

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**TAMARA LOURDES RESENDE**

**ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM  
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: NORMATIVAS UTILIZADAS**

**FORMIGA – MG**

**2022**

TAMARA LOURDES RESENDE

ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM  
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: NORMATIVAS UTILIZADAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como  
requisito parcial para obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Kátia Daniela Ribeiro.

FORMIGA – MG

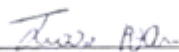
2022

Tamara Lourdes Resende

ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E ALVENARIA ESTRUTURAL EM  
SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: NORMATIVAS UTILIZADAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais

Orientador



---

Prof.ª. Dra. Kátia Daniela Ribeiro

UNIFOR - MG



---

Prof. Dr. Ronan Souza Sales

UNIFOR - MG

Formiga, 22 de junho de 2022.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me guiar até aqui.

Agradeço aos meus pais, José Roberto e Claudiana, e ao meu irmão Stênio, por estarem sempre comigo, me incentivando e sendo minha base em todas as etapas da minha vida.

Agradeço, também, aos meus orientadores Prof.<sup>a</sup> Dra. Kátia Daniela Ribeiro e Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais, por todo apoio e confiança na elaboração deste trabalho.

Um agradecimento especial aos professores do UNIFOR-MG, por todo o conhecimento transmitido durante essa trajetória.

Agradeço a todos os meus amigos que estiveram comigo nessa jornada, apoiando e vibrando com cada conquista.

*“Que os vossos esforços desafiem as  
impossibilidades, lembrai-vos de que as  
grandes coisas do homem foram  
conquistadas do que parecia impossível.”*

Charles Chaplin

## RESUMO

As estruturas expostas à ação do fogo sofrem transformações caracterizadas pela degradação da resistência e rigidez dos materiais constituintes e pelas deformações introduzidas pela correspondente variação de temperatura. Sendo assim, a verificação do dimensionamento de estruturas para situação de incêndio é um tema de extrema importância, porém, é pouco difundido e aplicado em meio aos projetistas brasileiros. Isso ocorre devido à falta de fiscalização ou à carência das normativas nacionais acerca do assunto ou, ainda, por considerar que este dimensionamento elevará os custos da obra. No caso da alvenaria estrutural, ainda não há uma norma brasileira que regulamente o seu dimensionamento para situações de incêndio. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o tema e abordar as normas existentes para dimensionar estruturas de concreto armado e alvenaria estrutural em situação de incêndio. Foram abordados os conceitos para incêndio e, em seguida, apresentados os métodos construtivos e suas características mecânicas e térmicas. Por fim, discorreu-se pelas legislações existentes e foi apontada a inviabilidade da aplicação de normativas internacionais no dimensionamento de alvenaria estrutural em situações de incêndio para o Brasil.

Palavras-chave: Projeto estrutural, Normas técnicas, Fogo.

## **ABSTRACT**

Structures exposed to the action of fire undergo transformations characterized by the degradation of the strength and rigidity of the constituent materials and by the deformations introduced by the corresponding temperature variation. The verification of the dimensioning of structures for fire situation is a topic of extreme importance, being little known and applied among Brazilian designers. This is due to the lack of supervision or the lack of national regulations on the subject or because it is considered that this dimensioning will increase the costs of the work. In the case of structural masonry, there is still no Brazilian standard that regulates its design for fire situations. This work aimed to present the theme and address the existing standards for dimensioning reinforced concrete structures and structural masonry in a fire situation. The concepts for fire were approached and then the construction methods and their mechanical and thermal characteristics were presented. Finally, the existing legislation was discussed and the impossibility of applying international standards in the design of structural masonry in fire situations for Brazil was pointed out.

Keywords: Structural design, Technical standards, Fire.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	INCÊNDIO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	13
3.1	Conceito de incêndio.....	17
3.2	Calor.....	17
3.3	Triângulo e tetraedro do fogo.....	17
3.4	Formas de transferência de calor.....	19
3.4.1	Convecção.....	20
3.4.2	Radiação.....	20
3.4.3	Condução.....	20
3.5	Propagação do fogo.....	21
3.6	Fases do incêndio padrão.....	21
3.7	Carga de incêndio.....	23
3.8	Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).....	25
4	CONCRETO ARMADO.....	28
4.1	Propriedades térmicas do concreto.....	28
4.1.1	Massa específica.....	29
4.1.2	Condutividade térmica.....	29
4.1.3	Alongamento térmico.....	29
4.1.4	Calor específico.....	30
4.2	Propriedades térmicas do aço.....	30
4.3	Propriedades mecânicas do concreto.....	30
4.3.1	Resistência à compressão.....	31
4.3.2	Resistência à tração.....	31



4.3.3	Módulo de elasticidade.....	32
4.3.4	Relação tensão-deformação.....	32
4.3.4.1	Compressão .....	33
4.3.4.2	Tração	33
4.4	Propriedades mecânicas do aço.....	34
4.4.1	Resistência à tração .....	34
4.4.2	Módulo de elasticidade.....	35
4.4.3	Relação tensão-deformação.....	36
5	ALVENARIA ESTRUTURAL.....	38
5.1	Características dos principais componentes da alvenaria estrutural .....	38
5.1.1	Unidades.....	39
5.1.2	Argamassa .....	39
5.1.3	Graute .....	40
5.1.4	Armadura.....	40
5.2	Resistência à compressão da alvenaria.....	40
5.3	Módulo de elasticidade da alvenaria .....	41
5.4	Comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio.....	41
6	LEGISLAÇÕES PRESCRITIVAS PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO .....	44
6.1	Normativas nacionais .....	44
6.1.1	NBR 14432:2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações .....	44
6.1.2	NBR 15200:2012 – Projeto de estruturas de concreto em situações de incêndio .....	45
6.1.3	Instrução Técnica nº 08/2019: Segurança estrutural contra incêndio .....	46
6.2	Normativas internacionais.....	46
6.2.1	Norma europeia: Eurocode 6 – EN 1996-1.2 (CEN, 2005) .....	47
6.2.1.1	Método tabular .....	48
6.2.1.2	Método analítico simplificado.....	49

6.2.2	Norma americana - ACI/TMS 216.1-14.....	50
6.2.2.1	Espessura equivalente mínima das paredes.....	50
6.2.3	Código Australiano: Standards Australia AS3700 - Masonry Structures .....	52
6.3	Análise comparativa das normativas internacionais para dimensionamento de alvenaria estrutural .....	53
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	55
	REFERÊNCIAS .....	57
	ANEXO A - Tempos requeridos de resistência ao fogo .....	66
	ANEXO B - Tabela de resistência ao fogo para alvenaria.....	67

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, grandes incêndios marcaram a história em todo o mundo. Tais acontecimentos despertaram a necessidade das autoridades internacionais em se criar normas de verificação das estruturas quando submetidas a situações de incêndio.

No Brasil, até meados da 1970, não haviam sido registrados grandes incêndios, sendo as normativas nacionais acerca do assunto, até então, bastante esparsas, presentes nos Códigos de Obras municipais, porém sem referências de estudos internacionais. (LARA, 2016)

Segundo Seito e Del Carlo (1995), os projetistas se baseavam em diretrizes publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e pelo Corpo de Bombeiros, as quais regulamentavam predominantemente sobre a produção e instalação de extintores de incêndio e hidrantes, bem como a sinalização desses elementos.

Somente após o registro de grandes incêndios, como no Edifício Andraus e no Edifício Joelma, na década de 70, é que se acelerou o processo de criação de normas técnicas e a revisão das normas brasileiras já existentes sobre o assunto. (SEITO; DEL CARLO, 1995).

Dessa forma, constata-se que as normativas brasileiras são bem recentes em relação ao tema. Mesmo passados os anos, as pesquisas ainda são escassas e as normas são bastante simplificadas quando comparadas às normativas vigentes em países onde o tema de segurança contra incêndio é bem desenvolvido e aplicado.

O incêndio corresponde a uma diminuição das propriedades mecânicas dos materiais, devido ao aumento da temperatura, promovendo o acréscimo de cargas que não foram previstas em projeto. Portanto, durante um determinado tempo, as edificações precisam oferecer, em situação de incêndio, a segurança estrutural apropriada, mantendo a estabilidade da estrutura frente aos esforços solicitantes gerados pela ação do calor e do fogo.

Sendo assim, a edificação deve cumprir com os parâmetros de desempenho, de maneira a evitar que os materiais de acabamento e revestimento contribuam para com o incêndio, além de retardar ou evitar que o incêndio se propague e evitar o colapso da estrutura, mantendo sua estabilidade por um dado tempo.

Os procedimentos adotados para o dimensionamento de elementos estruturais em situação de incêndio abrangem a verificação da resistência mecânica, da estanqueidade e do isolamento térmico. Para cumprir esses requisitos, a estrutura não pode chegar à ruptura, não deve apresentar, na face não exposta, uma elevação de temperatura acima da temperatura inicial, superior em média a 140°C e em qualquer ponto a 180°C, e não deve ter aberturas e trincas suficientes para a passagem de chamas ou gases.

Em relação ao tempo em que a edificação precisa se manter resistente ao fogo, deve-se ater aos limites de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) estabelecidos pela Norma Brasileira Regulamentadora NBR 14432 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2001), conforme o uso e ocupação do edifício.

Na normatização nacional de estruturas em situação de incêndio, destacam-se a NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos (ABNT, 2001), a NBR 15200 – Projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio (ABNT, 2012) e a NBR 14323 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio (ABNT, 2013), todas relacionadas a estruturas de concreto armado.

Em relação à alvenaria estrutural em situação de incêndio, ainda não se possui uma normativa nacional acerca do tema. Por isso, o Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, por meio de sua Instrução Técnica – IT 08/2019, estabelece suas exigências e recomenda que, quando necessário, seja empregado o Eurocode 6 (*EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION* – CEN, 2005) ou norma similar reconhecida internacionalmente.

Entretanto, o uso de normativas internacionais no dimensionamento de alvenaria estrutural apresenta alguns parâmetros que devem ser analisados. Esse método construtivo é reconhecido como uma solução eficiente economicamente e tem sido muito utilizado em construções brasileiras. Dessa forma, a elaboração de uma normatização nacional é de grande relevância. Outro ponto a ser considerado está nos critérios estabelecidos pelas normas internacionais, que, na maioria das vezes, devem ser adaptados à realidade brasileira, devido à variação na geometria dos blocos, nos revestimentos utilizados e na espessura equivalente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Discorrer acerca do dimensionamento de estruturas em concreto armado e alvenaria estrutural para situações de incêndio, com ênfase nas normativas internacionais utilizadas para esse fim.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Apresentar os métodos construtivos: concreto armado e alvenaria estrutural;
- Apresentar as referências normativas sobre o dimensionamento de estruturas em situações de incêndio para as técnicas construtivas em concreto armado e alvenaria estrutural.
- Analisar comparativamente as normativas internacionais para dimensionar alvenaria estrutural em situação de incêndio.

### 3 INCÊNDIO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Até meados de 1970, os casos de grandes incêndios no Brasil eram pouco comuns. Diante desse histórico, as normativas referentes à segurança contra incêndio eram esparsas, presentes nos Códigos de Obras municipais, porém sem referências de estudos internacionais, onde a ocorrência de grandes incêndios era maior. Como exceção, havia apenas o dimensionamento da largura das escadas e saídas de incêndio, bem como da incombustibilidade de estruturas de prédios elevados e de escadas. (LARA, 2016)

Segundo Seito e Del Carlo (1995), até a ocorrência das grandes tragédias com incêndio no país, os projetistas eram guiados por diretrizes contidas na ABNT, a qual regulamentava mais os assuntos ligados à produção de extintores de incêndio. Ademais, o Corpo de Bombeiros possuía algumas normas de regulamentação, oriundas de seguradoras, voltadas em geral para obrigatoriedade de medidas de combate a incêndio, como a instalação de extintores e hidrantes e a sinalização desses elementos.

Com a inexistência da normatização e especificação para a segurança das estruturas em condições de incêndio, a ocorrência de tragédias era inevitável. Sendo assim, serão apresentados a seguir alguns casos de incêndios que marcaram a história brasileira e provocaram expressivas mudanças na sociedade. (SEITO; DEL CARLO, 1995).

- Indústria Volkswagen do Brasil

Até dezembro de 1970, nenhuma ocorrência de grande incêndio em edificações era registrada no Brasil. Entretanto, no dia 18 de dezembro do referido ano, na cidade de São Bernardo do Campo - SP, um incêndio na Ala 13 da montadora Volkswagen consumiu todo o prédio. Houve uma vítima fatal e a edificação teve perda total. Essa tragédia apontou um novo tipo de conflagração para as autoridades brasileiras. (LARA, 2016).

- Edifício Andraus (Av. São João, São Paulo, SP)

No dia 24 de fevereiro de 1972, o edifício Andraus, na cidade de São Paulo, foi tomado por um grande incêndio (FIG. 1). Era um edifício comercial e de serviços com 31 andares e com estrutura em concreto armado. A causa do incêndio foi desconhecida, mas suspeitou-se de uma sobrecarga no sistema elétrico que deu início ao fogo e se espalhou por toda a edificação. (MAXIMIANO, 2018).

Figura 1 – Edifício Andraus em chamas.



Fonte: Maximiano, 2018.

A tragédia resultou em 16 mortos e 336 feridos. O prédio contava com um heliporto e graças a ele o desastre não foi maior. Isso porque as pessoas que estavam nos andares que tinham acesso ao terraço se deslocaram para a cobertura e ficaram protegidas pela laje até que o resgate chegasse. Entretanto, algumas pessoas, em pânico, chegaram a se atirar do prédio. O evento foi televisionado e chocou os telespectadores. (LARA, 2016).

Como o caso ganhou grande repercussão, foram criados em São Paulo grupos de trabalho, entretanto foram paralisados pouco tempo depois. (MAXIMIANO, 2018).

- Edifício Joelma

Em 1º de fevereiro de 1974, um incêndio iniciado em um aparelho de ar condicionado no 12º andar do Edifício Joelma, em São Paulo, se propagou rapidamente pelo prédio, destruindo totalmente as suas dependências internas, ocasionando 189 mortes e 300 feridos. Do 12º ao 25º andar, todo o conteúdo material de acabamento interno e combustível foi consumido pelo fogo (FIG. 2). (PEREIRA, 2007).

Figura 2 – Edifício Joelma em chamas.



Fonte: Pereira, 2007.

O incêndio protagonizou cenas chocantes. Os ocupantes do edifício, na tentativa de sobreviver, tentaram se deslocar para a cobertura semelhante ao ocorrido no edifício Andraus, entretanto morreram queimadas pois o prédio não contava com o heliporto e a estrutura da laje não suportava o peso do helicóptero. Outros, na tentativa de escapar do calor intenso, pularam para a morte. (LIASCH, 2013).

A construção básica do edifício era resistente ao fogo, porém o seu acabamento interno era constituído de materiais combustíveis, o que acelerou o alastramento das chamas pelo edifício. Além disso, constatou-se que o Edifício Joelma não possuía nenhuma condição de segurança para a sobrevivência em caso de incêndio (PEREIRA, 2007).

- Boate Kiss

A boate Kiss era uma casa noturna situada em Santa Maria, no Rio Grande do Sul que recebia atrações musicais e era frequentada pelo público jovem. No dia 27 de janeiro de 2013, segundo informações da 1ª Delegacia de Polícia de Santa Maria – RS, por volta das 03:00 horas, iniciou-se um incêndio nas dependências da boate (FIG. 3). A tragédia ocasionou 241 mortes,



todas por asfixia devido à fumaça do incêndio, além de 123 vítimas feridas e de várias outras pessoas que foram intoxicadas pela fumaça (RIO GRANDE DO SUL, 2013).

Figura 3 – Boate Kiss após o incêndio.



Fonte: Rio Grande do Sul, 2013.

A causa do incêndio foi a utilização de um fogo de artifício no interior do ambiente. Com a ativação do produto, uma faísca atingiu o forro de isolamento acústico, que era composto por uma espuma de poliuretano altamente inflamável. Dessa forma, houve uma rápida expansão do fogo e uma alta liberação de fumaça negra e gases tóxicos. (ATIYEH, 2013).

O local apresentava diversas irregularidades oriundas de alterações e reformas que ocorreram após a vistoria e emissão do alvará do Corpo de Bombeiros. Mesmo assim, de acordo com a perícia, foram encontradas 11 falhas gravíssimas que não foram detectadas pela unidade no ato da vistoria. Um dos maiores agravantes do incêndio foi a incrementação do sistema de isolamento com mantas de espuma piramidal, um material inapropriado que foi aplicado de forma amadora pelos próprios funcionários do lugar, mesmo sem a aprovação do responsável técnico. Ademais, ainda houve a redução das saídas de emergência e o fechamento de janelas com lâ de vidro, o que colaborou significativamente para o afunilamento na saída, impedindo a evacuação das pessoas (RIO GRANDE DO SUL, 2013).

### 3.1 Conceito de incêndio

Teixeira Júnior (2018) cita que a explicação mais antiga e pertinente para a formação do fogo seria através da presença simultânea de três elementos essenciais: material combustível, oxigênio e calor. A incidência do calor na superfície do material ocasiona a sua decomposição e a posterior geração de gases que reagem com o oxigênio e produzem fumaça. Os gases produzidos, dependendo da sua quantidade, podem gerar grandes danos à saúde, sendo irreversíveis em alguns casos.

Segundo Carvalho et al. (2006, p.6), incêndio “é o fogo que foge ao controle do homem, queimando tudo aquilo que a ele não é destinado queimar; capaz de produzir danos ao patrimônio e à vida por ação das chamas, do calor e da fumaça.”

De acordo com Pannoni (2007), o incêndio passa por uma fase de desenvolvimento, onde a liberação de calor é elevada, e depois pela fase de regressão, em que a temperatura decresce. Conforme a natureza do material e o modo de inflamação, o desenvolvimento desse processo será mais ou menos rápido.

### 3.2 Calor

O calor é considerado como o responsável pelo início e propagação do incêndio (BRITZ; CARVALHO; HELENE, 2020). É fator que promove o aumento da temperatura, através da transformação de energia, que pode ocorrer por um processo físico ou químico. A alteração da temperatura pode ocasionar em mudanças nos estados químicos e físicos da matéria e até mesmo alterar o volume do corpo aquecido. Ademais, pode provocar ainda efeitos fisiológicos como desidratação, lesão no aparelho respiratório, queimaduras, insolação, entre outras (FERREIRA, 2020).

### 3.3 Triângulo e tetraedro do fogo

Os componentes essenciais do fogo são: o comburente, o combustível e a energia de ativação. Esses elementos juntos formam o chamado Triângulo de Fogo, representado na FIG. 4.

O triângulo de fogo foi um método bastante usado em técnicas de combate e prevenção ao incêndio, isso devido ao fato de que, ao isolar ou eliminar qualquer um dos componentes da tríade, a geração do fogo será impedida. (AITA; PEIXOTO, 2012).

Figura 4 – Triângulo de Fogo.



Fonte: Aita e Peixoto, 2012.

Entretanto, no decorrer dos anos, foram desenvolvidos estudos a respeito do processo de combustão do fogo e concluiu-se que a teoria do Triângulo de Fogo era incompleta. Isso devido ao fato de que, para explicar alguns fenômenos anômalos, foi necessário um estudo no qual descobriu-se o agente extintor “halon”. Essa descoberta desencadeou a mudança da teoria, sendo conhecida atualmente como Tetraedro do Fogo, sendo agregada ao triângulo a reação em cadeia, a fim de que a queima se torne auto sustentável (FIG. 5). (SILVA, 2017).

Figura 5 – Tetraedro de fogo.



Fonte: Aita e Peixoto, 2012.

Ao se analisar as diferentes situações onde estes elementos estão presentes simultaneamente, verifica-se que nem sempre ocorrerá o processo de ignição, talvez devido à insuficiência de calor e energia ou pela desproporcionalidade dos elementos entre si. Em alguns

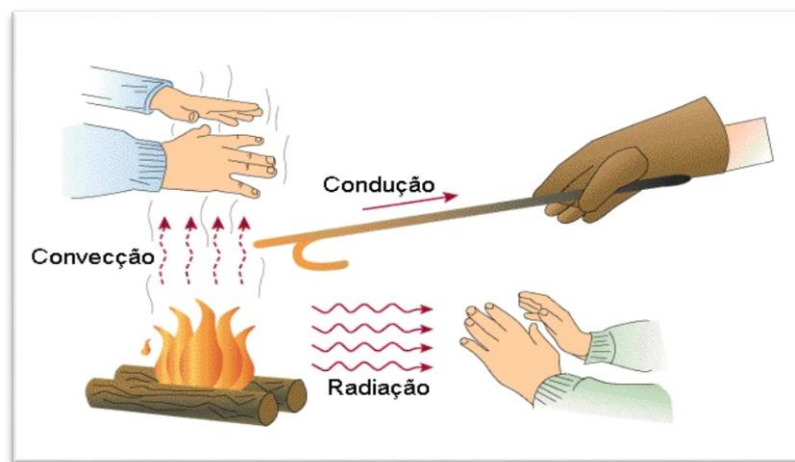
casos, pode até ocorrer o início do fogo, porém, devido à sua posição em relação ao ponto de chama ou pela insuficiência de matéria combustível, esse foco poderá apagar por si mesmo e não se desenvolverá um incêndio no compartimento. (MENDONÇA, 2014; PYNE, 2017).

### 3.4 Formas de transferência de calor

Um foco de incêndio depende de diversos fatores para sua evolução ou se distinguir para um grande incêndio, tais como: localização, quantidade, tipo, volume, espaçamento dos materiais combustíveis na edificação, velocidade e direção do vento, fontes de ignição, características construtivas do recinto (material de construção, forma e dimensão), área e locação das aberturas para ventilação, existência de medidas de proteção ativa e passiva na edificação, entre outros. (CAMPOS; CONCEIÇÃO, 2006).

Contudo, esses fatores estão ligados à transferência de calor, que pode ocorrer de três formas fundamentais: por convecção, por radiação e por condução (FIG. 6). Geralmente, durante um incêndio, as três formas acontecem simultaneamente, entretanto, em certos instantes, uma delas é predominante. (WOOLDRIDGE; LUEBBERS, 2020).

Figura 6 – Formas de transferência de calor.



Fonte: Campos e Conceição, 2006.

A propagação do calor ocorre de sistemas com temperaturas mais altas para aqueles com temperaturas mais baixas. Por exemplo, entre dois objetos, o mais frio absorverá o calor até que ambos estejam na mesma temperatura. (CAMPOS; CONCEIÇÃO, 2006).

### 3.4.1 Convecção

A transferência de calor por convecção refere-se à transferência de energia que irá ocorrer entre um fluido e uma superfície sólida. A convecção ocorre por causa do movimento de fluidos (gases, vapores ou líquidos) e da existência de um gradiente de temperatura. Por exemplo, ao aquecer água em um recipiente de vidro, observa-se um movimento dentro do líquido de baixo para cima. Isso acontece devido à expansão da água quando é aquecida, o que a torna menos densa e provoca o movimento para cima. De maneira análoga, durante um incêndio, os gases obedecem ao mesmo princípio, pois o ar aquecido expande e tende a subir para as partes mais altas do ambiente. Dessa forma, a convecção é considerada a principal forma de propagação de calor para os andares superiores num edifício de múltiplos andares. (SCHMIDT; HENDERSON; WOLGEMUTH, 1996)

### 3.4.2 Radiação

Segundo Quites e Lia (2005, p. 9), a transferência de calor por radiação “pode ser definida como o processo pelo qual o calor é transferido de uma superfície em alta temperatura para uma superfície em temperatura mais baixa, quando tais estão separadas no espaço, ainda que exista vácuo entre elas”.

A transferência ocorre na forma de ondas eletromagnéticas, emitidas por superfícies a uma temperatura finita. Essas ondas eletromagnéticas se propagam em todas as direções e, conforme a distância dos corpos estão à fonte de calor, altera-se a intensidade em que são atingidos. Além disso, a radiação não necessita da presença de um meio material para se propagar, sendo até mais eficiente no vácuo. (QUITES; LIA, 2005).

### 3.4.3 Condução

De acordo com Coelho (2016, p. 19), a transferência de calor por condução “ocorre em uma substância estática devido única e exclusivamente a um gradiente de temperatura nela existente”.

A substância é qualificada como estática para indicar que a condução ocorre sem que haja movimento macroscópico relativo entre as partículas que a constituem. Dessa forma, a transferência de calor se dá pela transferência de energia (de vibração) de partículas com mais

energia para as com menos energia devido às suas interações, onde o calor passa de partícula a partícula, mas nenhuma delas é transportada com o calor. (ZABEU, 2011).

### 3.5 Propagação do fogo

Em geral, a diferença de pequenos e grandes incêndios pode ser atribuída à propagação do fogo. Essa afirmação é baseada na análise e experiência de casos reais. Como exemplo, pode-se citar o desastre ocorrido no Edifício Andraus em São Paulo, onde o incêndio iniciou no 4º andar e se alastrou pelos 31 pavimentos (lojas e escritórios), propagando-se em todos os andares. A propagação se deu principalmente pelas fachadas e a radiação térmica foi tão alta que atingiu os edifícios vizinhos. (CUOGH, 2006).

Para melhor compreensão, deve-se observar os três tipos de propagação na combustão dos materiais: a propagação transversal, a propagação superficial e a pós-combustão, que são definidas por Seito et al. (2008) como:

- Propagação transversal: a combustão se desenvolve no sentido da profundidade, que se realiza por condução, e que aos poucos vai alastrando pelas camadas sucessivas do material;
- Propagação superficial: a combustão se alastra pela superfície do material;
- Pós-combustão: é a junção de fenômenos complexos que se observam geralmente em materiais com estruturas alveolares após a combustão viva ter sido cessada.

Em situações onde os materiais possuem, em sua massa, elevadas quantidades de ar, a combustão ocorre lentamente pela interação direta do oxigênio com o combustível sólido, com produção de monóxido de carbono (*smoldering*) e sem chamas. (CUOGH, 2006).

### 3.6 Fases do incêndio padrão

A NBR 14432 (ABNT, 2001) classifica o incêndio como natural ou padrão, sendo:

- Incêndio natural: é a variação de temperatura que simula o incêndio real, função da geometria, ventilação, características térmicas dos elementos de vedação e da carga de incêndio específica.
- Incêndio padrão: aumento padronizado de temperatura em função do tempo, dada pela Equação 1:

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (1)$$

Em que,

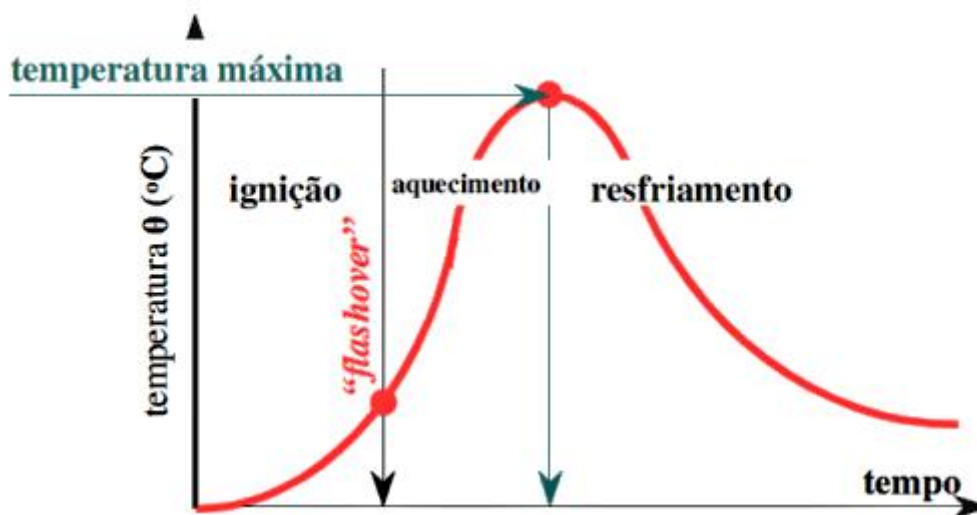
t: é o tempo, em minutos;

$\theta_0$ : é a temperatura do ambiente antes do início do aquecimento, em °C, geralmente tomada igual a 20°C;

$\theta_g$ : é a temperatura dos gases, em °C, no instante t.

O desenvolvimento de um incêndio genérico pode ser ilustrado através de curvas que consideram a elevação da temperatura de acordo com o tempo de exposição, chamadas de curvas de temperatura-tempo, as quais sofrem oscilações na sua forma devido ao tempo de duração de cada fase, dependendo dos tipos, formas e quantidades de materiais combustíveis no ambiente (FIG. 7) (BRENTANO, 2015). Essas curvas permitem a estimativa das temperaturas atingidas pelos gases no ambiente em situação de incêndio. (COSTA; SILVA, 2004).

Figura 7 – Curva da evolução de um incêndio



Fonte: Carlos, 2020.

Dessa forma, o incêndio real é composto por três fases, as quais compõem o ciclo característico de evolução de um incêndio, sendo elas: ignição, fase de aquecimento e fase de resfriamento. (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS, 2014).

A ignição corresponde ao início da inflamação, é a fase pré-*flashover*, quando as características do compartimento ainda não estão influenciando, conhecido como inflamação

generalizada, a qual não oferece riscos ao patrimônio e a vida humana. Nesta etapa, há a elevação da temperatura do ambiente e dos materiais combustíveis através da convecção, condução e irradiação, podendo ocasionar a ignição total do ambiente. Assim sendo, a presença de proteção ativa, hidrantes e extintores, por exemplo, são essenciais para combater o fogo por intermédio da intervenção humana. (CARLOS, 2020).

A fase de aquecimento é definida pela elevação abrupta de temperatura, que corresponde ao instante em que o *flashover* ocorre, entre 300°C e 650°C, e representa o momento em que todo o combustível no ambiente está em combustão. Essa fase é classificada como a de maior *severidade* do fogo e o risco de propagação dependerá das medidas passivas existentes, compartimentações horizontais e verticais, por exemplo. (BRENTANO, 2015).

Por último, a fase de resfriamento refere-se ao momento em que todo o material combustível foi extinto, portanto, o fogo e a temperatura diminuem sucessivamente. (COSTA; SILVA, 2004).

Em situações de incêndios compartimentados, a temperatura dos gases pode chegar e ultrapassar 1000°C. (PASQUALOTTO, 2020).

### **3.7 Carga de incêndio**

A carga de incêndio é definida por Ferreira (2020) como todo material combustível de uma edificação ou parte dela, dado em termos de massa média de materiais combustíveis por unidade de área, onde é calculada a liberação de calor conforme o valor calorífico dos materiais, incluindo divisórias, móveis, acabamento de pisos, paredes e forros, cortinas e outros. Essa carga combustível é expressa em k ou MJ/m<sup>2</sup>.

A densidade de carga de incêndio, amparada pelos conceitos e normatizações internacionais e nacionais, é de grande relevância na análise e aplicação de riscos de incêndio (LIU; CHOW, 2014), visto que, pode ser apontada como a quantidade de energia liberada e dos estragos que podem ser ocasionados por um incêndio (MENDONÇA, 2014).

Em geral, as edificações possuem cargas de incêndio específicas de acordo com sua ocupação, como exposto na TAB. 1.

De maneira genérica, pode-se calcular a carga de incêndio das edificações conforme a Equação 2.



Tabela 1 – Cargas de incêndio específica, conforme ocupação.

OCUPAÇÃO/USO	DESCRIÇÃO	CARGA EM MJ/m <sup>2</sup>
Residencial	Apartamentos, casas, etc.	300
Serviços de hospedagem	Hotéis, motéis	500
Comercial varejista	Aparelhos domésticos	300
	Calçados	500
	Livrarias	1000
	Lojas de departamento	600
	Verduras	1000
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Bancos	300
	Escritórios	700
Educacional e cultura física	Academias, escolas	300
Locais de reunião de público	Bibliotecas	2000
	Restaurantes	300
	Cinemas	600
Serviços automotivos	Oficinas	300
Serviços de saúde e institucionais	Hospitais	300
	Plásticos	1000
	Vidros	700
	Caixotes, barris	1000
	Cereais	1700
	Espumas, resinas	3000
	Tintas e solventes	4000
Industrial	Pneus	700
	Tratamento de madeira	3000

Fonte: Fernandes, 2010.

$$q_{fi} = \frac{\sum M_i H_i}{A_f} \quad (2)$$

Em que,

$q_{fi}$  - Valor da carga de incêndio específica, em MJ/m<sup>2</sup>de área de piso;

$M_i$  - Massa total de cada componente i do material combustível, em quilograma. Esse valor não poderá ser excedido durante a vida útil da edificação, exceto quando houver alteração de ocupação, ocasião em que  $M_i$  deverá ser reavaliado;

$H_i$  - Potencial calorífico específico de cada componente i do material combustível, em MJ/kg, conforme TAB. 2 abaixo;

$A_f$  - Área do piso do compartimento, em m<sup>2</sup>.

Tabela 2 – Valores do potencial calorífico específico.

<b>Tipo de material</b>	<b>H (MJ/kg)</b>	<b>Tipo de material</b>	<b>H (MJ/kg)</b>
Acetona	30	Metanol	19
Acrílico	28	Monóxido de carbono	10
Algodão	18	N-Butano	45
Benzeno	40	N-Octano	44
Borracha (espuma)	37	N-Pentano	45
Borracha (tiras)	32	Palha	16
Celulose	16	Papel	17
C-Hexano	43	Petróleo	41
Couro	19	Poliacrilonitríco	30
D-glucose	15	Policarbonato	29
Epóxi	34	Poliéster	31
Etano	47	Poliestireno	39
Etanol	26	Polietileno	44
Eteno	50	Polimetilmetacrílico	24
Etino	48	Polioximetileno	15
Fibra sintética 6,6	29	Poliuretano	23
Grãos	17	Polipropileno	43
Graxa, lubrificante	41	Polivinilclorido	16
Lã	23	Propano	46
Lixo de cozinha	18	PVC	17
Madeira	19	Resina melamínica	18
Metano	50	Seda	19

Fonte: Fernandes, 2010.

### 3.8 Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)

A NBR 14432 (ABNT, 2001) conceitua o TRRF como sendo “o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio padrão”. Dessa forma, o TRRF é determinado conforme o desempenho estrutural avaliado em ensaios experimentais de elementos isolados.

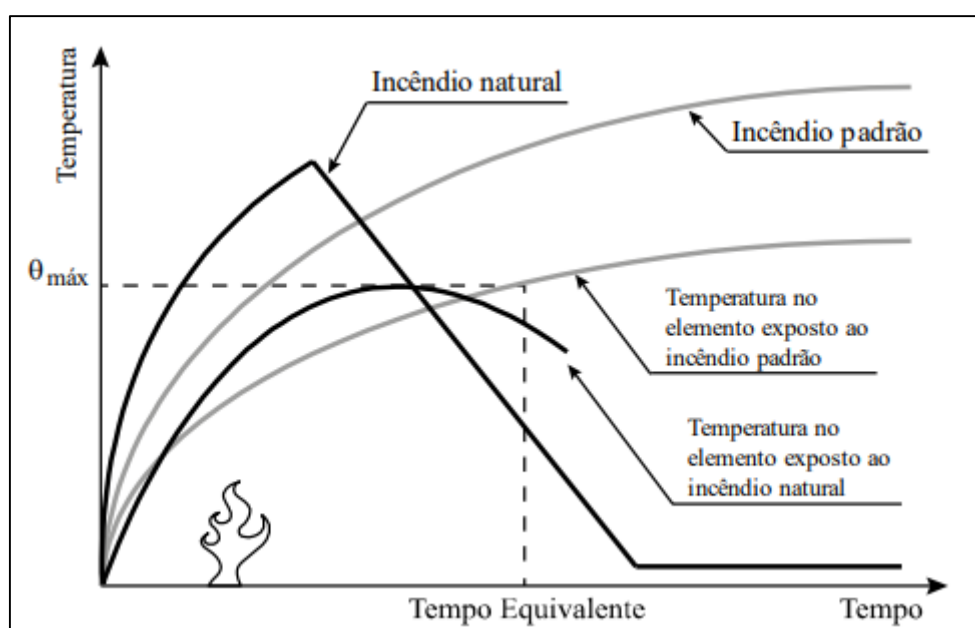
Geralmente, o TRRF é associado ao tempo de desocupação ou à duração do incêndio ou à chegada e intervenção do Corpo de Bombeiros ou brigada de incêndio. Entretanto, essa associação é equivocada, uma vez que esse valor corresponde à função do risco de incêndio e de suas consequências catastróficas advindas de uma falha estrutural. (COSTA, 2008).

A NBR 14432 (ABNT, 2001) apresenta um método tabular para encontrar o TRRF de uma edificação, como mostra o ANEXO A. Os fatores que influenciam no valor do TRRF incluem a altura da edificação, o tipo de ocupação e a carga de incêndio.

Ainda de acordo com a norma supracitada, considera-se que quando a severidade do incêndio para uma situação particular em questão apresentar-se mais branda do que foi considerada em cumprimento aos requisitos da norma, principalmente em função das condições particulares adotadas pela carga de incêndio e pela ventilação, permite-se a utilização de curvas teóricas ou experimentais de elevação de temperatura durante o incêndio que apresentem tempos equivalentes de resistência ao fogo para substituir os parâmetros estabelecidos pela NBR 14432 (ABNT, 2001).

Sendo assim, o Eurocode 1 (CEN, 2002), em seu anexo F, propõe o Método do Tempo Equivalente (MTE) como opção para determinar o TRRF. Inicialmente, o MTE foi proposto para correlação entre a máxima temperatura alcançada pelo aço em um incêndio natural e o tempo correspondente para atingir a mesma temperatura quando aquecido segundo a curva de incêndio padrão (FIG. 8). De acordo com Klein Júnior (2011), o MTE é indicado para estruturas de concreto e aço protegidas termicamente. Por isso, o Eurocode 1 permite utilizá-lo em análises de elementos de aço e concreto armado, dimensionados através de métodos tabulares ou simplificados. O MTE pode variar conforme a carga de incêndio, o grau de ventilação do compartimento de incêndio e os materiais que compõem a seção transversal do elemento.

Figura 8 – Conceito do Método do Tempo Equivalente.



Fonte: Klein Júnior, 2011.

A NBR 14432 (ABNT, 2001) ainda permite o uso de métodos de análise de risco que considerem as medidas de proteção contra incêndio (passivas ou ativas) no cálculo do TRRF. Nesse contexto, sugere utilizar o Método de Gretener ou seus sucedâneos.

Conceitua-se o Método de Gretener como um método simplificado de análise de risco, que permite estabelecer o TRRF baseado nas características geométricas do compartimento e altura do imóvel, tipo de ocupação do compartimento (intensidade da fumaça, carga de incêndio, ignição, risco de propagação do fogo, risco aos usuários), meios de proteção ativa (brigadas de incêndio, *sprinklers*, sistemas de detecção e exaustão de calor e fumaça), eficiência das ações de combate a incêndio (distância entre a edificação e o Corpo de Bombeiros). (COSTA, 2008)

Por fim, a Instrução Técnica nº 08/2019, publicada pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, apresenta um procedimento para determinar o TRRF de elementos estruturais e de compartimentação. Na Instrução Técnica, os TRRF definidos devem ser comprovados a partir de ensaios específicos de resistência ao fogo, atendendo a tabelas previamente elaboradas a partir do resultado de ensaios executados, ou, ainda, no caso de elementos estruturais, modelos matemáticos analíticos, normatizados ou nacionalmente conhecidos. O ANEXO A apresenta a tabela com os valores parametrizados de TRRF conforme a ocupação do edifício.

## 4 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um sistema estrutural comumente utilizado em construções, cuja primeira teoria consistente e realista acerca do dimensionamento de estruturas de concreto armado ocorreu no ano de 1902, com uma publicação do engenheiro alemão Edward Morsch. Através de seus estudos, surgiram as primeiras normas para cálculo e construção das peças. Além disso, uma das maiores criações em concreto armado é a treliça clássica de E. Morsch, que ainda hoje, mesmo após 100 anos, ainda é aceita (BASTOS, 2019).

“No Brasil, o desenvolvimento dessa técnica iniciou-se em 1901, com a construção de galerias de água na cidade do Rio de Janeiro. Desde então o país seguiu colecionando diversos recordes ao longo do século.” (BASTOS, 2019, p.6).

O conceito de concreto armado é, basicamente, a utilização do concreto moldado através de formas, com a introdução de uma armação ou armadura de aço em seu interior. Em alguns casos, como em fundações rasas, através de blocos, ou concreto estrutural previsto em norma, o uso da armadura pode ser dispensado, porém, nos demais casos, ela é sempre utilizada. (BORGES, 2010).

Portanto, nessas estruturas, a baixa resistência à tração do concreto simples é contornada pela associação de armaduras de aço dispostas adequadamente nas peças estruturais. (FUSCO, 2008)

Trata-se de um material consagrado tanto na construção civil brasileira, quanto na internacional. Além de suas propriedades mecânicas de resistência, as estruturas de concreto armado ainda apresentam alta segurança em situações de incêndios. Isso devido a seus elementos estruturais terem fator de massividade baixo, ter baixa condutividade térmica, ser incombustível e não exalar gases tóxicos sob a ação do fogo. (BORGES, 2010).

### 4.1 Propriedades térmicas do concreto

As propriedades térmicas relevantes para as análises termoestruturais e térmicas do concreto são: calor específico, condutividade térmica, massa específica e expansão térmica (FERREIRA; SILVA FILHO; REAL, 2020), sendo as três primeiras essenciais para a análise térmica da seção de elementos estruturais em concreto armado.

#### 4.1.1 Massa específica

De acordo com Lara (2016), a massa específica do concreto varia conforme a massa específica dos agregados e do teor de umidade livre presente em um intervalo de  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 150^{\circ}\text{C}$  e pode ser determinada por equações disponíveis na publicação da referida autora.

O concreto endurecido, quando submetido a elevadas temperaturas, sofre uma ligeira redução de sua massa específica devido à evaporação da água livre e, posteriormente, pelo aumento do volume por causa da expansão térmica. Essa expansão acontece em decorrência às transformações mineralógicas que os agregados sofrem acima dos  $500^{\circ}\text{C}$ . (LARA, 2016).

#### 4.1.2 Condutividade térmica

Sousa e Silva (2015) citam que a condutividade térmica está diretamente relacionada com as propriedades dos agregados e que pode também ser influenciada pela porosidade da pasta de cimento. A condutividade térmica do concreto de densidade normal com agregado calcário ou silicoso pode ser encontrada, para  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 1200^{\circ}\text{C}$ , pela NBR 15200 (ABNT, 2012) e pelo Eurocode 2 (CEN, 2004), sendo importante quantificar o valor mínimo adequado às estruturas de concreto bem como o valor máximo adequado às estruturas mistas de concreto e aço.

Entretanto, o valor mínimo para a condutividade térmica do concreto, de maneira simplificada, pode ser definido constante e igual a  $1,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . (COSTA, 2008).

#### 4.1.3 Alongamento térmico

O alongamento (ou expansão) térmico é relevante para a análise dos efeitos de segunda ordem devido às restrições à dilatação térmica, sendo recomendada sua determinação para a modelagem de pórticos (*frames*). Ela pode ser necessária à análise de elementos isolados, típicas de métodos simplificados de cálculo. (LARA, 2016)

A expansão térmica do concreto com agregados calcários pode ser calculada por equações apresentadas pela NBR 15200 (ABNT, 2012), enquanto a do concreto com agregados silicosos pode ser obtida conforme equações disponibilizadas na referida norma.

#### 4.1.4 Calor específico

O calor específico é a propriedade que estabelece a quantidade de energia gasta para que a temperatura de uma unidade de massa de concreto se eleve em um grau Celsius. Independente do agregado usado, esse parâmetro relaciona o teor de umidade à temperatura do concreto (ALMEIDA, 2018).

O Eurocode 2 (CEN, 2004) fornece os valores de pico para o calor específico do concreto com umidades de 0%, 1,5%, e 3%. Para obter os valores intermediários, basta interpolar linearmente os dados da TAB. 3.

Tabela 3 – Valores de pico para o calor específico do concreto entre 100°C e 200°C.

U (%) em peso de concreto	$C_{pico}$ [J / (kg °C)]
0	900
1,5	1470
2	1875
3	2020
4	2750
10	5600

Fonte: Almeida, 2018.

#### 4.2 Propriedades térmicas do aço

Segundo Costa (2008), as propriedades térmicas do aço para concreto armado e protendido são desprezadas. Isso porque, com a ação térmica, a temperatura se uniformiza rapidamente nas seções das barras de aço, assumindo-se assim o mesmo valor da temperatura nas vizinhanças do concreto.

Segundo o mesmo autor, as propriedades térmicas do aço são verificadas em modelagens térmicas unidas às estruturas de análise de pórticos 2D e 3D. Entretanto, elas não são necessárias nos métodos simplificados de cálculo e em análises computacionais avançadas de um elemento estrutural isolado.

#### 4.3 Propriedades mecânicas do concreto

Para analisar uma estrutura de concreto armado em situação de incêndio, as propriedades mecânicas mais relevantes, segundo Sousa e Silva (2015), são as resistências à compressão e à tração, o módulo de elasticidade e a curva tensão-deformação dos materiais.

Para obter os valores destes parâmetros em temperaturas elevadas, são feitos ensaios com regime de aquecimento constante e transiente.

#### 4.3.1 Resistência à compressão

Com a elevação da temperatura, a resistência à compressão do concreto diminui. Esse decréscimo é estimado pelo coeficiente  $k_{c,\theta}$ , fornecido pelo Eurocode 2 (CEN, 2004) e pela NBR 15200 (ABNT, 2012) (TAB. 4).

Tabela 4 – Valores do coeficiente de redução da resistência à compressão em função da temperatura  $\theta$  para agregados silicosos e calcários.

Temperatura do concreto (°C)	Agregados Silicosos			Agregados Calcários		
	Fck, $\theta$ /fk	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$	Fck, $\theta$ /fck	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00			0,00		

Fonte: Sousa e Silva, 2015.

O valor da resistência característica do concreto em altas temperaturas e a resistência de cálculo podem ser obtidas seguindo-se metodologia publicada por Sousa e Silva (2015), que apresentam equações para esse fim.

#### 4.3.2 Resistência à tração

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2020), o concreto é um material que resiste mal à tração, portanto, não se conta com a ajuda dessa resistência. Todavia, a resistência à tração



pode estar relacionada com a capacidade resistente da peça, como as expostas a esforço cortante e à fissuração de forma direta, sendo necessário, dessa forma, conhecê-la.

A resistência à tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ) e a resistência à tração na flexão ( $f_{ct,f}$ ) devem ser encontradas por meio de ensaios realizados conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011) e a NBR 12142 (ABNT, 2010), respectivamente. A resistência à tração direta ( $f_{ct}$ ) pode ser considerada igual a 70% da resistência à tração na flexão ou a 90% da resistência à tração indireta. Em situações onde faltam ensaios para determinar os valores da resistência à tração indireta e da resistência à tração na flexão, Carvalho e Figueiredo Filho (2020) propõem equações para a estimativa de seus valores médios ou característicos.

### 4.3.3 Módulo de elasticidade

De acordo com Kummer (2016, p.24), “o módulo de elasticidade do concreto ( $E_c$ ) pode ser descrito como a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado, e é dado pela declividade da curva tensão-deformação sob carregamento uniaxial”, sendo que, com o aumento da temperatura, o módulo de elasticidade diminui.

Como a curva tensão-deformação do concreto não é linear, são definidos pelo menos três tipos de módulos de elasticidade: módulo de elasticidade tangente inicial, módulo de elasticidade secante e módulo de elasticidade cordal (LIZARAZO-MARRIAGA; LOPEZ YEPEZ, 2011). O módulo de elasticidade tangente inicial é o módulo de deformação, instantâneo e estático, para uma linha tangente à curva tensão-deformação traçada da origem. Já o secante, é o módulo de deformação, estático e instantâneo, encontrado pela declividade de um traçado partindo da origem até qualquer porcentagem de  $f_c$ . Por fim, o cordal é o módulo de deformação, estático e instantâneo, obtido pela inclinação de uma linha traçada em qualquer ponto da curva tensão-deformação. (KUMMER, 2016).

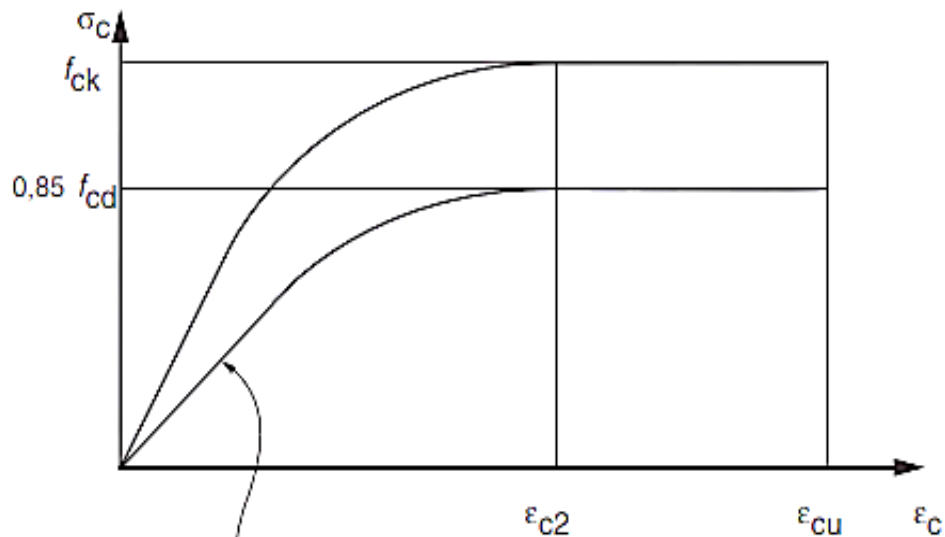
### 4.3.4 Relação tensão-deformação

Os diagramas tensão-deformação descrevem as relações entre tensões ( $\sigma$ ) e deformações ( $\epsilon$ ) do concreto. Na compressão, são definidos a partir de ensaios de corpos de prova à compressão centrada e descrevem uma parte da curva (na classe I) parabólica e a outra sensivelmente retilínea. Na tração, são usados diagramas bilineares. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2020).

#### 4.3.4.1 Compressão

Para análises no estado limite último, pode ser utilizado o diagrama tensão-deformação idealizado para concretos de qualquer classe de resistência, ilustrado na FIG. 9. A relação entre tensão e deformação que representa o trecho parabólico da curva inferior é definida pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

Figura 9 – Diagrama tensão-deformação idealizado para concretos de qualquer classe de resistência.



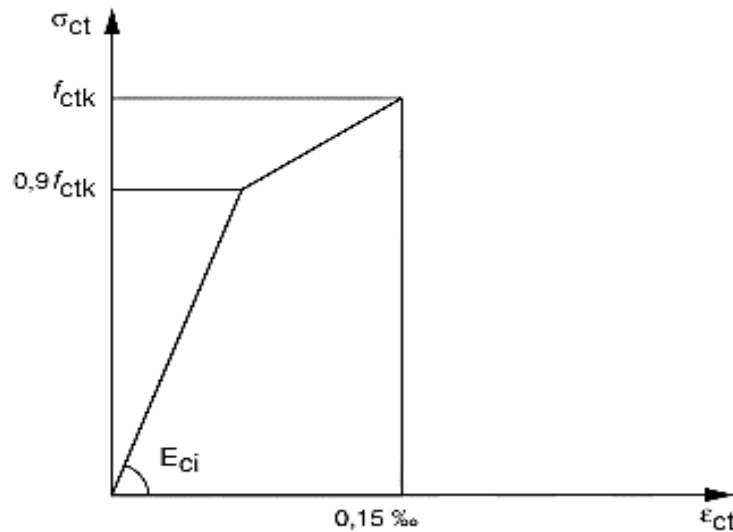
Fonte: NBR 6118:2014.

Os valores a serem adotados para as variáveis  $\epsilon_{c2}$  (deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico),  $\epsilon_{cu}$  (deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura) e o índice  $n$  devem ser calculadas conforme instruções contidas em Carvalho e Figueiredo Filho (2020).

#### 4.3.4.2 Tração

Em consonância com a NBR 6118 (ABNT, 2014), para o concreto não fissurado, submetido a tensões de tração, pode ser adotado o diagrama tensão-deformação bilinear, representado pela FIG. 10.

Figura 10 – Diagrama tensão-deformação na tração.



Fonte: 6118:2014.

Conforme apresentado na FIG. 10, a deformação máxima de alongamento é de  $0,15\text{‰}$ , e o módulo tangente inicial ( $E_{ci}$ ) pode ser adotado como  $\text{tg } \alpha$ . (LUKE, 2015).

#### 4.4 Propriedades mecânicas do aço

De acordo com Ferreira (2019, p.52), “os problemas mais graves de uma estrutura de concreto armado ocorrem quando a sua armadura atinge temperaturas da ordem de  $500$  a  $600^{\circ}\text{C}$ , pois nesse intervalo o aço perde sensivelmente sua resistência à tração, comprometendo a estrutura como um todo”. Sendo assim, são apresentados nesse tópico algumas propriedades mecânicas para análise do aço a altas temperaturas.

##### 4.4.1 Resistência à tração

A resistência característica de escoamento do aço à tração ( $f_{yk}$ ) é definida, de acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2020), como a máxima tensão que o fio ou a barra devem suportar, pois a partir dela o aço passa a sofrer deformações permanentes. Ou seja, até esse referido valor de tensão, caso seja necessário interromper o ensaio de tração de uma amostra, esta retornará ao seu tamanho inicial, não apresentando nenhum tipo de deformação permanente. Este caso se aplica aos aços que apresentam patamar de escoamento definido

(CA25 e CA50). O aço CA60 não possui patamar definido e o valor de  $f_{yk}$  é a da tensão correspondente a uma deformação específica permanente de 0,2%.

A redução da resistência do aço de armadura passiva, tanto à tração quanto à compressão, submetida a elevadas temperaturas, pode ser estimada por meio de um coeficiente redutor ( $K_{s, \theta}$ ) (FERREIRA, 2019).

O coeficiente redutor é um parâmetro tabelado conforme a faixa de temperatura à qual o aço está submetido, conforme apresenta a TAB. 5.

Tabela 5 – Coeficiente redutor da resistência do aço em relação à temperatura.

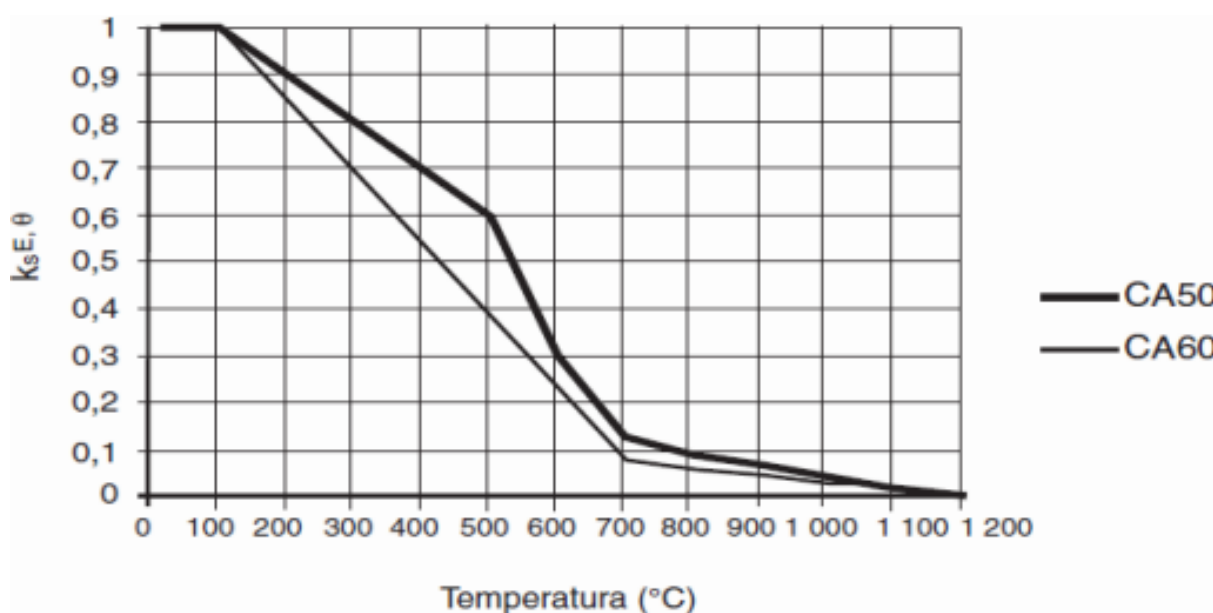
Temperatura do aço (°C)	$K_{s, \theta}$	
	CA50	CA60
20	1,00	1,00
100	1,00	1,00
200	1,00	1,00
300	1,00	1,00
400	1,00	0,94
500	0,78	0,67
600	0,47	0,40
700	0,23	0,12
800	0,11	0,11
900	0,06	0,08
1000	0,04	0,05
1100	0,02	0,03
1200	0,00	0,00

Fonte: Ferreira, 2019.

#### 4.4.2 Módulo de elasticidade

Conforme afirma Santiago Filho (2018), o módulo de elasticidade do aço decresce com o aumento da temperatura, sendo que, na FIG. 11, está representado o fator do módulo de elasticidade do aço em função da temperatura, para os aços CA-50 e CA-60.

Figura 11 – Coeficiente  $K_{Es}(\theta)$  para aço CA-50 e CA-60.



Fonte: Santiago Filho, 2018.

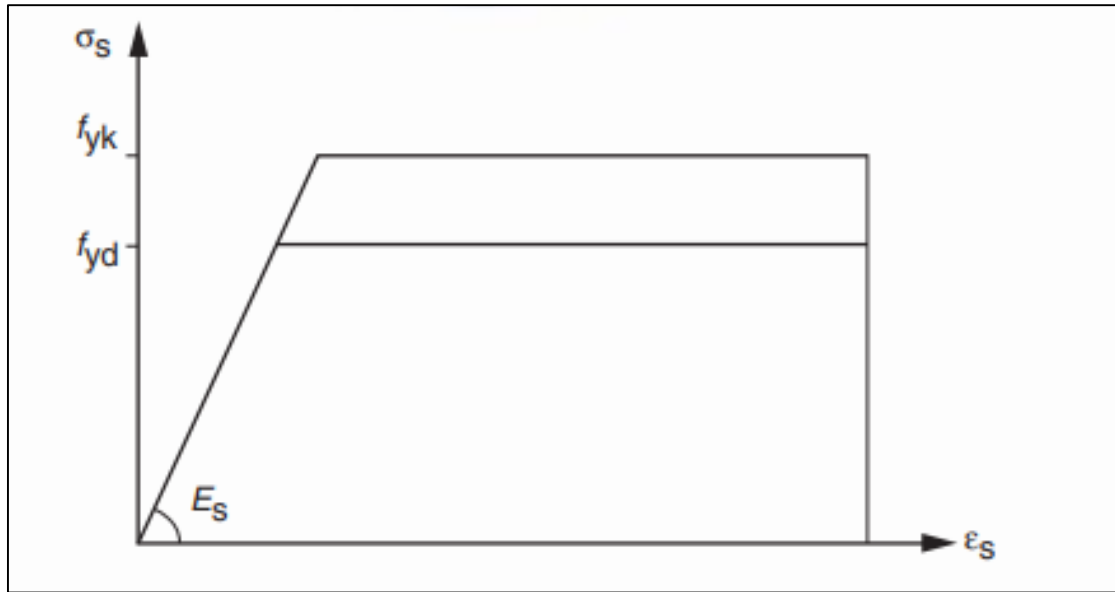
#### 4.4.3 Relação tensão-deformação

Os ensaios de tração realizados para determinar o diagrama tensão-deformação do aço, dos valores característicos da resistência ao escoamento ( $f_{yk}$ ), da resistência à tração ( $f_{stk}$ ) e da deformação na ruptura ( $\epsilon_{uk}$ ) devem ser executados conforme especificações da NBR ISO 6892-2 (ABNT, 2013).

A deformação específica de cálculo ( $\epsilon_{yd}$ ), que corresponde ao início do patamar, é obtida, para os aços com patamar de escoamento definido, pela relação entre 87% do valor da resistência característica do aço à tração e o módulo de elasticidade do aço, que pode ser considerado como igual a 210.000 MPa (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2020).

No caso do aço CA-60, que não possui patamar de escoamento, a norma permite aplicar, assim como para os aços de patamar definido, o diagrama simplificado (FIG. 12) para os cálculos nos estados limites de serviço e último. Esse diagrama é aplicável para intervalos de temperatura entre  $-20^{\circ}\text{C}$  e  $150^{\circ}\text{C}$  e pode ser aplicado para compressão e tração (ABNT, 2014).

Figura 12 – diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas.



Fonte: NBR 6118:2014.

## 5 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo bastante tradicional, presente desde o início da atividade humana na execução de estruturas para os mais variados fins. Com o uso de vários materiais, como pedra, argila e outros, foram construídas obras que desafiaram o tempo, atravessando séculos e chegando até os dias atuais como monumentos de grande relevância histórica. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

No Brasil, o sistema construtivo em alvenaria é utilizado desde o início do século XVI, quando os portugueses aqui desembarcaram. Todavia, a alvenaria com blocos estruturais, considerada como um sistema construtivo mais elaborado e voltado para a construção de edifícios mais econômicos e racionais, demorou a encontrar seu espaço. (DADALT, 2020).

Basicamente, a alvenaria estrutural é composta por unidades (tijolos ou blocos) unidos por juntas de argamassa, assim como graute e armaduras, sendo utilizada a armadura somente quando necessária, de acordo com a classificação do sistema. Normalmente, as unidades usuais são em blocos vazados cerâmicos ou de concreto. (CARVALHO; LEAL; MUNAIAR NETO, 2021).

Nesse sistema construtivo, as paredes têm função de vedação e atuam também como elemento estrutural, considerando sua elevada resistência aos esforços mecânicos, sobretudo quando solicitadas por tensões de compressão. As principais vantagens desse método são a redução do volume de resíduos gerados na obra, diminuição de custos, economia de material e de tempo e produtividade elevada. (FÉLIX, 2019).

Em relação aos materiais constituintes da alvenaria estrutural, há a necessidade de que algumas características sejam atendidas para serem encorpados ao sistema construtivo. As unidades, por exemplo, devem apresentar boa resistência à compressão, assim como adequada capacidade de aderência à argamassa de assentamento e dimensões uniformes. Segundo Carvalho, Leal e Munaiar Neto (2021), embora se tenha pouco conhecimento acerca desse método construtivo em situações de incêndio, outra característica importante às unidades se refere a alta resistência ao fogo.

### 5.1 Características dos principais componentes da alvenaria estrutural

Conforme conceituado anteriormente, a alvenaria estrutural é o conjunto composto por blocos ou tijolos (unidades), executados em obra e ligados entre si por argamassa, tendo estruturalmente um comportamento monolítico. Os componentes principais da alvenaria ainda incluem o graute e a armadura.

### 5.1.1 Unidades

Uma vez que, na alvenaria estrutural, seus elementos trabalham sob tensão de compressão, nas unidades, a característica mais importante e a que mais contribui para a resistência final do conjunto é a resistência à compressão (FORTES et al., 2017). No Brasil, as unidades mais utilizadas para edificações de alvenaria estrutural são, respectivamente: unidades de concreto, unidades cerâmicas e unidades sílico-calcáreas. Em relação à forma, podem ser maciças, quando o índice de vazios for no máximo 25% do volume total, ou ser vazadas, quando o índice exceder esse limite. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Dupim (2019), o ganho de resistência das unidades não é diretamente proporcional ao ganho de resistência das paredes, devido ao fato de que as diferentes resistências do bloco e da argamassa exercem grande influência na alvenaria. De forma análoga, o módulo de elasticidade das unidades também não pode ser relacionado com o do conjunto por causa da presença das juntas de argamassa.

### 5.1.2 Argamassa

A argamassa de assentamento é usada para juntar blocos e tem como função unir, transmitir e uniformizar as tensões atuantes ao longo das paredes, e ainda absorver pequenas deformações, solidarizando as unidades (SOTO; RAMALHO; IZQUIERDO, 2013). Ela garante que a alvenaria estrutural seja um conjunto monolítico; dessa forma, as propriedades mecânicas da argamassa são importantes influenciadoras do comportamento da alvenaria. (DUPIM, 2019).

Para o bom desempenho da argamassa é relevante que ela seja durável e apresente boa trabalhabilidade, resistência e plasticidade. Geralmente, ela é composta de cimento, cal, areia e água, sendo a quantidade de cimento diretamente relacionada com a resistência à compressão, sendo que a cal contribui para a trabalhabilidade e retenção de água. (DUPIM, 2019).

A NBR 16868-1 (ABNT, 2021) regulamenta que a resistência à compressão da argamassa seja de 1,5 a 3,0 MPa, devendo-se especificar que a mesma se limite a 1,5 vezes a resistência característica à compressão dos blocos, para evitar fissuras.

Com a elevação da resistência da argamassa, as deformações ocasionadas pelo carregamento não são acomodadas pela alvenaria, levando a parede à ruptura frágil. (DUPIM, 2019).



### **5.1.3 Graute**

O graute é um concreto com agregados de dimensões pequenas e fluido, eventualmente usado para preencher os vazios dos blocos. Sua função é contribuir com o aumento da área da seção transversal das unidades ou promover a solidarização dos blocos com as eventuais armaduras inseridas em seus vazios. Dessa maneira, é possível elevar a capacidade portante da alvenaria à compressão ou fazer com que as armaduras inseridas resistam às tensões de tração que a alvenaria não teria condições de resistir por si só. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

O conjunto graute, bloco e armadura, eventualmente, devem trabalhar monoliticamente, semelhante ao que ocorre no concreto armado. De acordo com a NBR 16868-1 (ABNT, 2021), a resistência característica do graute deve ser maior ou igual a 15 MPa.

### **5.1.4 Armadura**

Segundo Rabelo (2004), as armaduras têm como principais funções: o travamento das alvenarias, o aumento da resistência à compressão das alvenarias e, quando houver, resistir a esforços de tração. Os aços usados em alvenaria estrutural armada devem apresentar as mesmas características daqueles usados no concreto armado convencional e devem ser totalmente envolvidos pelo graute a fim de obter-se uma estrutura monolítica.

## **5.2 Resistência à compressão da alvenaria**

O comportamento estrutural de paredes de alvenaria é dado pela união das características de cada um dos seus materiais constituintes. Como esse elemento é, basicamente, uma associação de blocos e argamassa, a sua resistência à compressão pode ser estimada com base nas resistências à compressão desses materiais. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A NBR 16868-2 (ABNT, 2020) define que a resistência à compressão simples da alvenaria deve ser obtida a partir do ensaio de paredes. Para situações de alvenaria de blocos de 190 mm de altura e junta de argamassa de 10 mm, pode-se estimar este valor como 70% da resistência característica de compressão simples de prisma ou 85% da pequena parede. Em caso de uso de tijolos, a resistência característica à compressão simples da alvenaria pode ser considerada como 60% da resistência característica de compressão simples de prisma.

### 5.3 Módulo de elasticidade da alvenaria

O módulo de elasticidade é uma propriedade relevante, porque é um fator determinante para conhecer o mecanismo de ruptura da alvenaria, bem como suas deformações. Apesar de a obtenção dessa variável ser teoricamente simples, no caso da alvenaria estrutural, esta apresenta resultados variáveis devido à função da mesma. (CARVALHO, 2019).

Conforme comenta Oliveira (2014), alguns pesquisadores consideraram relações para estimar o módulo de elasticidade a partir da resistência da unidade e do tipo de argamassa. Entretanto, estas relações entraram em desuso, para uso prático, por causa da complexidade e imprecisão. Dessa forma, buscaram-se métodos mais simples para estimar o módulo de elasticidade da alvenaria com base no produto entre uma constante e a própria resistência da alvenaria.

O Eurocode 6 (CEN, 2005) recomenda, quando não houver a possibilidade de ensaios, considerar o módulo de elasticidade da alvenaria ( $E_{alv}$ ), em MPa, como sendo igual a mil vezes o valor da resistência à compressão característica da alvenaria ( $f_{alv,k}$ ), em MPa. O módulo de elasticidade, experimentalmente, é considerado igual a um terço da resistência da alvenaria. Ademais, esta norma sugere aplicar um fator de 0,6 ao módulo de elasticidade para a verificação do estado limite de serviço. (DUPIM, 2019).

Já a NBR 16868-1 (ABNT, 2021) apresenta que o módulo de elasticidade da alvenaria de blocos de concreto ( $E_{alv}$ ), em MPa, equivale a 800 vezes a resistência característica de compressão simples do prisma, dada em MPa. A norma brasileira, assim como o Eurocode, também recomenda uma redução de 40% no módulo de elasticidade da alvenaria para as verificações de estado limite de serviço, adotando o efeito da fissuração da alvenaria de forma aproximada.

### 5.4 Comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio

Segundo Leite (2018, p. 22),

o comportamento resistente ao fogo da alvenaria estrutural depende, logicamente, do comportamento resistente a elevadas temperaturas de cada um desses componentes, isoladamente e em conjunto, considerando-se, ainda, a influência da resistência de um eventual revestimento.

Nacionalmente, apesar das exigências apresentadas na NBR 15575-4 (ABNT, 2021) em relação ao desempenho das estruturas submetidas ao fogo, ainda não existe uma norma técnica

específica para alvenaria estrutural em situações de incêndio, ao contrário dos casos de estruturas de aço, de concreto e mistas. Dessa forma, é restrito o conhecimento que se tem acerca das propriedades térmicas e mecânicas, sob altas temperaturas, dos materiais constituintes da alvenaria estrutural.

Da mesma forma, ao se avaliar resultados existentes referentes ao comportamento de paredes de alvenaria em situação de incêndio, nota-se uma insignificância numérica de resultados nacionais, sobretudo em paredes avaliadas sob carga. (LEITE, 2018).

Diante disso, o Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo recomenda, através da Instrução Técnica nº 08/2019, o uso do Eurocode 6 ou de normas internacionais semelhantes para dimensionar estruturas de alvenaria estrutural em situações de incêndio. Entretanto, os materiais que compõem a alvenaria no Brasil podem apresentar grandes divergências em relação a suas propriedades mecânicas e térmicas quando comparados aos materiais estrangeiros, comprometendo a confiabilidade dos resultados ao aplicar diretamente essas normas. (CARVALHO; LEAL; MUNAIAR NETO, 2021).

Carvalho et al. (2006) destacam que são vários os parâmetros que podem afetar o comportamento da alvenaria em condições de incêndio. Entre outros, estão a geometria, a forma, a espessura das juntas de argamassa, a textura dos blocos, o teor de umidade dos componentes, as restrições e as dimensões impostas à expansão térmica e a forma de exposição ao fogo.

Ademais, é citada a elevada influência que a composição química dos materiais causa no sistema em consequência às diferentes propriedades físico-químicas dos materiais componentes dos blocos e argamassas, as quais se modificam de maneira diferente com o aquecimento daqueles. (LEAL et al., 2021).

Rosemann (2011), interessado em conhecer mais sobre o comportamento dessas estruturas sob condições de incêndio, ensaiou paredes de alvenaria cerâmica quanto ao isolamento térmico, sem carregamento, intercalando a existência de revestimentos de argamassa e sem preenchimento dos vazios com areia. Após o experimento, constatou que as paredes sem preenchimento e sem revestimento tiveram resistência ao fogo de 106 minutos. Ao aplicar revestimento de argamassa nas faces da parede, notou-se um acréscimo de 80% na resistência ao fogo e, ao preencher os principais vazios dos blocos com areia, o aumento verificado foi de 100%. Sendo assim, constatou-se que a aplicação de revestimentos nas faces e o preenchimento dos vazios com areia são boas alternativas, com custo baixo, para elevar a resistência de paredes de alvenaria cerâmica em relação ao fogo. Vale ressaltar que o autor avaliou somente a resistência de paredes quanto ao critério de isolamento.

Já Rigão (2012) ensaiou pequenas paredes de alvenaria cerâmica, com carregamento aplicado (restringindo-se ao carregamento vertical). Para as argamassas, ele constatou que temperaturas de 900°C são suficientes para ocasionar deterioração completa e que o tipo de agregado nela aplicado influencia na estabilidade do material e na perda de massa. Além disso, cabe ressaltar que o autor não seguiu a curva de incêndio padrão em seu ensaio. Em relação às paredes, foi constatado um aumento de carga considerável no transcorrer do experimento, por causa do gradiente térmico e à restrição de deslocamento vertical imposta. Ademais, apresentou que todas as paredes tiveram um atraso de aproximadamente 20 minutos a partir do início do ensaio. Isso ocorreu devido ao fato de que, no período inicial do ensaio, as temperaturas do interior da parede e de sua face não aquecida não se alteraram, sendo assim, ainda não haviam cargas térmicas significativas na parede.

## **6 LEGISLAÇÕES PRESCRITIVAS PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

### **6.1 Normativas nacionais**

A legislação brasileira sobre a segurança contra incêndios é bem recente e se deu com base nos critérios adotados no exterior, em países como Estados Unidos e Europa. Tais normas também se aliaram às homologações de decretos e instruções técnicas estaduais no país e à criação de cursos de pós-graduação dentro da área, auxiliando de forma considerável na regulamentação dos projetos de prevenção a incêndios. (BRUHA, 2015).

A seguir são apresentadas algumas normas nacionais que regulamentam o dimensionamento de estruturas para situações de incêndio.

#### **6.1.1 NBR 14432:2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações**

Esta norma especifica os métodos de ensaio necessários para definir a resistência ao fogo dos elementos que compõem uma edificação, considerando as vigas, pilares, lajes e paredes estruturais. Ademais, assume a curva de incêndio padrão como referência térmica para realização de ensaios, uma vez que compara a curva encontrada em ensaio com a curva padrão, devendo essas se compatibilizarem sensivelmente (CARLOS, 2020).

De acordo com a normativa, as diferenças tolerantes entre essas curvas são:

- Primeiros 10 minutos: aprox. 15%
- Primeiros 30 minutos: aprox. 10%
- Após os 30 minutos: aprox. 5%

Dessa forma, a fim de minimizar os impactos sofridos na estrutura mediante a um eventual sinistro de incêndio, a norma aborda em seus anexos as variáveis de análise, conforme descrito a seguir: em seu anexo A é abordada a definição do TRRF, que é determinado em relação ao seu grupo, tipo de divisão, ocupação/uso, profundidade do solo e altura da edificação, com valores já tabelados com essas associações dispostas. Além disso, ainda apresenta algumas isenções a depender do tipo de edificação. O anexo B apresenta como cada grupo e uso/ocupação é definido, conceituando e exemplificando os tipos de edificações que se adequam a cada um deles. Já no anexo C, obtém-se a associação do uso/ocupação com a carga de incêndio correspondente, que trata da combustão a depender do tipo da edificação e de seus

materiais constituintes. Quanto mais elevada for a carga de incêndio, mais fácil e rápida será a capacidade do fogo para se alastrar, com materiais que propiciem a propagação do incêndio.

### **6.1.2 NBR 15200:2012 – Projeto de estruturas de concreto em situações de incêndio**

A NBR 15200 é a norma brasileira que determina os critérios para o dimensionamento de estruturas de concreto em situação de incêndio. Criada em 2004, esta norma teve embasamento no Eurocode 2 e foi adaptada à realidade brasileira. Os critérios estabelecidos pela mesma, são aplicados para estruturas de concreto projetadas de acordo com a NBR 6118:2014 e pela NBR 9062:2017. (CASTRO, 2005).

A NBR 15200 (ABNT, 2012) assinala que o dimensionamento de elementos de concreto armado, em situações usuais, é realizado à temperatura ambiente e, posteriormente, dependendo do seu uso e de suas características, são analisados quanto à situação de incêndio. Para realizar a verificação, a norma apresenta os seguintes procedimentos: método tabular, método simplificado de cálculo, método avançado de cálculo e método experimental. (ALBUQUERQUE, 2012)

O método tabular, dentre os apresentados anteriormente, é considerado bastante prático e simples, sendo detalhado tanto na norma europeia quanto na brasileira a (AMARAL; FERREIRA; REAL, 2019). Em relação aos outros, são apresentadas apenas diretrizes de aplicação, uma vez que necessitam de *softwares* específicos ou ensaios laboratoriais. Dessa forma, a utilização desses métodos que sustentam maior precisão de resultados se torna restrita, devido ao fato de que os estudos acerca do dimensionamento de estruturas de concreto armado em situações de incêndio são recentes e as ferramentas fundamentais para a aplicação desses métodos ainda são pouco comuns aos projetistas brasileiros. (ALBUQUERQUE, 2012)

Sendo assim, embora a verificação pelo método tabular não seja muito precisa, proporciona uma verificação mais rápida e, por isso, é mais utilizada dentro da construção civil quando comparado aos outros métodos de dimensionamento.

As hipóteses que permitem elaborar a tabela de verificação estão relacionadas ao tipo de elemento estrutural (pilar, viga ou laje) e ao TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) adotado conforme a NBR 14432:2001.

Em suma, a partir dessas condições, as dimensões mínimas a serem executadas são estabelecidas. Em cada peça estrutural a dimensão mínima pode representar: a menor espessura admissível ( $e_{\text{mín}}$ ) para lajes; a largura mínima para vigas ( $b_w$ ); e a menor seção transversal praticável de pilares e tirantes. Todavia, a única medida que é comum a todos os elementos, é

a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face exposta ao fogo ( $c_1$ ). (MUNHOZ et al., 2018).

### **6.1.3 Instrução Técnica nº 08/2019: Segurança estrutural contra incêndio**

Dentro de um contexto mais recente, o estado de São Paulo possui a melhor legislação de proteção contra incêndios do país. Os regulamentos têm mais de 50 anos e vem sendo atualizados ao longo de sua vida. (BRENTANO, 2015).

A Instrução Técnica nº 08/2019 tem como objetivo principal estabelecer as condições a serem obedecidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que compõem as edificações, quanto aos Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), a fim de que, em caso de incêndio, seja evitado o colapso estrutural por tempo suficiente para possibilitar a saída segura das pessoas e o acesso para as operações do Corpo de Bombeiros Militar.

Os TRRF definidos na Instrução Técnica necessitam ser comprovados por meio de ensaios específicos de resistência ao fogo, atendendo a tabelas previamente elaboradas a partir do resultado de ensaios executados, ou, ainda, em elementos estruturais, modelos matemáticos analíticos, nacionalmente conhecidos ou normatizados. Geralmente, os ensaios são executados em fornos verticais ou horizontais, utilizando-se a curva padronizada pela norma ISO 834 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION* - ISO, 1999) para elevação da temperatura, a qual é conhecida a partir dos termopares instalados nas faces da parede, tanto do lado submetido ao fogo quanto o oposto. A classificação da estrutura quanto sua resistência ao fogo é realizada conforme os critérios de isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade. (CARLOS, 2020).

Apesar da instrução prever a resistência ao fogo requerida para as alvenarias, abrange somente quatro tipos de paredes, sendo elas: parede de blocos vazados de concreto de 2 furos, parede de tijolos de barro cozido, paredes de concreto armado monolítico e paredes de tijolos cerâmicos de 8 furos, sendo consideradas as paredes com ou sem revestimento, e utilizando meio tijolo/bloco ou tijolo/bloco inteiro, conforme mostra o ANEXO B. Para as paredes estruturais, que suportam cargas verticais, a instrução técnica recomenda que se utilize o Eurocode ou outras normativas internacionais aprovadas.

## **6.2 Normativas internacionais**

Estados Unidos e Europa são referência mundial no que diz respeito à regulamentação na área de controle de materiais em situações de incêndio. Uma vez que o Brasil carece de

normativas nacionais voltadas para o dimensionamento de estruturas em situação de incêndio, principalmente para estruturas em alvenaria estrutural, é necessário recorrer a referências internacionais.

A seguir são apresentadas as normativas europeia, americana e australiana.

### 6.2.1 Norma europeia: Eurocode 6 – EN 1996-1.2 (CEN, 2005)

De acordo com Carlos (2020), o Eurocode 6 partes 1-2 é a norma europeia que apresenta os procedimentos necessários para dimensionar estruturas em alvenaria estrutural e de vedação em situação de incêndio. Esta norma, diferentemente dos outros códigos, define como critérios de dimensionamento a resistência mecânica (R), o isolamento térmico (I), a estanqueidade (E) e o impacto mecânico (M), sendo o último estabelecido somente pelo Eurocode. As paredes devem atender aos critérios a que são solicitadas, sendo separadas em 5 grupos, como mostra o QUADRO 1.

QUADRO 1 – Grupos de paredes conforme sua função.

CRITÉRIO	FUNÇÃO
R	Somente função estrutural
EI	Função de isolamento térmico e estanqueidade
REI	Função estrutural, de isolamento térmico e estanqueidade
REI – M	Função estrutural, de isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica
EI - M	Função de isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica

Fonte: Adaptado de Carlos (2020).

Conforme apresenta a normativa, o método usado para o dimensionamento em caso de incêndio deve refletir o comportamento da estrutura nessa situação. Dessa forma, a norma traz como opção de avaliação das paredes de alvenaria estrutural em caso de incêndio, o método tabular, o método de dimensionamento analítico simplificado e, ainda, modelos numéricos feitos em *softwares*. Vale ressaltar que, para tal dimensionamento, é feita a distinção entre paredes sem carregamento e com carregamento, e paredes compartimentadas ou não, sendo que na primeira só um lado é exposto ao fogo e, na segunda, ambos os lados são expostos. (LEITE, 2018).



### 6.2.1.1 Método tabular

O método tabular baseia-se nas tabelas contidas no anexo B do Eurocode 6, onde é fornecida a espessura mínima da parede de alvenaria para a resistência ao fogo requerida. A divisão das tabelas se dá, em primeiro lugar, pela função da parede em análise dentro da edificação (critérios de resistência ao fogo) e pelo tipo de material do bloco usado para construir a parede (concreto celular, concreto com agregado leve ou normal, cerâmica, etc.). Adiante, cada tabela é separada em relação à resistência à compressão dos blocos ( $f_b$ ), em função da densidade dos blocos ( $\rho$ ), e da relação entre a força solicitante de cálculo da parede em situação de incêndio e a força resistente de compressão de cálculo ( $\alpha$ ) (CEN, 2005).

A TAB. 6 estabelece as espessuras mínimas em função do TRRF de paredes carregadas de alvenaria cerâmica (critério REI).

Tabela 6 – Espessura mínima para paredes de alvenaria cerâmica carregadas, critério REI.

Nº da linha	Propriedades dos materiais	Mínima espessura (mm) $t_f$ para a resistência ao fogo (minutos) para a classificação REI						
		30	45	60	90	120	180	240
	Resistência à compressão ( $f_b$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]							
	Densidade ( $\rho$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]							
1S		Blocos do Grupo 1S						
	$5 \leq f_b \leq 75$ argamassa de uso geral							
1S.1	$5 \leq f_b \leq 50$ camada fina de argamassa $1000 \leq \rho \leq 14400$							
1S.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	100/140	170/190	170/190
1S.1.2		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(90/140)	(110/140)	(170/190)
1S.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	100/140	170	170
1S.1.4		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/140)	(140/170)
1	Blocos do Grupo 1 Argamassa: uso geral, camada fina, leve.							
1.2	$5 \leq f_b \leq 75$ $800 \leq \rho \leq 2400$							
1.2.1	$\alpha \leq 1,0$	90/100	90/100	90/100	100/170	140/170	170/190	190/210
1.2.2		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)
1.2.3	$\alpha \leq 0,6$	90/100	90/100	90/100	100/140	140/170	140/170	190/200
1.2.4		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)

Fonte: Carlos, 2020.

### 6.2.1.2 Método analítico simplificado

O método analítico simplificado é restrito às paredes construídas com os blocos e argamassas apresentados na TAB. 7.

Tabela 7 – Blocos em que o método é aplicável e as suas respectivas temperaturas  $\theta_1$  e  $\theta_2$ .

Bloco de alvenaria e argamassa (superfície desprotegida)	Temperatura (°C)	
	$\theta_1$	$\theta_2$
Blocos cerâmicos com argamassa comum	100	600
Blocos de silicato de cálcio com uma fina camada de argamassa	100	500
Bloco de agregado leve (pedra-pomes) com argamassa comum	100	400
Bloco de agregado denso com argamassa comum	100	500
Bloco celular auto clavado com uma fina camada de argamassa	200	700

Fonte: Dupim, 2019.

Este método consiste em traçar duas isotermas na seção da parede de alvenaria. A primeira com temperatura  $\theta_1$ , que descreve o limite até onde pode se considerar a resistência residual à compressão, e a outra isoterma, cuja temperatura é  $\theta_2$ , para a qual é considerada nula a resistência à compressão. Com este traçado, avalia-se a parede de alvenaria em situação de incêndio, com seção reduzida (eliminando toda a área da seção com temperatura maior que  $\theta_2$ ) e resistência reduzida em referência àquela encontrada em temperatura ambiente na área com temperatura entre  $\theta_1$  e  $\theta_2$ . (DUPIM, 2019).

Após essa redução, de acordo com Carvalho (2019), a verificação da seção é realizada no Estado Limite Último (ELU) com ações combinadas conforme as recomendações usuais do código europeu. Sendo assim, em caso de exposição ao fogo, a solicitação de cálculo na parede de alvenaria deve ser menor ou igual à força resistente de cálculo deste elemento estrutural considerando a redução da seção. Esse método ainda considera a quantificação da força resistente de cálculo do pilar ou da parede de alvenaria.

O Eurocode 6 estabelece a necessidade da obtenção da distribuição de temperaturas a fim de que as isotermas sejam conhecidas, podendo ser por meio de base de dados confiáveis ou de ensaios laboratoriais realizados ao longo do período de tempo de exposição ao fogo. (DUPIM, 2019).

## 6.2.2 Norma americana - ACI/TMS 216.1-14

A norma ACI/TMS 216.1-14 (*AMERICAN CONCRETE INSTITUTE* – ACI, 2014) visa definir os procedimentos de dimensionamento para resistência ao fogo de edificações em alvenaria e concreto. Segundo a normativa americana, a resistência dos conjuntos e dos materiais pode ser encontrada a partir de quatro formas: através de cálculos que possuem seus procedimentos descritos pela norma em questão, por meio de ensaios com requisitos previstos pela ASTM E 119 (*AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS* – ASTM, 2020), com a comprovação do desempenho passado obtido com o material ou conjunto, e através de novas tecnologias que possam prever as implicações de segurança à vida das pessoas e proteção da propriedade. (CARLOS, 2020).

Neste código, as paredes de alvenaria estrutural são verificadas em relação à garantia de valores mínimos para a sua espessura efetiva. A espessura equivalente mínima é definida a partir do tipo de elemento de alvenaria (bloco) e do tempo requerido de resistência ao fogo. Para calcular a espessura efetiva são adotados parâmetros como o tipo de acabamento e a configuração de vazios do bloco. (LEITE, 2018).

### 6.2.2.1 Espessura equivalente mínima das paredes

Segundo Dupim (2019), a espessura equivalente das paredes de alvenaria é obtida pela soma entre a espessura equivalente do bloco (onde são desconsiderados os vazios) e a espessura equivalente do acabamento.

Para estruturas não grauteadas ou parcialmente grauteadas, a espessura equivalente do bloco é calculada pela razão entre o volume líquido do bloco e área da face do bloco (comprimento x altura). (CARLOS, 2020).

O autor supracitado ainda relata que, caso a estrutura seja totalmente grauteada, a espessura equivalente é a própria espessura do bloco. E em situações onde os vazados dos blocos sejam preenchidos com areia, cascalho, escória, brita, pedra-pomes, xisto expandido, ardósia expandida, argila expandida, cinzas, cinzas volantes expandidas, perlita ou vermiculita, a espessura equivalente deve ser considerada como a espessura do bloco.

As espessuras mínimas equivalentes das paredes de alvenaria de blocos de concreto necessárias para tempos de resistência ao fogo de 30 a 240 minutos estão descritos nas TAB.8.

Tabela 8 – Espessura mínima equivalente para paredes de alvenaria de blocos de concreto.

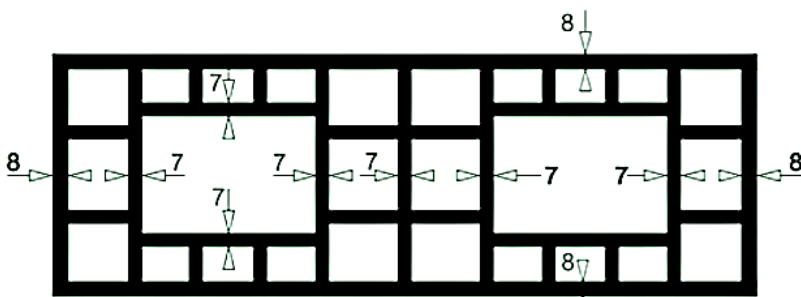
Tipo de agregado empregado no bloco	Mínima espessura equivalente $T_e$ (cm) em função do TRRF						
	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min
Cascalho de calcário ou silício	5,1	6,1	7,1	9,1	10,7	13,5	15,7
Pedra calcária, cinzas ou escória resfriada a ar	4,8	5,8	6,9	8,6	10,2	12,7	15
Argila expandida, xisto expandido ou ardósia expandida	4,6	5,6	6,6	8,4	9,1	11,2	13
Escória expandida ou pedra-pomes	3,8	4,8	5,3	6,9	8,1	10,2	11,9

Fonte: Dupim, 2019.

Para períodos de tempo intermediários, o código recomenda que a espessura seja obtida por interpolação linear. Em situações em que os blocos são produzidos com combinações de agregados, a espessura pode ser também encontrada por interpolação linear, considerando o percentual de volume de cada agregado utilizado na fabricação. (CARVALHO, 2019).

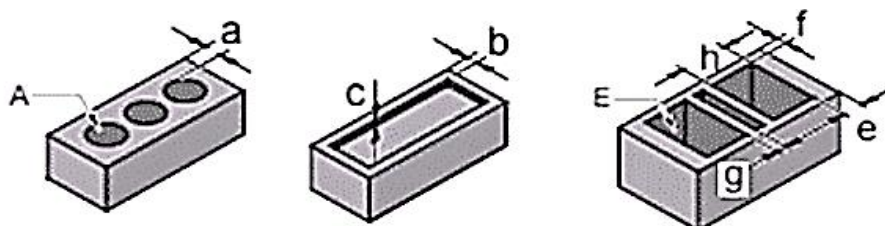
Cabe ressaltar que os blocos estruturais cerâmicos brasileiros e americanos apresentam diferenças em relação à sua geometria, sendo necessário considerar essa variável nos cálculos (FIG.13 e 14).

Figura 13 – Geometria da seção transversal do bloco cerâmico estrutural brasileiro, em milímetros.



Fonte: Leite, Moreno Júnior e Torres, 2015.

Figura 14 – Geometria da seção transversal de blocos cerâmicos estruturais americanos.



Fonte: Leite, Moreno Júnior e Torres, 2015.

### 6.2.3 Código Australiano: Standards Australia AS3700 - Masonry Structures

Segundo Leite (2018), o código australiano é um dos únicos que atende explicitamente aos critérios necessários ao dimensionamento de estruturas de alvenaria estrutural em situação de incêndio, que são a estanqueidade, a resistência mecânica e o isolamento térmico. Os níveis de resistência ao fogo para as paredes são especificados conforme critérios relacionados à estabilidade contra colapso, à capacidade de resistir a passagem das chamas, dos gases e do calor, além da propriedade de resistir à fissuração excessiva.

O código dispõe de duas recomendações para o dimensionamento das paredes de alvenaria em situação de incêndio. A primeira delas é projetar de maneira que os critérios de integridade, adequabilidade estrutural e isolamento térmico sejam obedecidos e, para isso, os valores relacionados à espessura dos blocos, cobrimento das armaduras e esbeltez das paredes são tabelados. A segunda recomendação consiste em projetar, com base em resultados obtidos em ensaios laboratoriais, associando-os com ábacos de dimensionamento fornecidos pelos fabricantes dos blocos (DUPIM, 2019). Ressalta-se que, no Brasil, diferentemente da Austrália, os fabricantes de blocos não fornecem tais ábacos de dimensionamento, o que dificulta a adoção do segundo critério de projeto.

O dimensionamento através do método tabelado, em relação à resistência mecânica, é feito de acordo com a TAB. 9.

Tabela 9 – Índice de esbeltez máximo para verificação quanto á resistência mecânica.

Tipo de bloco	Tempo de resistência ao fogo (min)					
	30	60	90	120	180	240
<b>1. Alvenaria não armada</b>						
(i) Blocos de cerâmicos	25,0	22,5	21,0	20,0	18,0	17,0
(ii) Blocos de silicato de cálcio com agregado basáltico						
(A) Menos de 45% de todos os agregados	20,5	19,0	18,0	17,5	16,5	15,5
(B) Pelo menos 45% de todos os agregados	25,0	22,5	21,0	20,0	18,0	17,0
(iii) Blocos de concreto com agregados basálticos						
(A) Menos de 45% de todos os agregados	19,5	18,0	17,0	16,0	15,5	15,0
(B) Pelo menos 45% de todos os agregados	25,0	22,5	21,0	20,0	18,0	17,0
<b>2. Alvenaria armada</b>	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0

Fonte: DUPIM, 2019.

Em situações em que o índice de esbeltez exceda os valores da TAB. 9, é necessário o redimensionamento da parede, tentando aumentar a espessura da mesma. Outra possibilidade é inserir travamentos na parede, buscando aumentar a rigidez da estrutura. (DUPIM, 2019).

O cálculo do índice de esbeltez em situação de incêndio é realizado de acordo com diferentes equações apresentadas na norma, estabelecidas conforme a vinculação utilizada.

Ademais, conforme o método tabelado, quanto ao critério de isolamento térmico, o dimensionamento é realizado com base na TAB.10.

Tabela 10 – Espessura mínima das paredes de acordo com critério de isolamento térmico.

Tipo de bloco	Tempo de resistência ao fogo (min)					
	30	60	90	120	180	240
Cerâmico	60	90	110	130	160	180
Silicato de Cálcio	50	70	90	110	135	160
Concreto com densidade:						
• Superior a 1800 kg/m <sup>3</sup>	55	80	100	120	150	180
• Igual ou inferior a 1800 kg/m <sup>3</sup>	55	75	90	110	135	160

Fonte: Carvalho, 2019.

Conforme afirma Dupim (2019), em relação ao critério de integridade/estanqueidade, quando não for possível obter os resultados de testes em laboratórios, a parede de alvenaria poderá ser adotada como tendo um nível de resistência ao fogo considerado satisfatório para este critério, desde que atenda aos requisitos da TAB. 9 para adequação estrutural e aos requisitos da TAB.10 para isolamento térmico.

### 6.3 Análise comparativa das normativas internacionais para dimensionamento de alvenaria estrutural

Em caso de incêndio, a prioridade é que as estruturas não entrem em colapso para que haja total evacuação da edificação e, em seguida, devem minimizar o dano estrutural. Para que isso aconteça, algumas verificações de segurança devem ser realizadas ainda em projeto. Esses parâmetros são estabelecidos por normas técnicas, que determinam os procedimentos a serem seguidos, como é o caso de estruturas em concreto armado.

Para a alvenaria estrutural, como ainda não existem normativas nacionais, é necessário recorrer a legislações internacionais, conforme foi apresentado no capítulo anterior. Dessa

forma, abaixo é apresentada uma análise das normas citadas (norma americana, europeia e australiana) no que se refere ao dimensionamento de estruturas em alvenaria estrutural para situação de incêndio.

A norma americana dispõe de tabelas com espessuras equivalentes mínimas para que paredes de alvenaria possam resistir a um incêndio durante um tempo determinado. Essas tabelas estão divididas conforme o tipo de agregado usado nos blocos. Além disso, também considera o efeito de diferentes tipos de acabamentos nas paredes, se ele está no lado exposto ao fogo ou do outro lado. Em relação aos critérios de isolamento térmico ou estanqueidade, é considerada bem completa, entretanto deixa a desejar no quesito resistência mecânica. Não apresenta procedimentos analíticos de dimensionamento, simplificados ou não, de forma a considerar o critério de resistência mecânica no dimensionamento de paredes em alvenaria estrutural. Ademais, não apresenta também os níveis de carregamento das paredes e, consequentemente, não pode ser usada para dimensionar paredes estruturais.

A norma europeia, dentre as três avaliadas, é a mais completa. O método tabular apresentado leva em conta os critérios de resistência ao fogo das paredes e ainda considera um quarto critério, o impacto mecânico das paredes. Em contrapartida, tem algumas limitações quanto aos materiais de acabamento, não sendo tão completa como a norma americana nesse quesito, porém, ainda assim, é a melhor norma para paredes estruturais em situação de incêndio.

Semelhante ao que já é feito nas normas brasileiras para estruturas de concreto armado, a norma europeia apresenta também uma proposta de dimensionamento segundo método analítico que é bem coerente. Apesar de não ser um método complexo, para utilizá-lo é preciso resultados de ensaios ou modelagem numérica para determinar a distribuição de temperatura em um bloco em função do tempo de exposição ao fogo do mesmo.

O código australiano considera o índice de esbeltez da parede na verificação de sua resistência ao fogo, ou seja, é um dos únicos códigos que leva em conta o aspecto estrutural da parede, embora não explicita os níveis de carregamento. O dimensionamento considerando a condição de resistência, proposto pela norma australiana, enquanto não há norma nacional, parece ser viável para se dimensionar a alvenaria estrutural em situação de incêndio no Brasil. Todavia, isso forçaria os fabricantes de blocos a disponibilizarem ábacos baseados em resultados de ensaio das paredes em laboratório. Cabe ressaltar que, na norma australiana, os ábacos fornecidos pelos fabricantes são relevantes para se usar em paredes de vedação, uma vez que não explicitam o nível de carregamento, nem o índice de esbeltez.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação ao que foi apresentado nesse trabalho e considerando a realidade da maioria dos projetos elaborados e implantados hoje no Brasil, pode-se inferir que, mesmo com a existência de normas para o dimensionamento de estruturas de concreto armado, a sua difusão em meio aos projetistas brasileiros ainda é muito restrita, ou em alguns casos, até desconhecida. Uma solução seria a aplicação de penalidades, por meio de uma fiscalização rígida em meio às construções no Brasil.

Para a alvenaria estrutural, em relação à aplicabilidade de normas internacionais para embasar o dimensionamento dessas estruturas em caso de incêndio, destaca-se alguns pontos que devem ser analisados para se adequarem à realidade brasileira. Sabe-se que cada país possui especificações de geometria, espessura e capacidade resistente a serem respeitadas pela indústria de blocos estruturais. Ademais, de país para país, existem variações das composições mineralógicas das rochas usadas como agregado e também dos revestimentos usuais. Portanto, a criação de uma norma nacional, mesclando o que há de mais interessante em cada referência internacional apresentada, é uma sugestão para resolver essas divergências. Alguns autores brasileiros, como Leite (2018), já desenvolveram estudos e apresentaram propostas para a elaboração de uma nova normatização.

Sugere-se, primeiramente, devido ao insipiente parque de equipamentos em laboratórios nacionais aptos à avaliação de paredes carregadas, a realização de ensaios de blocos isolados e com diferentes tipos de acabamento, a fim de que sejam elaboradas tabelas semelhantes às americanas e australianas, de maneira que se possam calcular estruturas de alvenaria em situação de incêndio adotando pelo menos o critério de isolamento térmico baseado em dados nacionais. Para isso, a melhor alternativa seria a união dos raros laboratórios brasileiros equipados, para avaliarem, juntos, todos os blocos utilizados no país.

Posteriormente, o próximo passo seria mapear as isotermas dos blocos usuais no país. Nesse caso, a simulação numérica é a opção mais adequada e rápida para esse fim. Ressalta-se que, para realizar esse mapeamento, a união dos poucos laboratórios nacionais é necessária novamente, uma vez que é preciso obter inúmeras propriedades térmicas dos blocos. Com esses dados, um método de cálculo simplificado poderia ser empregado para avaliação da resistência mecânica da parede em situação de incêndio. Por fim, ensaios de paredes de alvenaria carregadas devem ser realizados, apesar de ser recente a instalação do primeiro forno apto a tais ensaios (LEITE; MORENO JÚNIOR; TORRES, 2015). A partir deles, seria possível a



construção de ábacos que também serviriam de informação para subsidiar uma nova normativa de caráter nacional.

Portanto, é imperativa a elaboração de uma normatização nacional para dimensionamento de alvenaria estrutural em situação de incêndio. Embora não se tenham registros de grandes incêndios em estruturas de alvenaria estrutural, a aplicação de normativas internacionais não é viável, sendo que, para sua execução em projetos brasileiros, deverão ser feitas análises e adaptações em relação aos seus dados. Isso dificulta o processo de projeto, exigindo mais tempo e, conseqüentemente, elevando o custo do mesmo. Como o tema já é pouco difundido no meio, esses pontos agravam ainda mais a adequação da estrutura para que se ofereça a segurança em caso de incêndio.

## REFERÊNCIAS

AITA, José Carlos Lorentz; PEIXOTO, Nirvan Hofstadler. **Prevenção e combate a sinistros**. 2012, Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. Rede e-Tec Brasil. 2012.

Disponível em:

<[https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/05\\_prevencao\\_combate\\_sinistros.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/05_prevencao_combate_sinistros.pdf)>.

Acesso em: 24 mai. 2022.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI /TMS 216.1-14**, Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies, Farmington Hills, Michigan, USA, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E119**, Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. May 1, 2020.

ALBUQUERQUE, Gabriela Bandeira de Melo Lins de. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-09022013-135226/publico/DissertacaoGabrielaBandeiradeMeloLinsdeAlbuquerque.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

ALMEIDA, Thamyrys Morgana Pontes de. **Análise térmica transiente de pilares de concreto armado expostos ao fogo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologias, Maceió, 2018. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/4433>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

AMARAL, M. M.; FERREIRA, M. W.; REAL M. V. A simplified method for analysis of reinforced concrete beams exposed to fire situation. **Res. Eng. Struct. Mater.**, v. 5, n. 4, p.335-346. 2019. Available from: <<http://dx.doi.org/10.17515/resm2019.110ms0201>>. Accessed on 6 June. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho: Requisitos para os sistemas de vedações internas e externas. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 16868-1**: Alvenaria estrutural, Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2021.

\_\_\_\_\_. **NBR 16868-2**: Alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2020.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 6892-2**: Materiais metálicos - Ensaio de tração - Parte 2: Método de ensaio à temperatura elevada. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ATIYEH, Bishara. Brazilian Kiss nightclub disaster. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica [online]**, v. 27, n. 4, p. 502. 2013. Available from: <<https://www.scielo.br/j/rbcp/a/dydLVCsHXwFwmJDLrKTJMng/?lang=en>>. Accessed on: 5 June 2022.

AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3700-2011**: Masonry Structures. Sydney, 2011.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. v.1. Bauru-SP: Unesp, 2019. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

BORGES, Alberto Nogueira. **Curso prático de cálculo em concreto armado**. 2010. Ed. Imperial Novo Milênio, Rio de Janeiro, 2010.

BRENTANO, T. **A proteção contra incêndios no projeto de edificações**. 3. ed. Porto Alegre: Edição do autor, 2015.

BRITEZ, C.; CARVALHO, M.; HELENE, P. Fire impacts on concrete structures. A brief review. **Rev. ALCONPAT, Mérida**, v. 10, n.1, p. 1-21, abr. 2020. Available from: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200768352020000100002&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200768352020000100002&lng=es&nrm=iso)>. Accessed on 05 jun. 2022.

BRUHA, P. Requirements for residential fire protection in Brazil. **The Brazil Business**, 2015. Available from: <<https://thebrazilbusiness.com/article/requirements-for-residential-fire-protection-in-brazil>>. Accessed on 6 June 2022

CAMPOS, André Telles; CONCEIÇÃO, André Luiz Santana da Conceição. **Manual de Segurança Contra Incêndio e Pânico: Proteção Passiva**. Brasília: CBMDF, 2006. Disponível em: <[https://www.cbm.df.gov.br/downloads/edocman/legislacoes/manuaisoperacionais/MANUAL\\_DE\\_SEGURANA\\_CONTRA\\_INCENDIO\\_E\\_PANICO\\_PROTECAO%20PASSIVA.pdf](https://www.cbm.df.gov.br/downloads/edocman/legislacoes/manuaisoperacionais/MANUAL_DE_SEGURANA_CONTRA_INCENDIO_E_PANICO_PROTECAO%20PASSIVA.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2022.

CARLOS, Tainá Gelsdorf. **Alvenaria Estrutural em situação de incêndio: análise com vistas à normatização**. 2020. TCC. Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11624/2880>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

CARVALHO, Paulo Roberto de Oliveira. **Análise numérica de pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto em situação de incêndio:** ênfase no comportamento térmico e termomecânicos. 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia (Engenharia de Estruturas) e Área de Concentração em Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-02082019-114958/publico/2019ME\\_PauloRobertodeOliveiraCarvalho.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-02082019-114958/publico/2019ME_PauloRobertodeOliveiraCarvalho.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2022.

CARVALHO, Paulo Roberto de Oliveira; LEAL, Davi Fagundes; MUNAIAR NETO, Jorge. Análise numérica térmica da alvenaria estrutural em situação de incêndio: isolamento térmico entre ambientes. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. V. 21.n. 4. p. 65-87, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/VL4KwGNQTbnFgtBdxd4j8yP/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2022

CARVALHO, Ricardo V. Távora G. de et al. **Manual básico de combate a incêndio:** comportamento do fogo. 2. ed. Brasília: CBMDF, 2006. Disponível em: <[https://bombeiros.pb.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/COMBATE-A-INC%C3%80NDIO-Mod\\_1-Comportamento-do-Fogo.pdf](https://bombeiros.pb.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/COMBATE-A-INC%C3%80NDIO-Mod_1-Comportamento-do-Fogo.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CARVALHO, Roberto Chust. FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado:** segundo a NBR 6118:2014. São Carlos: EdUFSCar, 2020.

CASTRO, Gleidismar das Graças Simão. **Um método geral de cálculo para verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2005. Dissertação (Pós- Graduação em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Estruturas, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8CJJ7K/1/177.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2022.

COELHO, João Carlos Martins. **Energia e fluidos, volume 3:** transferência de calor. São Paulo: Blücher, 2016. *E-book*. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=HRygDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=transfer%C3%A0ncia+de+calor&ots=-TzYk1MrCe&sig=vVTzOeTpPYxpoTXpOkZIZumoVUc#v=onepage&q=transfer%C3%A0ncia%20de%20calor&f=false>>. Acesso em: 13 mar. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Norma Técnica 02/2014 - conceitos básicos de segurança contra incêndio**. Goiânia, 2014. Disponível em: <[https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/nt-02\\_2014-conceitos-basicos-de-seguranca-contra-incendio1.pdf](https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/nt-02_2014-conceitos-basicos-de-seguranca-contra-incendio1.pdf)>. Acesso em: 05 jun. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica Nº 08/2019:** Segurança estrutural contra incêndio. São Paulo, 2019. Disponível em: <[http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT-08-19.pdf](http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-08-19.pdf)>. Acesso em: 05 jun. 2022.

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situações de incêndio**. 2008. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, 2008. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-04092008-155911/publico/3\\_cap.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-04092008-155911/publico/3_cap.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2022.

COSTA, Carla Neves; SILVA, Valdir Pignatta. **Considerações sobre a segurança das estruturas em situação de incêndio**. ABECE Informa. São Paulo, ano 8, n. 44, jul/ago. 2004. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/228702108>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

CUOGH, Ricardo de Scarabello. **Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DADALT, D. da R. **Comparação entre os processos construtivos de alvenaria estrutural e paredes de concreto sob os aspectos de custo e prazo: estudo de caso de um empreendimento de habitação de baixa renda**. Porto Alegre: UFRGS, 2020. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Civil). Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2180>>. Acesso em 06 jun. 2022

DUPIM, Rafael Henrique. **Resistência residual de compressão de blocos, prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto submetidos à situação de incêndio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/D.18.2019.tde-22082019-125341>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 1: EN 1999-1-1: actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings**. Brussels, 2002.

\_\_\_\_\_. **Eurocode 2: EN 1992-1-1: design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings**. Brussels, 2004.

\_\_\_\_\_. **Eurocode 6: EN 2005-1.2: design of masonry structures: part 1-2: general rules: structural fire design**. Brussels, 2005.

FÉLIX, João Érico Ferreira. **Análise comparativa de alvenaria estrutural e de estruturas de concreto armado em obras de João Pessoa – PB**. João Pessoa: Centro Universitário de João Pessoa – UNIPÊ, 2019. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil). Disponível em: <<https://bdtcc.unipe.edu.br/wp-content/uploads/2020/01/TCC-II-JO%C3%83O-%C3%89RICO-REVISADO.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

FERNANDES, Ivan Ricardo. **Engenharia de segurança contra incêndio e pânico**. 2010. Curitiba: CREA-PR, 2010. Disponível em: <[Engenharia-de-Segurança-contra-Incêndio-e-Pânico.pdf](#)>. Acesso em: 23 abr. 2022.

FERREIRA, Diego. **Projeto preventivo contra incêndio: estudo de caso em uma edificação pública**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/15263/1/TCC%20Eng.Seguran%c3%a7a%20Diego%20Ferreira.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2022

FERREIRA, Matheus Wanglon. **Estudo numérico dos efeitos estruturais da exposição de pilares em concreto armado a altas temperaturas**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2019.

FERREIRA, Matheus Wanglon; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da; REAL, Mauro de Vasconcellos. **Thermomechanical analysis of reinforced concrete columns exposed to fire**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]. v. 13, n. 4, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000400004>>. Accessed on 6 June 2022

FORTES, E. S. et al. Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]**. v. 10, n. 06, p. 1273-1319. 2017. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1983-41952017000600008>>. Accessed on 6 June 2022.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia da Concreto Estrutural: tópicos aplicados**. 1. Ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834: **Fire-resistance tests: elements of building construction - part 1.1**: general requirements for fire resistance testing. Geneva, 25 p. 1999. (Revision of first edition ISO 834:1975).

KLEIN JÚNIOR, Odinir. **Pilares de concreto armado em situações de incêndio submetidos à flexão normal composta**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, São Paulo, 2011. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-17082011-154210/publico/Dissertacao\\_Odinir\\_Klein\\_Junior.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-17082011-154210/publico/Dissertacao_Odinir_Klein_Junior.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2022.

KUMMER, Lucas Marcel. **Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos de uma central dosadora de concreto de Lajeado/RS**. 2016. Monografia. Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016. Disponível em: <<https://univates.br/bdu/bitstream/10737/1415/1/2016LucasMarcelKummer.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2022.

LARA, Daniela Vanessa Rodriguez. **Sobre o Dimensionamento de Elementos Estruturais em Concreto Armado em Situações de Incêndio**. Monografia (Especialização em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações). Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Daniela-Rodriguez-Lara/publication/319376908\\_Sobre\\_o\\_Dimensionamento\\_de\\_Elementos\\_Estruturais\\_em\\_Concreto\\_Armado\\_em\\_Situacao\\_de\\_Incendio/links/59a74e55a6fdcc61fcfb68b/Sobre-o-Dimensionamento-de-Elementos-Estruturais-em-Concreto-Armado-em-Situacao-de-Incendio.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Daniela-Rodriguez-Lara/publication/319376908_Sobre_o_Dimensionamento_de_Elementos_Estruturais_em_Concreto_Armado_em_Situacao_de_Incendio/links/59a74e55a6fdcc61fcfb68b/Sobre-o-Dimensionamento-de-Elementos-Estruturais-em-Concreto-Armado-em-Situacao-de-Incendio.pdf)>. Acesso em: 31 mai. 2022.

LEAL, Davi Fagundes et al. Experimental investigation on structural concrete masonry in fire: emphasis on the thermal behavior and residual strength. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]**. v. 14, n. 4, 2021. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000400008>>. Accessed on 6 June 2022.

LEITE, Helena Arias Lara. **Alvenaria estrutural em situação de incêndio: proposta de avaliação com vistas à normatização**. 2018. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/20.500.12733/1633440>>. Acesso em: 31 mai. 2022.

LEITE, H. A. L.; MORENO JUNIOR, A. L.; TORRES, D. L. **Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000200081>>. Acesso em: 31 mai. 2022.

LIASCH, Jonas. **Resgate aéreo dramático: o incêndio do Edifício Andraus**. Cultura Aeronáutica, 2013. Disponível em: <<http://culturaaeronautica.blogspot.com/2013/01/resgate-aereo-dramatico-o-incendio-do.html>>. Acesso em 06 jun. 2022.

LIU, J.; CHOW, W. K. Determination of fire load and heat release rate for high-rise residential buildings. **Procedia Engineering**, v. 84, p. 491 – 497, 2014. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814017810/pdf?md5=d30ded533afbd37c1e8d4f6c50117f6&pid=1-s2.0-S1877705814017810-main.pdf>>. Accessed on 5 June 2022.

LIZARAZO-MARRIAGA, Juan; LOPEZ YEPEZ, Lucio Guillermo. Effect of sedimentary and metamorphic aggregate on static modulus of elasticity of high-strength concrete. **Dyna rev.fac.nac.minas**, Medellín , v. 78, n. 170, p. 235- 242, Dec. 2011 . Available from <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_artte](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_artte)>. Accessed on 06 June 2022.

LUKE, Washington Gultenberg de Moura. **Análise numérica não-linear de elementos de concreto estrutural considerando a variação de aderência**. 2015. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/19370/1/2015\\_WashingtonGultenbergdeMouraLuke.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/19370/1/2015_WashingtonGultenbergdeMouraLuke.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2022

MAXIMIANO, Dalilah Pires. **Análise numérica avançada de estruturas de aço e de concreto armado em situação de incêndio**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <[file:///C:/Users/Note/Downloads/TESE\\_An%C3%A1liseNum%C3%A9ricaAvan%C3%A7ada.pdf](file:///C:/Users/Note/Downloads/TESE_An%C3%A1liseNum%C3%A9ricaAvan%C3%A7ada.pdf)>. Acesso em: 05 jun. 2022.

MENDONÇA, Heitor Tadeu Teixeira. **Edificações civis em situação de incêndio: estudo de caso da Boate Kiss e do Edifício Joelma**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro Universitário de Formiga–UNIFOR - MG, Formiga, 2014.

MUNHOZ, Guilherme da Silva; AGUSTINI, Matheus; SCOZ, Lucas Matheus de Oliveira; GELATTI, Flavia. Análise da ABNT NBR 15200:2012 para um edifício de 40 pavimentos em situação de incêndio estrutural. **Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto**, Santa Catarina: IBRACON, 2018. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/328807921\\_Analise\\_da\\_ABNT\\_NBR\\_152002012\\_para\\_um\\_edificio\\_de\\_40\\_pavimentos\\_em\\_situacao\\_de\\_incendio\\_estrutural?enrichId=rgreq-d39de18b3598084dd7edeccc63861817-](https://www.researchgate.net/publication/328807921_Analise_da_ABNT_NBR_152002012_para_um_edificio_de_40_pavimentos_em_situacao_de_incendio_estrutural?enrichId=rgreq-d39de18b3598084dd7edeccc63861817-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyODgwNzkyMTtBUzo2OTA2Njc0ODMyOTk4NDFAMTU0MTY3OTM2ODM3Ng%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf)

[XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyODgwNzkyMTtBUzo2OTA2Njc0ODMyOTk4NDFAMTU0MTY3OTM2ODM3Ng%3D%3D&el=1\\_x\\_2&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/328807921_Analise_da_ABNT_NBR_152002012_para_um_edificio_de_40_pavimentos_em_situacao_de_incendio_estrutural?enrichId=rgreq-d39de18b3598084dd7edeccc63861817-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyODgwNzkyMTtBUzo2OTA2Njc0ODMyOTk4NDFAMTU0MTY3OTM2ODM3Ng%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf)>.

Acesso em: 28 mai. 2022.

OLIVEIRA, L. A. P. de. **Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural**. 2014. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 3. ed. v.2. 2007. Disponível em:

<[www.arquitecturaenacero.org/sites/default/files/adjuntos/manual\\_gerdau-proteccion\\_corrosion\\_e\\_incendio.pdf](http://www.arquitecturaenacero.org/sites/default/files/adjuntos/manual_gerdau-proteccion_corrosion_e_incendio.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2022.

PASQUALOTTO, F. L. **Avaliação da segurança contra incêndios de sistemas de compartimentação vertical em fachadas cortina**. São Leopoldo: UNISINOS, 2020.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Disponível em:

<[http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/9531/Fernando%20Luis%20Pasqualotto\\_.pdf?sequence=1](http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/9531/Fernando%20Luis%20Pasqualotto_.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 20 fev. 2022.

PEREIRA, Áderson Guimarães. **Prevenção de incêndios nas edificações e áreas de risco no estado de São Paulo**. THESIS. São Paulo, ano IV, n.8. p. 1-17, 2º semestre, 2007.

Disponível em: <[http://www.cantareira.br/thesis2/ed\\_8/1\\_aderson.pdf](http://www.cantareira.br/thesis2/ed_8/1_aderson.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2022.

PYNE, Stephen J. Shake and Bake A commentary on earthquakes and fire. **Variahist.**, Belo Horizonte, v. 33, n. 63, p. 583-589, Dec. 2017. Available from

<[http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-87752017000300583&lng=en&nrm=iso](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-87752017000300583&lng=en&nrm=iso)>. Accessed on 05 June 2022.

QUITES, Eduardo Emery Cunha; LIA, Luiz Renato Bastos. **Introdução à transferência de calor**. São Paulo, 2005. Disponível em:

<<https://www.academia.edu/download/50380018/APOSTILA-TRANSFERENCIA-DE-CALOR.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 22.

RABELO, Antônio Carlos Nogueira. **Dimensionamento de Alvenaria Estrutural segundo recomendações do Eurocode 6**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FACO-6AYPLC/1/159.pdf>>.

Acesso em: 03 jun. 2022.

RAMALHO, Marcio A. CORRÊA, Marcio R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.



RIGÃO, A. O. **Comportamento de Pequenas Paredes de Alvenaria Estrutural Frente a Altas Temperaturas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, São Maria, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Delegacia de Polícia Civil. **Relatório Final Boate Kiss**, 2013. Disponível em: <<https://www.pc.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20181247/06224708-20140718162221relatorio-ip-01-de-2013-licenciamento-da-boate-kiss-final.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

ROSEMANN, F. **Resistência ao Fogo de Paredes de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos pelo Critério de Isolamento Térmico**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

SANTIAGO FILHO, Hildo Augusto. **Estudo do comportamento de lajes de concreto armado em Situação de incêndio**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/30445/1/DISSERTA%20c3%87%c3%83O%20Hildo%20Augusto%20Santiago%20Filho.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

SCHMIDT, Frank W; HENDERSON, Robert E; WOLGEMUTH, Carl H. **Introdução às ciências térmicas: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1996. *E-book*. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=J\\_y1DwAAQBAJ&lpg=PR9&dq=transfer%C3%AAncia%20de%20calor&lr&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q=transfer%C3%AAncia%20de%20calor&f=false](https://books.google.com.br/books?id=J_y1DwAAQBAJ&lpg=PR9&dq=transfer%C3%AAncia%20de%20calor&lr&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q=transfer%C3%AAncia%20de%20calor&f=false)>. Acesso em: 13 mar. 22.

SEITO, A. I. et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 496. Disponível em: <[https://www.portalclubedeengenharia.org.br/wp-content/uploads/2018/12/Livro-a\\_seguranca\\_contra\\_incendio\\_no\\_brasil-1-Robson-Barradas-1.pdf](https://www.portalclubedeengenharia.org.br/wp-content/uploads/2018/12/Livro-a_seguranca_contra_incendio_no_brasil-1-Robson-Barradas-1.pdf)>. Acesso em 05 jun. 2022.

SEITO, Alexandre Itiu; DEL CARLO, Ualfrido. **Metodologia de análise de risco de incêndio**. 1995. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SILVA, Cintian Carla. **Estudo e análise da elaboração do projeto de prevenção e combate à incêndio e pânico em uma indústria de móveis em Formiga – MG**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2017.

SOUSA, Douglas Alves de; SILVA, Guilherme Pereira. **Estruturas de concreto em situação de incêndio**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível em: <[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTRUTURAS\\_DE\\_CONCRETO\\_EM\\_SITUA%20c3%87%C3%83O\\_DE\\_INC%20C3%8ANDIO.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTRUTURAS_DE_CONCRETO_EM_SITUA%20c3%87%C3%83O_DE_INC%20C3%8ANDIO.pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2022.

SOTO, I. I.; RAMALHO, M. A.; IZQUIERDO, O. S. Post-cracking behavior of blocks, prisms, and small concrete walls reinforced with plant fiber. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]**. v. 6, n. 4, p. 598-612. 2013. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1983-41952013000400006>>. Accessed ON 6 June 2022.

TEIXEIRA JÚNIOR, Mateus. **Avaliação do sistema de combate a incêndio e pânico de uma unidade de produção de cal: estudo de caso.** Formiga: UNIFOR-MG, 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Disponível em: <[https://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/xmlui/bitstream/handle/123456789/798/TCC\\_MateusTeixeiraJunior.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/xmlui/bitstream/handle/123456789/798/TCC_MateusTeixeiraJunior.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 11 jun 2022.

WOOLDRIDGE, M.; LUEBBERS, R. H. Heat transfer. In: AccessScience. McGraw-Hill Education. 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1036/1097-8542.311100>>. Accessed on 5 June 2022.

ZABEU, Leandro José Lopes. **Comportamento de estruturas de concreto de edifícios industriais compartimentados submetidos à situação de incêndio.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2011.811556>>. Acesso em: 11 jun 2022.

## ANEXO A - Tempos requeridos de resistência ao fogo

Grupo	Ocupação / Uso	Divisão	Profundidade do Subsolo hs		Altura da Edificação							
			Classe S <sub>2</sub> Hs > 10m	Classe S <sub>1</sub> Hs ≤ 10m	Classe P <sub>1</sub> H ≤ 6m	Classe P <sub>2</sub> 6m < h ≤ 12m	Classe P <sub>3</sub> 12m < h ≤ 23m	Classe P <sub>4</sub> 23m < h ≤ 30m	Classe P <sub>5</sub> 30m < h ≤ 60m	Classe P <sub>6</sub> 60m < h ≤ 80m	Classe P <sub>7</sub> 80m < h ≤ 120m	Classe P <sub>8</sub> 120m < h ≤ 250m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
B	Serviços de Hospedagem	B-1 a B-2	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
C	Comercial Varejista	C-1	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
D	Serviços Profissionais, pessoais e técnicas	D-1 a D-4	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
E	Educativa e cultural física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
G	Serviços Automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-6	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-6	90	60	30	30	60	90	120	150	180	
			90	60	30	30	60	90	120	150	180	
I	Industrial	I-1	120	90	30	30	60	90	120	150	180	
			120	90	30	30	60	90	120	150	180	
J	Depósitos	J-1	120	90	30	30	60	90	120	150	180	
			120	90	30	30	60	90	120	150	180	
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	90	30	30	60	90	120	150	180	
			120	90	30	30	60	90	120	150	180	
M	Especial	M-1	120	90	30	30	60	90	120	150	180	
			120	90	30	30	60	90	120	150	180	
		M-2	120	90	30	30	60	90	120	150	180	
			120	90	30	30	60	90	120	150	180	
		M-3 e M-8	120	90	30	30	60	90	120	150	180	
			120	90	30	30	60	90	120	150	180	
		M-5 e M-10	120	90	30	30	60	90	120	150	180	
			120	90	30	30	60	90	120	150	180	

## ANEXO B - Tabela de resistência ao fogo para alvenaria

Paredes ensaiadas (*)		Características das paredes										Resultado dos ensaios								
		Traço em volume da argamassa do assentamento			Espessura média da argamassa de assentamento (cm)	Traço em volume de argamassa de revestimento						Espessura total da parede (cm)	Duração do ensaio (min)	Tempo de atendimento aos critérios de avaliação (horas)			Resistência ao fogo (horas)			
		Cimento		Areia	-	Chapisco		Emboço		-		-	Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	-	-	-		
		Cimento	Cal	Areia	Cimento	Areia	Cimento	Cal	Areia	Cimento	Cal	Areia	-	-	-	-	-	-	-	
Parede de tijolos de barro cozido (dimensões nominais dos tijolos)	Melo tijolo sem revestimento	-	1	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	10	120	≥ 2	≥ 2	1½	1½	
	Um tijolo sem revestimento	-	1	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	20	395 (**)	≥ 6	≥ 6	≥ 6	≥ 6	≥ 6
5 cm x 10 cm x 20 cm. Massa: 1,5 kg	Melo tijolo com revestimento	-	1	5	1	1	3	1	2	9	2	9	2,5	15	300	≥ 4	≥ 4	4	4	4
	Um tijolo com revestimento	-	1	5	1	1	3	1	2	9	2	9	2,5	25	300 (**)	≥ 6	≥ 6	≥ 5	≥ 6	> 6
Parede de blocos vazados de concreto (2 furos) blocos com dimensões nominais: 14 cm x 19 cm x 39 cm e 19 cm x 19 cm x 39 cm; e massas de 13 kg e 17 kg respectivamente	Bloco de 14 cm sem revestimento	1	1	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	14	100	≥ 1½	≥ 1½	1½	1½	1½
	Bloco de 19 cm sem revestimento	1	1	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	19	120	≥ 2	≥ 2	1½	1½	1½
	Bloco de 14 cm com revestimento	1	1	8	1	1	3	1	2	9	2	9	1,5	17	150	≥ 2	≥ 2	2	2	2
	Bloco de 19 cm com revestimento	1	1	8	1	1	3	1	2	9	2	9	1,5	22	185	≥ 3	≥ 3	3	3	3
Paredes de tijolos cerâmicos de 8 furos (dimensões nominais dos tijolos 10 cm x 20 cm x 20 cm (massa 2,9 Kg)	Melo tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	2	9	1,5	13	150	≥ 2	≥ 2	2	2	2
	Um tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	2	9	1,5	23	300 (**)	≥ 4	≥ 4	≥ 4	≥ 4	> 4
Paredes de concreto armado monolítico sem revestimento	Traço do concreto em volume, 1 cimento: 2,5 areia média: 3,5 agregado graúdo (granizo pedra nº 3); armadura simples posicionada à meia espessura das paredes, possuindo malha de lados 15 cm, de aço CA - 50A diâmetro ¼ polegada											11,5	150	2	2	1	1½			
												16	210	3	3	3	3			

(\*) Paredes sem função estrutural ensaiadas totalmente vinculadas dentro da estrutura de concreto armado, com dimensões 2,8m x 2,8m totalmente expostas ao fogo (em uma face);

(\*\*) Ensaio encerrado sem ocorrência de falência em nenhum dos 3 critérios de avaliação.