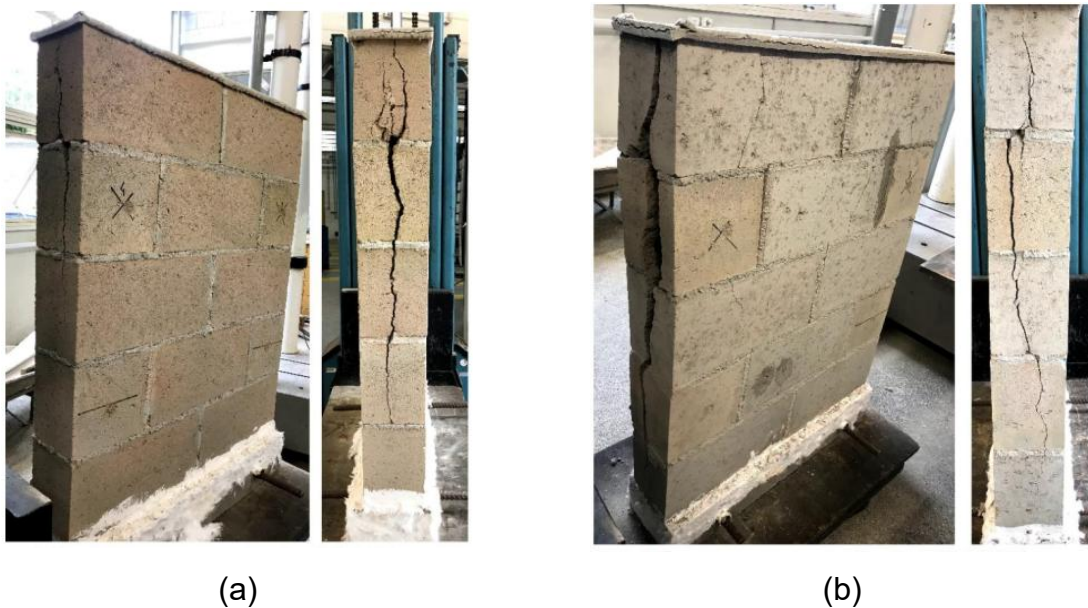
Fonte: Elaborado por autor com base em Leite (2018).

Nesse contexto, a compreensão do efeito das altas temperaturas sobre os elementos que compõem a alvenaria estrutural configura-se como etapa fundamental para a previsão do desempenho global da estrutura.

3.4 Efeitos das Altas Temperaturas nos Materiais Constituintes

Cada material tem seu próprio comportamento e exerce influência na resistência da parede ao fogo. Para os blocos de concretos, a degradação térmica ocorre em fases bem definidas. Inicialmente, até cerca de 100°C, a evaporação da água livre dentro dos poros produz pressão de vapor e pode induzir a fissuração. De 100-500°C a desidratação dos constituintes do cimento na pasta, conduzem a um decréscimo significativo na resistência à compressão e no módulo de elasticidade. Quanto às propriedades térmicas, a condutividade térmica do concreto apresenta uma tendência de diminuição com o aumento da temperatura e isso por retardar a transferência de calor para o interior da parede (Dupim, 2019). Diante desses mecanismos de degradação progressiva, a Figura 6 ilustra o modo de ruptura das pequenas paredes após a ação do fogo, evidenciando os danos resultantes das elevadas temperaturas.

Figura 6 - Ruptura das pequenas paredes após a ação do fogo.



Fonte: Dupim, 2019.

Os blocos cerâmicos, por sua vez, têm um comportamento térmico mais favorável, que decorre da sua composição mineralógica e do processo de fabricação. Porém, em blocos vazados, o risco de perda de integridade, ou de princípios de *spalling*, podem surgir a partir de 150°C, embora a falha pelo critério e isolamento térmico geralmente seja o ponto mais crítico. A argamassa de assentamento e o graute (quando utilizado), têm um comportamento térmico parecido com o do concreto, pois são materiais a base de cimento. Eles desempenham um papel importante, pois o preenchimento de vazios e aplicação de revestimento de argamassa funcionam como isolamento térmico extra, que desacelera o aumento da temperatura na face oposta e ajuda na integridade da parede (Leite, 2018; Carvalho, Leal, Munaiar, 2021).

3.5 Manifestações Patológicas e Diagnóstico Pós-Incêndio

3.5.1 Catalogação dos danos visíveis

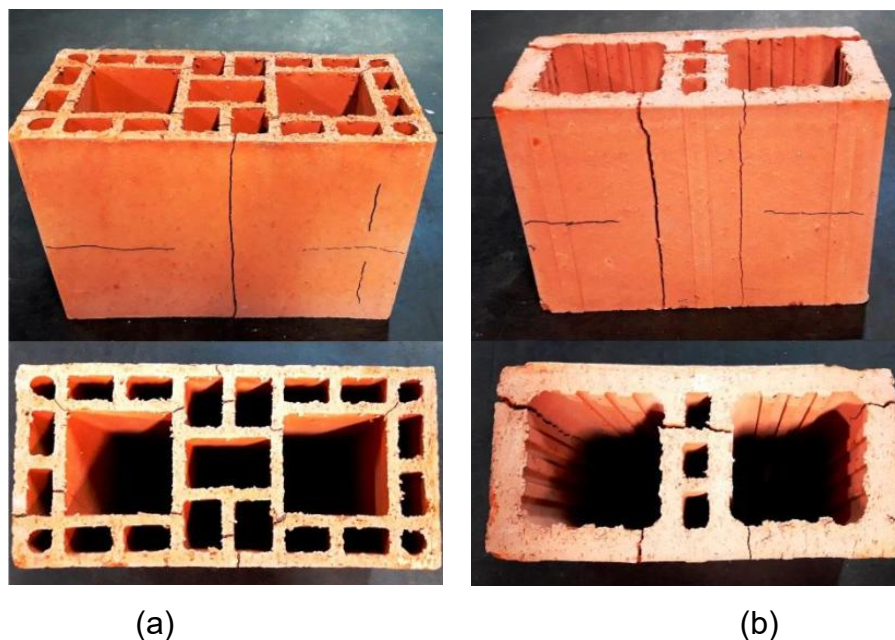
Diante de uma estrutura de alvenaria atingida por um incêndio, a identificação e a correta interpretação das manifestações patológicas são o ponto de partida para um diagnóstico confiável. Este processo de investigação é importante para determinar

o nível dos danos e fundamentar decisões técnicas sobre a viabilidade e os métodos de recuperação ou reforço estrutural.

De acordo com Ingham (2009), a resposta desse sistema construtivo ao fogo varia conforme a temperatura de exposição. Em cenários com uma baixa intensidade (250°C a 300°C), os danos são superficiais, se limitando a alterações de coloração da alvenaria. Porém, quando submetida a temperaturas elevadas, na faixa de 600°C a 800°C, o material sofre uma degradação severa de sua resistência à compressão. Ele ainda alerta sobre o risco adicional durante o resfriamento pós-incêndio. O contato da alvenaria aquecida com a água, pode induzir um choque térmico, provocando uma contração repentina, gerando um quadro de fissuração com aberturas que podem ocasionar o colapso do elemento estrutural.

Fernandes Neto (2020) observou a partir de ensaios, a que a exposição de blocos de cerâmica a um incêndio provoca a degradação acelerada de suas propriedades mecânicas. A partir de 30 minutos de exposição térmica, tem-se início um processo interno de fissuração, que evolui para o fraturamento do material. As fissuras predominam verticalmente e concentram-se nas faces externa e nos septos dos blocos, resultando no desmembramento do bloco em várias partes, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Detalhe da fissuração do bloco vazado (a) e maciço (b) submetidos a ensaio de incêndio.



Fonte: Fernandes Neto (2020).

Rigão (2012), em um experimento, submeteu paredes de alvenaria cerâmica a ensaios térmicos simulando incêndios, expondo-as a temperaturas de 400°C a 900°C, durante cerca de seis horas, simulando o comportamento dos materiais para que fosse feita uma avaliação pós-queima. Os resultados indicaram uma fissuração vertical nos blocos cerâmicos, porém, os mesmos mantiveram uma significativa resistência residual. Já as argamassas apresentaram comportamento distinto: na temperatura de 400°C, preservaram de 39% a 56,6% de sua resistência original, enquanto após exposição a 900°C não foi registrada resistência residual relevante. Na Figura 8 é possível observar as fissuras resultantes das paredes no ensaio.

Figura 8 - Fissuras formadas pelo aquecimento das paredes durante o ensaio.



Parede 1

Parede 2

Parede 3

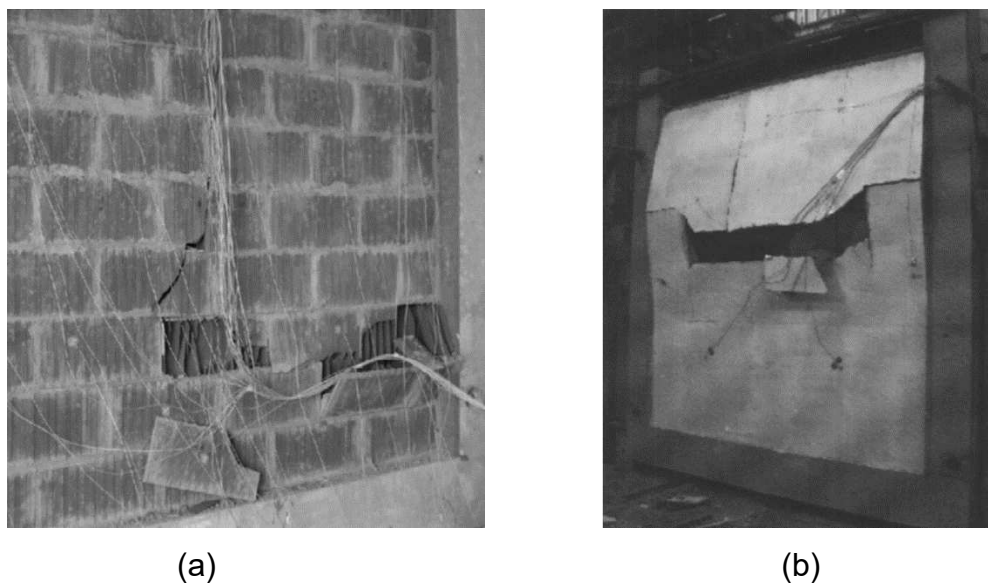
Fonte: Rigão (2012).

Nguyen e Meftah (2012) demonstraram em paredes de alvenaria estrutural que a transferência de calor durante incêndios ocorre principalmente por radiação e convecção, enquanto a dissipação térmica acontece por condução, mudanças de fase e advecção de vapor, processos esses que são influenciados pela geometria dos blocos. Do ponto de vista estrutural, a perda de estabilidade decorre do lascamento (*spalling*) localizado, que ao se propagar pela espessura da parede, induz excentricidades nas cargas verticais, gerando momentos fletores que culminam no colapso da estrutura. Esses mecanismos iniciam-se geralmente em regiões críticas como nas junções entre paredes e vigas.

No ensaio, Nguyen e Meftah (2012) utilizaram quatro paredes, porém, apenas duas possuíam função estrutural. Na comparação entre essas duas foi utilizado o critério REI (Resistência, Estanqueidade e Isolamento), onde a primeira parede de

argamassa tradicional com carga de 130 kN/m resistiu a 136 min com lascamento superficial que não comprometeu a estanqueidade. Já a segunda com junta colante fina com carregamento de 90 kN/m colapsou em 60 min com lascamento penetrante, demonstrando que as juntas colantes reduzem significativamente a resistência ao fogo mesmo sob menor carga, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Ruptura da primeira parede (a) e da segunda parede (b) ao final do ensaio



Fonte: Nguyen e Meftah (2012).

Conforme Silva, Corrêa e Oliveira (2015), as altas temperaturas durante um incêndio vaporizam a água livre presente na argamassa, gerando uma pressão interna que tende a expulsar as camadas de revestimento, como chapisco e reboco. Os autores ainda ressaltam que a água utilizada no combate às chamas intensifica esse fenômeno, uma vez que é absorvida pelo revestimento e, instantaneamente, vira vapor, elevando ainda mais a pressão interna e podendo resultar no destacamento do reboco, do chapisco e até mesmo nas partes externas dos blocos.

Em um estudo de caso sobre um incêndio em um edifício residencial de doze pavimentos localizado em Recife (PE), Oliveira (2014) descreve uma construção que utilizava alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de chapisco e reboco. De acordo com laudos periciais (ICPE, 2014; CBMPE, 2014), o fogo iniciou-se por curto-circuito no chuveiro elétrico do banheiro, propagando-se para o quarto através de um guarda-roupa e da porta que separava os ambientes. As paredes mais próximas dos móveis como a da cama, sofreram uma degradação térmica mais acentuada: o calor

vaporizou a água livre da argamassa, gerando uma pressão interna que, intensificada pela água do combate ao incêndio, causou o destacamento do revestimento e danificou as superfícies externas dos blocos, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Parede externa com os danos em sua superfície



Fonte: Oliveira (2014).

Nadjai *et al.* (2006) conduziram uma análise numérica baseada no método dos elementos finitos, para investigar o comportamento de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto em situação de incêndio. Os modelos de paredes da análise foram aquecidos em uma única face, com base na norma australiana (AS 3700), tendo como condições de contorno restrição de rotação no topo e na base, e lateral nas extremidades e bordas livres nas verticais da parede. As paredes apresentaram uma curvatura em direção ao fogo durante os ensaios. Sob um carregamento correspondente a 50% de carga de ruptura, o colapso ocorreu em 28 minutos devido à instabilidade gera por fissuras horizontais nas juntas de argamassa, desencadeadas por tensões de tração na face exposta.

Em outro ensaio nas mesmas condições anteriores, porém, com uma carga mais elevada, Nadjai *et al.* (2006) observaram a inversão da curvatura da parede ao longo do tempo, aumentando a resistência ao fogo. Os autores atribuem este fenômeno à predominância da degradação térmica do material, que gera excentricidades adicionais na região mais enfraquecida pela ação do fogo.

3.5.2 Métodos de avaliação da estrutura remanescente

Após a ocorrência de um incêndio, torna-se indispensável a verificação da integridade e da capacidade residual da estrutura atingida. Sob a perspectiva de Cho

et al. (2017), a inspeção visual configura-se como a etapa inicial na investigação de danos em estruturas pós-incêndio, sendo categorizada como método de avaliação primária. Essa técnica permite a identificação de manifestações patológicas superficiais, como fissuras, descolorações e desagregação de camadas superficiais das paredes. Contudo, a principal limitação desse método reside na incapacidade de detectar danos internos, restringindo-se à análise dos elementos visíveis como fissuras, descamações e descoloração.

Uma das alternativas para superar as limitações relacionadas à inspeção visual e obter dados quantitativos sobre as condições dos materiais que compõem uma parede afetada por um incêndio, são os métodos não destrutivos. Dentre eles o que mais destaca-se é o ensaio esclerométrico (Martelo de Schmidt), que fornece uma estimativa indireta da resistência à compressão superficial através do princípio do rebote, sendo muito importante para uma avaliação preliminar e rápida da degradação superficial (Wróblewska e Kowalski, 2020).

Outra técnica amplamente utilizada é o ultrassom ou ensaio de pulso ultrassônico, que se baseia na medição da velocidade de propagação de ondas mecânicas no material. Alterações nessas velocidades permitem entender sobre a homogeneidade do material, a presença de fissuras internas e a qualidade do preenchimento do bloco (Wróblewska e Kowalski, 2020).

A termografia infravermelha surge como uma ferramenta eficaz para o mapeamento de grandes áreas em um curto espaço de tempo. Este método detecta variações na radiação térmica superficial causadas por diferenças na condutividade térmica do material, sendo sensível para identificar descolamentos e zonas que atingiram temperaturas elevadas, superiores a 600°C (Bhalla *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2023).

Em contrapartida aos métodos não destrutivos, os ensaios destrutivos constituem uma abordagem fundamental para a caracterização direta das propriedades dos materiais, ainda que, seja necessária uma intervenção na estrutura para extração de amostras. Conforme apontado por Fuck (2025), duas modalidades se destacam por sua aplicabilidade em edificações afetadas por incêndios: a análise de núcleos e os testes de resistência mecânica.

A análise de núcleos consiste na remoção de uma amostra da parede para a realização de ensaios de resistência à compressão e avaliação microestrutural. Esse procedimento fornece dados precisos sobre a degradação do material, porém, por sua

natureza invasiva, pode introduzir fragilidades locais na estrutura, sendo muito importante uma análise criteriosa de viabilidade (Fuck, 2025).

Já os testes de resistência mecânica são empregados para quantificar a capacidade residual da estrutura após a exposição ao fogo, sendo essenciais para ajudar nas decisões técnicas relacionadas as intervenções de reforço ou recuperação (Fuck, 2025).

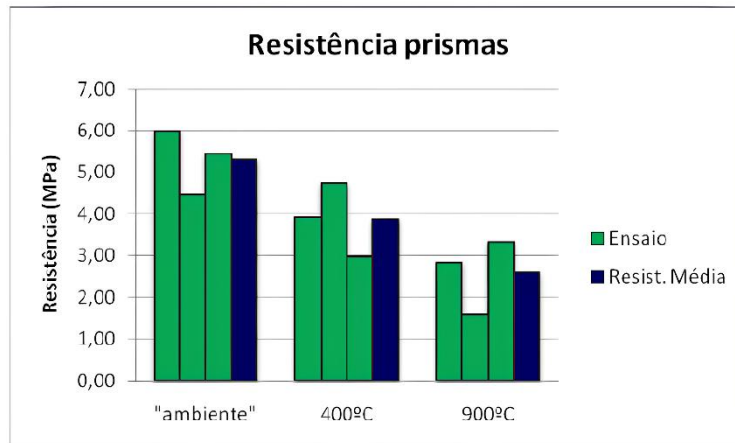
A aplicação conjunta e a correta interpretação desses métodos fornecem uma visão mais ampla dos danos, tanto superficiais quanto internos, constituindo-se como uma base técnica indispensável para a definição de estratégias seguras e eficazes de intervenção e recuperação estrutural.

3.5.3 Critérios para tomada de decisão

Uma vez realizados os ensaios e investigações detalhadas no tópico anterior, é necessário sistematizar os resultados em critérios claros que embasem a decisão técnica mais adequada.

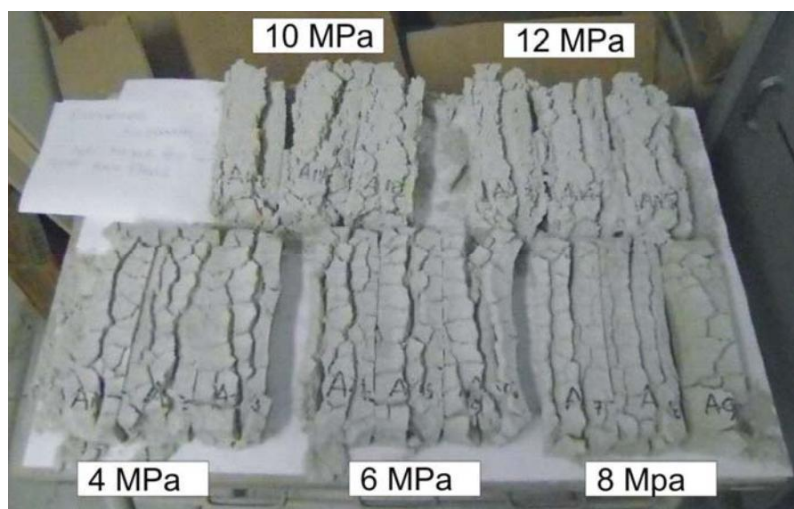
O principal critério para avaliar a segurança pós-incêndio é a resistência residual, que é definida como a capacidade de carga remanescente do elemento após o resfriamento. Estudos como o de Rigão (2012), demonstram que essa resistência é altamente variável, dependendo de fatores como o tipo de material e a condição de exposição ao fogo. Em sua pesquisa, por exemplo, enquanto prismas de alvenaria cerâmica aquecidos a 900°C mantiveram em média 48,7% de sua resistência original, as argamassas estruturais sob as mesmas condições, perdem praticamente toda sua capacidade resistente. As Figuras 11 e 12 mostram os quantitativos da degradação mecânica do prisma e as consequências do aquecimento da argamassa estrutural, respectivamente.

Figura 11 - Gráfico que mostra a resistência à compressão dos prismas expostos a altas temperaturas.



Fonte: Rigão (2012).

Figura 12 - Argamassas estruturais dois dias após o ensaio.



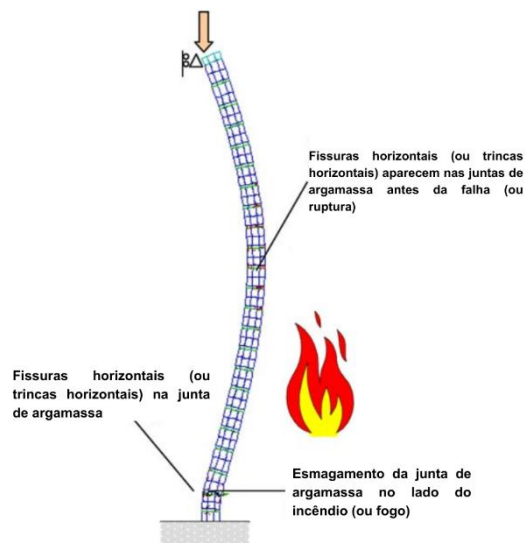
Fonte: Rigão (2012).

Além da resistência, a integridade física do elemento é crucial. As manifestações patológicas catalogadas no item 3.5.1, como o lascamento (*spalling*) são indicadores diretos da gravidade dos danos, conforme foi demonstrado por Nguyen e Meftah (2012). Fissuras superficiais podem ser reparadas, mas aquelas associadas a um *spalling* que compromete a seção transversal ou indica deslocamentos significativos afetam diretamente a estanqueidade e a estabilidade, exigindo intervenção estrutural.

Paralelamente, a avaliação não pode se limitar a elementos isolados. Deve-se verificar a estabilidade global do edifício, analisando se há indícios de flambagem das

paredes. Nadjai *et al.* (2006), em sua análise numérica, observaram o colapso de paredes de alvenaria estrutural carregadas durante um incêndio pode ocorrer por instabilidade, desencadeada pela formação de fissuras horizontais nas juntas de argamassas devido a tensões de tração na face exposta ao calor. A Figura 13 ilustra o esquema de como a perda de estabilidade de um elemento pode desencadear um efeito cadeia, comprometendo toda a segurança de toda a edificação.

Figura 13 - Mecanismo de colapso provocado pela instabilidade gerada por fissuração.



Fonte: Adaptado de Nadjai *et al.* (2006).

Juntamente com os requisitos técnicos, a decisão final deve ser definida por uma análise de custo-benefício que vai além da comparação de valores. Como demonstrado por Alba-Rodriguez *et al.* (2017), mesmo em cenários de danos estruturais severos, a reabilitação pode apresentar vantagem econômica em relação a demolição e reconstrução. Ademais, a intervenção de reparo se mostra uma oportunidade estratégica para modernização das instalações elétricas e hidráulicas. Portanto, cabe ao responsável pela avaliação, ponderar essa relação entre custo, benefícios e a praticidade da intervenção para uma tomada de decisão economicamente viável e tecnicamente adequada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Síntese dos principais danos e comportamentos

A partir da análise dos estudos selecionados, observa-se que desempenho da alvenaria estrutural sob situação de altas temperaturas está diretamente relacionado aos materiais que a constituem e às condições de exposição térmica. Rigão (2012) e Fernandes Neto (2020), verificaram que houve degradação nas estruturas em seus ensaios e confirmaram que tanto os blocos quanto as argamassas apresentaram comportamento não linear quando submetidos a altas temperaturas, perdendo a rigidez e a resistência residual progressivamente. Essa observação também é sustentada por Leite, Moreno Júnior e Torres (2016), que destacam que o desempenho global do sistema depende da interação entre seus componentes, como unidades, argamassas e revestimentos e não de apenas dos elementos isolados.

A Tabela 3 sintetiza a correlação entre temperatura de exposição e o comportamento dos componentes da alvenaria, mostrando a degradação não linear observada por Rigão (2012) e Fernandes Neto (2020).

Tabela 3 - Comportamento de blocos e argamassas sob diferentes temperaturas de exposição ao fogo

Temperatura (°C)	Comportamento dos Blocos	Comportamento da Argamassa	Resistência Residual Aproximada
250-300	Alteração de cor superficial	Pouca alteração	> 80%
400	Início de fissuração	39-56,6% da resistência	40-60%
600-800	Fissuração vertical	Quase nenhuma resistência	< 20%
900	Desintegração parcial	Resistencia irrelevante	≈ 0%

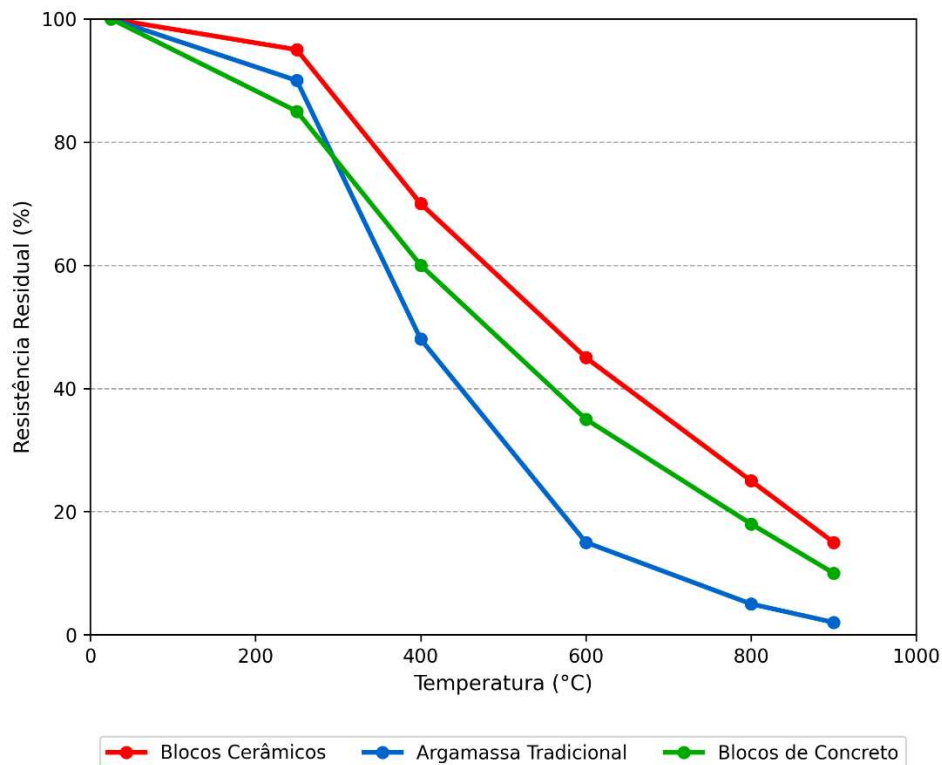
Fonte: Elaborado pelo autor com base em Rigão (2012), Fernandes Neto (2020), Ingham (2009).

Outro aspecto importante é a qualidade do tipo de junta de assentamento dos blocos. Como observado no estudo de Nguyen e Meftah (2012), as paredes com junta colante apresentaram um desempenho bem inferior em relação às de argamassas tradicionais, mostrando a importância do tipo de ligante na transferência de calor e na resistência mecânica durante o sinistro. Essa constatação sugere que, em projetos

com a possibilidade de exposição ao fogo, o uso de argamassas convencionais ainda é a solução mais adequada.

O Gráfico 1 ilustra a perda progressiva de resistência residual em função da temperatura, evidenciando a maior sensibilidade térmica da argamassa em comparação com os blocos cerâmicos e de concreto.

Gráfico 1 - Variação da resistência residual de componentes da alvenaria em função da temperatura.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Rigão (2012), Fernandes Neto (2020), Leite (2018).

Como consequência direta desses processos, ocorre o surgimento de manifestações patológicas características, como fissuras verticais, descamação superficial e perda de coesão entre blocos e juntas. Além disso, danos semelhantes são frequentemente agravados durante o combate ao incêndio, onde o resfriamento rápido provocado pela água gera tensões de contração térmica, causando fissuração adicional (Ingham, 2009; Silva, Corrêa e Oliveira, 2015).

Além disso, segundo Nadjai *et al.* (2006), a degradação térmica leva a instabilidade estrutural acompanhadas de formação de fissuras horizontais e perda de seção resistente. Essa última afirmação indica que a razão do colapso não é apenas por conta da redução da resistência, mas da distribuição desigual das tensões nas

paredes. Portanto, os critérios normativos internacionais baseados no tripé REI – Resistência, Estanqueidade e Isolamento, devem ser interpretados de forma completa, especialmente devido à ausência de uma regulamentação brasileira específica.

Sobre as formas de verificação pós incêndio, a literatura revisada destacou o uso de técnicas não destrutivas, como o ensaio esclerométrico e o ultrassom, que fornecem avaliações da resistência superficial e integridade interna dos elementos. A termografia infravermelha se mostrou eficaz para um rápido mapeamento em áreas comprometidas pelas altas temperaturas, detectando zonas que sofrem com temperaturas superiores a 600°C (Bhalla *et al.*, 2011). Já os métodos destrutivos como a extração de amostras e ensaios de resistência mecânica se mostraram eficientes na entrega precisa de dados sobre a capacidade residual da edificação, sendo fundamentais para o desenvolvimento de estratégias para reparo, reforço ou demolição (Fuck, 2025).

Por fim, verificou-se que a definição das intervenções deve levar em conta não apenas os critérios técnicos (REI), mas também os fatores econômicos e práticos. Foi o que Alba-Rodriguez *et al.* (2017) demonstraram, que em determinados casos é mais viável financeiramente reabilitar a estrutura que demolir, especialmente quando é possível modernizar as instalações hidráulicas e elétricas da edificação.

4.2 Análise crítica das normas

A revisão da literatura permitiu constatar a inexistência de normativas envolvendo a alvenaria estrutural em situação de incêndio no cenário brasileiro. Isto é, embora a NBR 15200:2024 aborde o dimensionamento de estruturas de concreto em situação de incêndio, não há norma específica voltada para ação do fogo em elementos de alvenaria sob as mesmas condições. Assim, a partir da pesquisa observou-se que, alguns Corpos de Bombeiros de alguns estados como os do Rio de Janeiro (NT 2-19/2019), São Paulo (IT 08/2011), Goiás (NT 08/2012) e Espírito Santo (NT 09/2010) apresentam instruções ou normas técnicas que tentam suprir parcialmente a inexistência de uma norma brasileira específica para o dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio.

Esses documentos adotam uma postura semelhante ao estabelecer que, na ausência de regulamentação nacional, o dimensionamento deve seguir o *Eurocode*

em sua versão mais recente ou outra norma internacionalmente reconhecida, como a *Australian Standard 3700*, passando a ser obrigatório o uso da norma brasileira assim que mesma vier a ser criada. Tais instruções, também admitem como alternativa a utilização de ensaios experimentais de resistência ao fogo, conforme os procedimentos da NBR 5628, indicando que, mesmo no âmbito estadual, a solução normativa permanece dependente de referenciais estrangeiros ou de métodos laboratoriais, o que reforça a importância da criação de uma norma nacional para o dimensionamento desse tipo de estrutura.

No Maranhão, observa-se uma lacuna ainda mais evidente, uma vez que o estado não dispõe de instrução técnica específica que trate da resistência ao fogo ou do dimensionamento de elementos de alvenaria estrutural em situação de incêndio. Na prática, as análises estruturais e comprovações de resistência seguem exclusivamente referenciais nacionais gerais como a NBR 5628 ou reproduzem diretrizes de outros estados, que recomendam o uso de normas estrangeiras.

Nesse contexto, a Tabela 4 sintetiza cronologicamente as instruções técnicas estaduais identificadas, evidenciando como cada Corpo de Bombeiros tem buscado suprir a ausência de uma norma nacional específica para o dimensionamento da resistência ao fogo em elementos de alvenaria estrutural.

Tabela 4 - Instruções técnicas estaduais relacionadas ao dimensionamento da resistência ao fogo.

Ano	Estado	Instrução / Norma Técnica	Diretrizes sobre o dimensionamento em incêndio
2010	Espirito Santo	NT-09/2010	
2011	São Paulo	IT-08/2011	Adotam o Eurocode na ausência de norma nacional e aceitam ensaios conforme a NBR 5628 para comprovação da resistência ao fogo.
2012	Goiás	NT-08/2012	
2019	Rio de Janeiro	NT- 2-19/2019	
2021	Maranhão	NT – 08/2021	Não orienta em relação à alvenaria estrutural.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiros de ES (2010), SP (2011), GO (2012), RJ (2019) e MA (2021).

Dentre as normas internacionais, o *Eurocode* é a mais completa, uma vez que considera os três critérios de verificação (REI), além de oferecer métodos analítico e tabular. Já a *Australian Standard 3700* apresenta a característica de adicionar o índice de esbeltez das paredes, que é um fator fundamental para levantamentos com mais

de um pavimento. No entanto, o uso desses códigos perante a realidade brasileira é limitado, uma vez que as características dos blocos, dos agregados e revestimentos nacionais são diferentes daqueles usados nos países de origem, tornando o desempenho térmico e estrutural diferente (Leite, Moreno Júnior e Torres, 2016).

A Tabela 5 sistematiza a análise comparativa das principais normativas internacionais aplicáveis, evidenciando as lacunas e limitações de sua adoção no contexto brasileiro, conforme discutido por Leite, Moreno Júnior e Torres (2016).

Tabela 5 - Análise comparativa das normativas internacionais para alvenaria em situação de incêndio

Norma	Crítérios adotados	Métodos de cálculo	Aplicabilidade no Brasil	Limitações
<i>Eurocode 6</i>	REI completo	Análítico e tabular	Limitada	Materiais e condições climáticas diferentes
AS 3700	REI + Índice de esbeltez	Tabular	Limitada	Características dos blocos nacionais distintas

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Eurocode 6 (2005), Australian Standard 3700 (2011).

Desse modo, pode-se dizer que os estudos tendem para a necessidade da elaboração de uma norma brasileira específica, adequando-se aos materiais e condições construtivas do território nacional. Tal regulamentação deverá combinar uma base de conhecimento consolidada em critérios de segurança e desempenho, com métodos de cálculo simplificados, fundamentados em ensaios experimentais e modelagens numéricas. Com isso, será possível criar tabelas e ábacos de dimensionamento que condizem com o cenário atual, criando uma norma contextualizada para a realidade do território brasileiro. (Leite, Moreno Júnior, Torres, 2016; Silva, Ó, 2023).

Em síntese, a transferência dos modelos de normas estrangeiras se torna inviável. O caminho mais apropriado seria a elaboração de uma norma nacional progressista, construída a partir de pesquisas locais com cooperação acadêmica e critérios de desempenho técnico e estrutural, fornecendo, de maneira mais segura, o desempenho de edificações em alvenaria estrutural no cenário brasileiro.

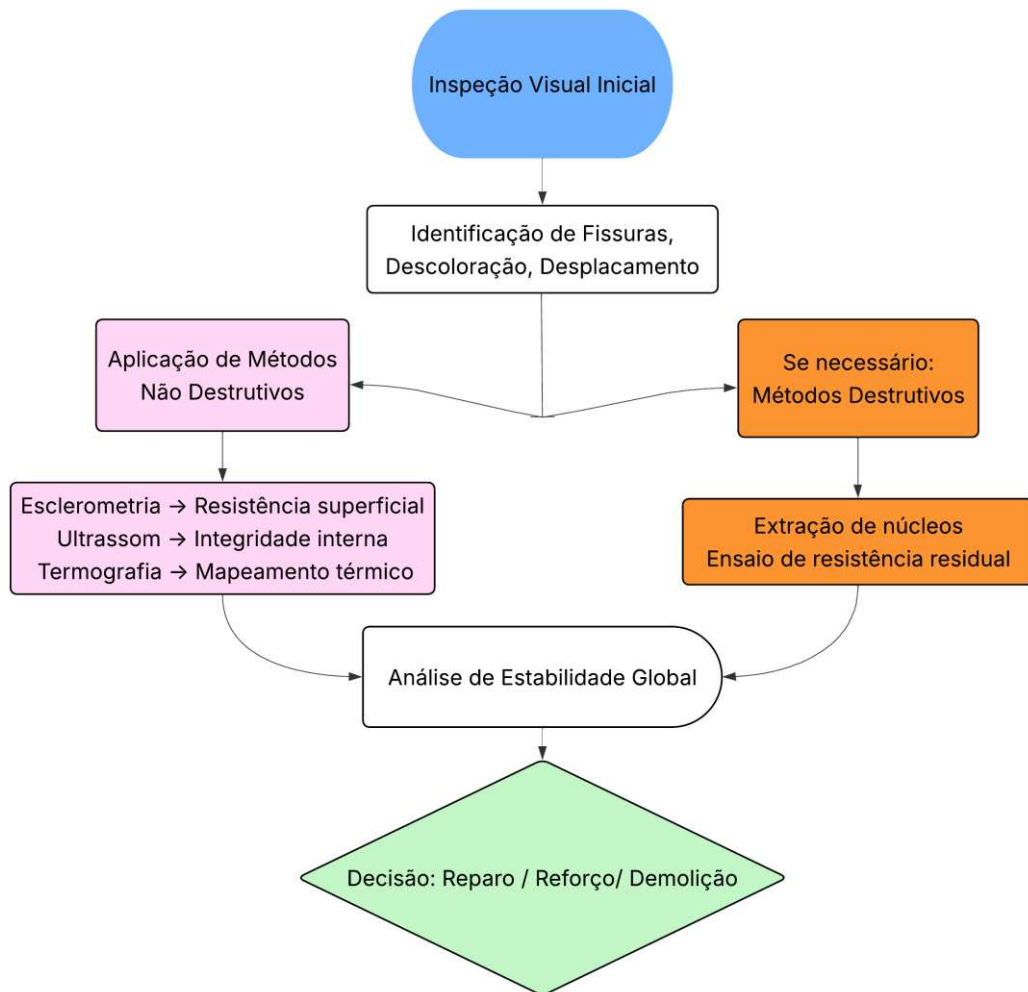
4.3 Conexão teoria-prática e proposta de diretrizes

A relação entre as teorias e as práticas de engenharia demonstram a necessidade de uma análise cuidadosa do comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio. Essa avaliação deve levar em conta fatores térmicos, mecânicos e construtivos. Desse modo, essa abordagem simultânea é fundamental, pois ela permite a compreensão de como os materiais reagem sob a ação de altas temperaturas e até que ponto as propriedades físicas e mecânicas são comprometidas ao longo do tempo, afetando, assim, a estabilidade global das edificações.

Nesse contexto, é possível propor diretrizes técnicas preliminares para uma maior atuação dos profissionais de engenharia civil e direcionamento de futuras pesquisas. A primeira dessas diretrizes é a utilização de protocolos padronizados de avaliação pós-incêndio. Tais protocolos devem combinar o uso de métodos destrutivos e não destrutivos a fim de gerar diagnósticos completos da capacidade residual de paredes e demais elementos estruturais. Portanto, essa integração de técnicas é vital para a elaboração de laudos confiáveis e, conseqüentemente, a implementação de estratégias adequadas de recuperação ou demolição da estrutura.

Como produto da integração entre teoria e prática, a Figura 14 apresenta um fluxograma sistematizado para avaliação pós-incêndio, incorporando os métodos discutidos e servindo como diretriz prática para profissionais.

Figura 14 - Fluxograma de avaliação pós-incêndio para estruturas de alvenaria estrutural



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Ingham (2009), Nguyen e Meftah (2012), Fuck (2025) e Wróblewska & Kowalski (2020).

Outra importante diretriz, implica no desenvolvimento de ensaios laboratoriais nacionais. O uso de blocos e argamassas produzidas no Brasil garantiria que as normas fossem aplicadas à realidade construtiva local. Entretanto, seria necessário o desenvolvimento de novos ensaios com parâmetros normalizáveis, levando em conta características de materiais e do clima. Entre esses parâmetros, estão: incluir limites de resistência à compressão e deformabilidade após diferentes níveis de exposição térmica.

Além disso, é fundamental a introdução de exigências específicas de resistência ao fogo em projetos de alvenaria estrutural, isso abrange critérios mínimos de espessura de paredes, tipos de argamassas e revestimentos protetores capazes

de contribuir para o isolamento térmico e, conseqüentemente, aumento da durabilidade e segurança estrutural.

Por fim, se destaca a importância da capacitação técnica dos profissionais de engenharia civil, especialmente no que se refere às metodologias de inspeção, análise e reabilitação de edificações pós-incêndio. O domínio desses procedimentos é indispensável para proporcionar diagnósticos precisos e intervenções seguras, contribuindo para a prevenção de colapsos e para o aperfeiçoamento das práticas de avaliação estrutural.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo se trata de um compilado da literatura sobre o comportamento da alvenaria estrutural frente a incêndios, onde o objetivo é destacar a importância de investigações contínuas na área, as quais são fundamentais para impulsionar o desenvolvimento de materiais e técnicas que garantam um melhor desempenho e segurança estrutural quando submetidas a altas temperaturas.

No Brasil, a inexistência de normas específicas que abordem o desempenho térmico e estrutural desse sistema construtivo, evidencia uma lacuna significativa no cenário nacional. Embora alguns Corpos de Bombeiros publiquem instruções para a verificação da resistência ao fogo, essas diretrizes permanecem essencialmente prescritivas e, na falta de regulamentação nacional, determinam o uso de normas internacionais ou realização de ensaios para a verificação. Tais procedimentos, entretanto, não contemplam as particularidades dos materiais empregados no contexto brasileiro, reforçando a importância de aprofundar o entendimento do comportamento térmico e estrutural da alvenaria a fim de subsidiar avaliações mais seguras e alinhadas à realidade nacional.

Cabe ressaltar que a escolha do tema é respaldada pela sua relevância técnica, dado que é preciso compreender como os elementos (blocos, argamassas e revestimentos) reagem ao fogo, a fim de embasar diagnósticos técnicos e, assim, preservar vidas e patrimônios.

Assim, o principal objetivo de analisar o comportamento estrutural e as manifestações patológicas da alvenaria em situação de incêndio foi atingido, pois a revisão bibliográfica permitiu sistematizar os principais danos e patologias decorrentes da ação do fogo, como a perda progressiva de resistência e rigidez dos materiais e a

influência das condições de exposição e do tipo de junta de assentamento dos blocos. O trabalho contribuiu ao reunir e interpretar informações dispersas e apresentar uma visão abrangente sobre os mecanismos de degradação e os critérios de avaliação pós-incêndio que são essenciais para o trabalho de engenheiros e peritos estruturais.

Em relação aos objetivos específicos, com revisão sistemática foi possível entender os efeitos das temperaturas elevadas nos elementos de alvenaria estrutural, demonstrando que o desempenho global é função da interação entre seus componentes. A classificação dos processos de degradação indicou que, a fissuração vertical, o destacamento de revestimentos e o colapso por instabilidade estão entre as principais patologias observadas. Já a análise das normas técnicas evidenciou a ausência de uma norma nacional, mostrando a importância de uma norma brasileira que fique atenta as características dos materiais e dos métodos construtivos locais.

A metodologia adotada permitiu compreender os efeitos do incêndio sobre os materiais que compõem a alvenaria estrutural. A sistematização e interpretação de dados e autores diversos viabilizaram uma análise coerente acerca do tema, fornecendo, assim, suporte técnico para avaliações pós-incêndio mais seguras e fundamentadas. Sendo assim, os métodos de pesquisa foram úteis para criar uma base teórica e determinar as lacunas mais evidentes sobre o assunto, permitindo contribuir para o desenvolvimento do tema no contexto brasileiro.

Por fim, sugere-se a ampliação do tema com base em pesquisas experimentais conduzidas no Brasil, associando blocos e argamassas fabricadas no país. Estudos futuros podem apresentar propostas de tabelas de dimensionamento e parâmetros de resistência pós-incêndio, visando o início do processo de elaboração de uma norma técnica específica. Em paralelo, destaca-se também a necessidade de investigações voltadas especificamente ao contexto maranhense, que carece tanto de uma norma nacional quanto de protocolos técnicos para avaliação da alvenaria estrutural após a ação do fogo, considerando que grande parte das edificações residenciais executadas, principalmente no âmbito de programas de habitação social, utiliza sistemas de alvenaria estrutural.

REFERÊNCIAS

- 50 ANOS DO INCÊNDIO DO JOELMA: um trauma na capital paulista.** *Correio Braziliense*, Brasília, 2 fev. 2024. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/webstories/flipar/2024/02/6796145-50-anos-do-incendio-do-joelma-um-trauma-na-capital-paulista.html>. Acesso em: 15 out. 2025.
- ALBA-RODRÍGUEZ, M. D. *et al.* **Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment.** *Environmental Impact Assessment Review*, v. 66, p. 115-126, 2017. DOI: 10.1016/j.eiar.2017.06.002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA – **Manual Técnico de Alvenaria.** São Paulo, ABCI/PROJETO, 1990. 280p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628: componentes construtivos estruturais: determinação da resistência ao fogo.** Rio de Janeiro, 2001a
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.** Rio de Janeiro, 2024a.
- AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3700-2011: Masonry Structures.** Sydney, 2011
- BHALLA, Suresh; TULI, Suneet; ARORA, Rajan. **Defect detection in concrete structures using thermal imaging techniques.** *Experimental Techniques*, v. 35, n. 4, p. 39-43, 2011.
- BUCHANAN, Andrew Hamilton.; ABU, Anthony Kwabena. **Structural Design for Fire Safety.** 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2017. 39 p.
- CAMACHO, Jefferson Sidney. **Alvenaria estrutural não-armada. Parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes.** 1986. Dissertação (Mestrado) – UFRGS, Porto Alegre, ago. 1986.
- CAMACHO, Jefferson Sidney. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** Ilha Solteira: NEPAE/UNESP, 2006.
- CAPUZZO NETO, Valentim. **Estudo teórico e experimental da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais.** 2000. 11p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- CARVALHO, Paulo Roberto de Oliveira; LEAL, Davi Fagundes; MUNAIAR, Jorge. **Análise numérica térmica da alvenaria estrutural em situação de incêndio: isolamento térmico entre ambientes.** *Ambiente Construído*, v. 21, n. 4, p. 65-87, 2021.

CASACOR EXPLICA. **O que é alvenaria estrutural: veja benefícios e aplicações.** CASACOR, [S. l.], 10 abr. 2025. Disponível em: <https://casacor.abril.com.br/pt-BR/noticias/casacor-explica/o-que-e-alvenaria-estrutural-veja-beneficios-e-aplicacoes>. Acesso em: 30 out. 2025.

CHO, Hae-Chang; LEE, Deuck Hang; HYUNJIN, Ju; PARK, Hyun-Cheol; KIM, Heung-Youl; KIM, Kang Su. **Fire damage assessment of reinforced concrete structures using fuzzy theory.** Applied Sciences, v. 7, n. 5, p. 518, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE PERNAMBUCO - CBMPE. Ofício nº 146/14-DIEOp/DIM/CBMPE, Informações Estatísticas. Recife, 2014.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Norma Técnica n. 08/2012: Segurança Estrutural nas Edificações – Resistência ao Fogo dos Elementos de Construção.** Goiás, 2012.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Norma Técnica n. 09/2010: Segurança Contra dos Elementos de Construção.** Espírito Santo, 2010.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Norma Técnica n. 2-19/2019: Segurança Estrutural Contra Incêndio – Resistência ao Fogo dos Elementos de Construção.** Rio de Janeiro, 2019.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio. **Seminário Internacional NUTAU: Tecnologia de Durabilidade**, 2006.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. **Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio.** 2006. 5 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340682840>. Acesso em: 18 out. 2025.

DIG FIRE. **O que é Tetraedro do Fogo e sua Importância na Segurança.** 2024. Disponível em: <https://digfire.com.br/o-que-e-tetraedro-do-fogo-importancia/>. Acesso em: 18 out. 2025.

DUPIM, Rafael Henrique. **Análise da resistência residual de compressão de blocos, prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto submetidos à situação de incêndio.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 6: EN 2005- 1.2: design of masonry structures: part 1-2: general rules: structural fire design.** Brussels, 2005.

FERNANDES NETO, José Anchiêta Damasceno. **Estudo experimental do comportamento de elementos de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em situação de incêndio.** 2020. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

FUCK, Rafael Antonio Carabagiale. **Danos estruturais pós-incêndio no concreto: métodos de avaliação em investigações de incêndios**. *Studies in Multidisciplinary Review*, v. 6, n. 2, p. e18613-e18613, 2025.

GALARÇA, Marcelo Moraes. **Transferência de calor combinando radiação e convecção no interior de dutos de geradores de vapor fumotubulares**. 2006.

GONÇALVES, Leonardo Silva *et al.* **Análise comparativa entre alvenaria convencional e alvenaria estrutural**. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 11, p. 2611-2618, 2022.

HÁ 45 anos, Andraus era consumido por incêndio. *Acervo Folha*, São Paulo, 24 fev. 2017. Disponível em: <https://acervofolha.blogfolha.uol.com.br/2017/02/24/ha-45-anos-andraus-era-consumido-por-incendio/>. Acesso em: 15 out. 2025.

INGHAM, Jeremy. **Forensic engineering of fire-damaged structures**. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, v. 162, n. 5, p. 12-17, May 2009. Thomas Telford Ltd. <http://dx.doi.org/10.1680/cien.2009.162.5.12>.
INSTITUTO DE CRIMINALÍSTICA DE PERNAMBUCO - ICPE. **Laudo Pericial de Incêndio – Caso No. 0366.3.2014**. Recife, 2014.

ISO standard fire. Heissbemessung, [S. l.], [S.D.]. Disponível em: <https://www.heissbemessung.net/Infothek/Braende/ISO-standard-fire.html>. Acesso em: 18 out. 2025.

LEITE, Helena Arias Lara. **ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO–PROPOSTA DE AVALIAÇÃO COM VISTAS À NORMATIZAÇÃO**. 2018. Tese de Doutorado. Master Thesis, University of Campinas, Campinas.

LEITE, Helena Arias Lara; MORENO JÚNIOR, Armando Lopes; TORRES, Daniel Luis. **Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 89-107, abr./jun. 2016.

MOHAMAD, Gihad. (2020). **Construções em Alvenaria Estrutural - Materiais, projeto e desempenho - Terceira edição, revisada e ampliada conforme a NBR 16868-1/2020**.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. Editora Blucher, 2021.

MOHAMAD, Gihad; MACHADO, Diego Willian Nascimento; JANTSCH, Ana Cláudia Akele. **Alvenaria estrutural: construindo o conhecimento**. Editora Blucher, 2021.

NADJAI, Ali *et al.* **Compartment masonry walls in fire situations**. *Fire Technology*, v. 42, n. 3, p. 211-231, 2006.

NGUYEN, Thê-Duong; MEFTAH, Fekri. **Behavior of Clay Hollow-Brick Masonry Walls During Fire: part 1: experimental analysis**. Fire Safety Journal, v. 52, p. 55-64, 2012.

OLIVEIRA, Romilde Almeida de. **Parecer Técnico Ed. Solar Princesa Danielle**, Recife, 2014.

ONO, Rosaria. **Parâmetros para a garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos**. Ambiente Construído, v. 7, n. ja/mar. 2007, p. 97-113, 2007. Acesso em: 15 out. 2025.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica no 08/2011: resistência ao fogo dos elementos de construção**. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011

POLLUM, Jessica *et al.* **A segurança contra incêndio em edificações históricas**. 2016. 54 p.

RIGÃO, Alessandro Onofre. **Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SILVA, Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros; Ó, Mateus Bruno da Silva. **Dimensionamento de alvenaria estrutural de um edifício multi-pavimentos em situação de incêndio: normatização nacional x internacional**. Revista de Engenharia Civil IMED. 9. 1. 10.18256/2358-6508. 2022.v9i2.3982, 2023.

SILVA, Marcelo Lima; CORRÊA, Cristiano; OLIVEIRA, Romilde Almeida de. **Risco de colapso em caso de Incêndio em Edifícios de Alvenaria resistente do tipo “Prédio Caixão”**. Revista Flammae, v. 1, n. 2, p. 28-54, 2015.

TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José Martins. **Alvenaria estrutural**. Editora Blucher, 2010.

WANG, Yi *et al.* **Experimental Study of Thermally Damaged Concrete under a Hygrothermal Environment by Using a Combined Infrared Thermal Imaging and Ultrasonic Pulse Velocity Method**. Materials, v. 16, n. 3, p. 1040, 2023.

WRÓBLEWSKA, Julia; KOWALSKI, Robert. **Assessing concrete strength in fire-damaged structures**. Construction and Building Materials, v. 254, p. 119122, 2020.