

***UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ESCOLA DE ENGENHARIA  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL***

**Magno Marcos Miotto Parmigiani**

***ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE NORMAS BRASILEIRA  
E AMERICANA PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO***

Porto Alegre  
Novembro de 2021

**MAGNO MARCOS MIOTTO PARMIGIANI**

***ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE NORMAS BRASILEIRA  
E AMERICANA PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO***

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Comissão de Graduação do Curso de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como  
parte dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro Civil

**Orientadora: Ângela Gaio Graeff**

Porto Alegre  
Novembro de 2021

**Magno Marcos Miotto Parmigiani**

***ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA ENTRE NORMAS BRASILEIRA  
E AMERICANA PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO***

Porto Alegre, novembro de 2021

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof.a Ângela Gaio Graeff (UFRGS)**

PhD pela Universidade de Sheffield

Orientadora

**Prof. Jean Marie Desir (UFRGS)**

Dr. Pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Prof.<sup>a</sup> Vanessa Fátima Pasa Dutra (UFRGS)**

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## RESUMO

Este artigo tem como objetivo analisar e identificar as diferenças quanto aos métodos de dimensionamento de estruturas de concreto armado utilizando os procedimentos normativos brasileiro, através da NBR 15200:2012 (Projetos de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio) e a norma americana ACI/TMS 216.1M:2014 (*Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies*).

As normas foram estudadas a fim de encontrar diferenças, similaridades e comparações dos métodos de dimensionamento das estruturas de concreto armado. A norma americana neste aspecto é mais ampla, e contempla outros tipos de estruturas como paredes de alvenaria com uma ou mais camadas, lajes de cobertura e pilares de aço revestidos. A aplicação foi feita através de um estudo comparativo de seus procedimentos e foi desenvolvida uma análise crítica avaliando os resultados obtidos.

Desta forma foi possível identificar que apesar das duas normas têm focos bem diferentes, na questão da análise estrutural dos elementos de concreto armado, pode-se encontrar algumas semelhanças nos métodos utilizados. Porém, uma das principais diferenças que dificulta uma comparação direta dos métodos das duas normas é o fato que para valores tabelados, cada uma utiliza uma definição diferente de cobrimento da outra. Nos demais itens, notou-se que vigas apresentam valores bem distintos entre os dois procedimentos normativos e no caso de pilares, o procedimento brasileiro apresenta métodos analíticos para cálculo quando o pilar é exposto ao fogo em mais de uma face.

Palavras-chave: dimensionamento em situação de incêndio, comparativo de normas, proteção contra incêndio.

## **ABSTRACT**

This article aims to analyze and identify the differences in methods to assess the fire resistance of reinforced concrete between the Brazilian code NBR 15200:2012 (Design of Structures under Fire Exposure) and the American code ACI/TMS 216.1M:2014 (Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies).

Both codes were studied aiming to find differences, similarities and suitable comparisons between the methods used by both codes for reinforced concrete. The American code covers more topics and other types of structures, for example, multiple-layer walls, floors and roofs and steel columns encased in concrete or masonry. A critical comparative study was made, and the results were evaluated accordingly.

It was possible to identify that although both codes are focused on different aspects of fire resistance, has been found similarities in reinforced concrete analysis. However, one of the key points that hamper our analysis is the fact that both codes have a different description and use of concrete cover. On the other subject, it's noticed that beams have a higher variance among both codes and pillars are way less detailed on the American code than the Brazilian one, under the fire exposure on more than one side delimitation.

Keywords: design under fire exposure environment; code comparison, fire resistance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Definição de cobrimento segundo NBR15200:2012. (Fonte: NBR15200:2012, pg15).....	20
Figura 2 – Definição de cobrimento segundo ACI/TMS 216.1M:2014. (Fonte: Google Imagens) .....	20
Figura 3 – Resistência ao fogo de lajes de concreto de acordo com tipo de agregado, tipo de armadura, intensidade dos momentos e “u”. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg11). ....	30
Figura 4 – Diagrama de momento redistribuído aplicado em elemento uniformemente carregado. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 12). .....	30
Figura 5 – Resistencia do aço a altas temperaturas. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 13)	31
Figura 6 – Temperaturas internas de lajes durante testes de resistência ao fogo da ASTM E119. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 13) .....	32
Figura 7 – Resistência do concreto a altas temperaturas. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 14).....	33

## TABELAS

Tabela 1 - Resumo comparativo de disposições gerais das normas NBR 15200:2012 e ACI/TMS 216.1M:2014 para resistência em situação de incêndio. ....	18
Tabela 3 – Comparativo entre dimensões mínimas de lajes simplesmente apoiadas para resistência contra incêndio. ....	21
Tabela 4 – Comparativo entre dimensões mínimas de lajes contínuas para resistência contra incêndio. ....	22
Tabela 5 – Comparativo entre dimensões mínimas de lajes protendidas por barras para resistência contra incêndio. ....	23
Tabela 6 – Cálculo do cobrimento médio em vigas com mais de uma camada de armadura. .	24
Tabela 7 – Comparativo entre dimensões mínimas de vigas bi apoiadas para resistência contra incêndio. ....	25
Tabela 8 – Comparativo entre dimensões mínimas de vigas bi apoiadas para resistência contra incêndio. ....	25
Tabela 9 – Comparativo entre dimensões mínimas de vigas protendidas para resistência contra incêndio. ....	26
Tabela 10 – Comparativo entre dimensões mínimas de pilares com uma face exposta ao fogo. ....	27
Tabela 11 – Comparativo entre dimensões mínimas de pilares com duas ou mais faces expostas ao fogo. ....	28

## **LISTA DE SIGLAS**

ISB – Instituto Sprinkler Brasil

NBR – Norma Brasileira

ACI – American Concrete Institute

CBMSP - Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo

CTIF - Comité Technique International de Prévention et d'Extinction du Feu

SSP - Secretaria de Segurança Pública

IT – Instrução Técnica

ASTM – American Society for Testing and Materials

IBC – International Building Code

TRRF – Tempo requerido de resistência ao fogo

TRF – Tempo Resistencia ao fogo



## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_s$  – área da seção ( $\text{mm}^2$ );

$b$  – largura do elemento (mm);

$c_e$  – cobrimento como distância da extremidade da armadura longitudinal até a face exposta (mm);

$c_{eqv}$  – cobrimento equivalente (mm);

$c_1$  – cobrimento como distância do centroide da armadura longitudinal até a face exposta (mm);

$c_{med}$  – cobrimento médio (mm);

$c_{1hi}$  – espessura cobrimento medido à lateral da viga (mm);

$c_{1vi}$  – espessura cobrimento medido ao fundo da viga (mm);

$d$  – distância da linha neutra à face mais solicitada (mm);

$f'_c$  – resistência do concreto (MPa) – norma americana;

$f_{ck}$  - resistência do concreto (MPa) – norma brasileira;

$f_y$  – resistência do aço (MPa);

$h_{eq}$  - altura equivalente (mm);

$\text{kg/m}^2$  – quilograma por metro quadrado;

m – metro;

mm – milímetro;

$\text{mm}^2$  – milímetro quadrado;

$M$  - momento de utilização da estrutura (MPa);

$M_n$  - momento de resistência da seção (MPa);

$M_{n\theta}$  - momento de resistência sob situação de incêndio (MPa);

MPa – Mega Pascal;

$u$  – distância do eixo da armadura longitudinal até a face exposta (mm);

$u_{ef}$  – distância  $u$  efetiva (mm);

$\varnothing$  – diâmetro da armadura (mm);

$\omega$  – índice de armadura;

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>13</b>
<b>3. COMPARATIVO ENTRE NORMAS .....</b>	<b>15</b>
3.1 DEFINIÇÕES GERAIS .....	15
3.2 CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO .....	19
3.2.1 <i>Lajes</i> .....	20
3.2.2 <i>Vigas</i> .....	23
3.2.3 <i>Pilares</i> .....	26
3.2.4 <i>Cálculo da Redistribuição de Momentos em Situação de Incêndio</i> .....	29
3.2.5 <i>Função dos revestimentos no cálculo do cobrimento</i> .....	34
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>



## 1. Introdução

De acordo com o ISB:2021 (Instituto Sprinkler Brasil) no histórico desde 2012, os estados com maior número de notícias de incêndios estruturais reportadas são São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, somando 40.1% dos casos. Segundo dados estatísticos do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo (CBMSP:2021), só em 2021 foram contabilizados 4633 incêndios em edificações no Estado. No Brasil, segundo CORREA et al. (2018), as estatísticas nacionais destes incêndios são dispersas e sem um tratamento adequado, e esta fragilidade abre espaço para um desconhecimento geral e por conseguinte no surgimento de novas tragédias.

Os Estados Unidos, por outro lado, membro do CTIF (*International Association of Fire & Rescue Services*), elabora juntamente com entidades mundiais, um relatório anual estatístico chamado de *World Fire Statistics*. Além disso, o incêndio da espaçonave Apollo em 1967 deu o apoio necessário ao desenvolvimento da nova legislação que proporcionou a criação da Administração de Controle e Prevenção a Incêndios (*The National Fire Prevention and Control Administration*), em 1974, e desde então, os Estados Unidos coletam dados relacionados a incêndios. Entre 2017 e 2019, segundo o relatório (USFA:2021), foram 106700 incêndios em residências multifamiliares e destes, somente 400 mortes e 3875 pessoas feridas.

Os Estados Unidos conseguiram, ao longo dos anos, demonstrar que seus métodos de segurança contra incêndio de estruturas se mostram de certa forma eficientes e objetivos e, portanto, neste trabalho, o objetivo é avaliá-los em comparação com os métodos brasileiros para entendermos o que pode ser melhorado.

Casos de colapsos de estruturas de concreto armado devido à ação de incêndios foram recentemente reportados no Edifício Wilton Paes de Almeida, em São Paulo, no ano de 2018, e no prédio da Secretaria de Segurança Pública (SSP), em Porto Alegre, em julho deste ano.

O concreto é um material cujos constituintes não reagem da mesma forma diante das altas temperaturas, o que torna o efeito do fogo um grave problema, pois o aumento da temperatura dos elementos estruturais decorrentes da ação térmica do fogo causa alterações na micro e macroestrutura do concreto, afetando a capacidade estrutural tanto do concreto como

do aço empregado. Segundo ROCHA et al. (2016), observa-se uma considerável redução de rigidez de vigas de concreto armado de seção retangular à medida que as temperaturas se elevam, o que contribui para uma significativa diminuição da resistência da estrutura. Em vigas mistas de aço e concreto devido a presença do perfil metálico e de sua maior condutividade térmica em relação ao concreto, verifica-se maior aumento de temperatura no perfil metálico e, conseqüentemente, uma redução mais significativa de resistência à flexão do que as vigas de concreto armado. Segundo PIGNATTA (2016), uma das principais referências em segurança contra incêndio no Brasil, ainda podem ocorrer no concreto um fenômeno chamado de *spalling*, que é um lascamento da superfície do elemento de concreto submetido a um incêndio. O *spalling* reduz a área resistente do concreto e expõe a armadura ao fogo. Assim, são necessários projetos que atendam a especificações e que garantam a segurança estrutural das edificações em situação de incêndio.

Nesse contexto, esse trabalho busca comparar procedimentos normativos que tratam sobre a segurança estrutural das edificações de concreto armado, de forma a produzir uma análise crítica sobre os requisitos utilizados no Brasil e nos Estados Unidos, esse representado pelo ACI/TMS 216.1M:2014.

Na literatura, encontram-se diversos trabalhos comparativos de normas, algumas inclusive estrangeiras, como é o caso de MARCHETTO (2018), SCALCO (2021) e SCHEIDT (2020), que comparam os procedimentos normativos de saídas de emergência. por consequência, há um espaço para o desenvolvimento deste tipo de pesquisa em outras áreas, como é o caso do dimensionamento estrutural para situações de incêndio, abordado neste trabalho, e como é o caso de DE BRITTO (2018), que analisou um caso específico dimensionado com cada uma das normas analisadas. Sendo assim, uma análise das diferenças de cada norma nos seus métodos e abordagens demonstra-se relevante para o presente momento.

## **2. Metodologia**

Este trabalho analisará a norma brasileira de Projetos de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio (NBR 15200:2012) e a norma americana *Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies* (ACI/TMS

216.1M:2014), considerando as versões mais atuais e em vigor no momento da realização deste trabalho, sendo que qualquer atualização em uma das normas requer uma revisão deste artigo. As normas serão estudadas a fim de encontrar diferenças, similaridades e comparações dentro dos métodos de dimensionamento das estruturas de concreto armado. Embora a norma americana seja mais ampla, e contemple outros tipos de estruturas, serão analisadas somente estruturas de concreto armado, por ser uma limitação da norma brasileira. O processo de comparação será dividido por tipos de elementos estruturais sendo eles lajes, vigas e pilares, e uma análise crítica dos diferentes resultados será apresentada, com comparações diretas quando possíveis. Tabelas para cada tipo de elemento estrutural são demonstradas de acordo com o que cada norma define, e nos casos de metodologia analítica, uma breve descrição do procedimento será utilizada.

Como a metodologia das normas se aplicam a todos os tipos de elementos estruturais, são necessárias algumas delimitações dos elementos analisados para fins comparativos, sendo elas:

- i) Estruturas protendidas serão consideradas protendidas por barras;
- ii) Lajes simplesmente apoiadas serão consideradas armadas em uma só direção;
- iii) Vão entre vigas contínuas maior que 1,20 m e;
- iv) Concreto de agregados silicosos e peso específico padrão para concreto armado de 2500 kg/m<sup>3</sup>;

Estas delimitações permitem uma análise de estruturas com características similares, pois cada norma apresenta seu método de dimensionamento para elementos com características próprias, e podem ocasionar comparações errôneas entre situações distintas. O foco principal será uma comparação direta entre os métodos tabulares de cada norma, embora seja apresentada uma breve análise qualitativa de outros métodos.

### **3. Comparativo entre Normas**

#### **3.1 Definições Gerais**

As características de cada uma das normas descritas neste trabalho são diretamente conectadas e influenciadas pelos métodos construtivos de cada país. Ambas as normas são governadas, primeiramente, pelos procedimentos normativos de projeto de estruturas de concreto em temperatura ambiente dos respectivos países, sendo eles a NBR 6118:2014 e ACI 318:2019, para Brasil e Estados Unidos, respectivamente. Ou seja, os valores encontrados não devem ser inferiores aos projetados em acordo com estas normas e, caso forem, devem ser usados os mais favoráveis a segurança.

A NBR 6118:2014 exige cobrimentos mínimos em situação ambiente de 15 mm para todos os elementos estruturais, enquanto a ACI 319:2019 exige cobrimentos mínimos de 20 mm para lajes e 40 mm para vigas e pilares. Portanto, os valores demonstrados nesta comparação deverão, primeiramente, estar dentro destas especificações.

Na norma americana, vale ressaltar que a norma ACI/TMS 216.1M:2014 inclui cálculos para alvenarias, tanto estrutural como de vedação. Aqui no Brasil não há um procedimento normativo específico de cálculo para alvenarias, apenas normas para realização de ensaios, pela norma técnica de Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo e Método de ensaio - (NBR 10636:1989) e tabelas publicadas através da Instrução Técnica N°8 (IT N° 08:2019), desenvolvidas pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo e com padrões de alvenarias geralmente usados e o tempo requerido de resistência dos mesmos de acordo com o tipo de uso. Estes mesmos ensaios são definidos no processo americano pelo *Standard Methods for Fire Tests of Building Construction* (ASTM E119:2020), enquanto diversos fabricantes disponibilizam projetos de estruturas padronizadas com seus respectivos coeficientes de resistência ao fogo que são aceitos pelas entidades regulamentadoras do processo construtivo.

Outro ponto de destaque é o fato que a norma americana permite o uso de sistemas construtivos e projetos que foram aplicados no passado e mostraram um desempenho condizente com o necessário. Além disso, o uso de métodos emergentes ou novos não é

desmotivado. Já a norma brasileira define o uso de métodos de cálculo avançado com algumas considerações importantes.

No caso da NBR 15200:2012, o foco principal são estruturas de concreto armado ou protendido, com um detalhamento aprofundado dos cálculos, comportamentos dos materiais como aço e concreto sob o fogo. Esta análise possibilita um dimensionamento estrutural completo com o uso dos coeficientes modificados para a situação de altas temperaturas.

Ambas as normas definem o uso de métodos experimentais para análise das estruturas através de normas complementares.

Cada norma possui sua própria definição de tempo requerido de resistência ao fogo, sendo elas:

NBR 15200:2012 – Utiliza o valor chamado de TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo), que varia de 30 até 180 minutos, com incrementos de 30 minutos. Estes valores são definidos de acordo com o tipo de construção e seu uso pela IT N°08:2019, sendo 30 minutos o mínimo definido.

ACI/TMS 216.1M:2014 – Utiliza o chamado *Fire Resistance Rating* (Índice de Resistência ao Fogo), definidos de 1 a 4 com incrementos de 0,5, em horas. O mínimo índice definido pela norma é de 1 hora. Este valor é definido de acordo com a classificação da construção pelo IBC (*International Building Code*).

No geral, as normas têm focos distintos. A norma americana deixa de lado a parte técnica de materiais e procura padronizar cálculos para diferentes tipos de estruturas, como alvenarias de diferentes camadas ou com detalhamentos excepcionais, além de pilares revestidos e lajes em camadas e lajes de cobertura demonstrando a metodologia de cálculo de espessura equivalente, bastante empregada na norma. Detalha também, quando aplicável, como deve ser feito o isolamento de juntas entre estes elementos para garantir a função corta fogo de toda a estrutura. Ainda na parte de concreto, cobrimentos e espessuras de lajes e vigas são definidas considerando os diferentes pesos específicos das mesmas pelo tipo de agregado usado (concreto leve, normal e pesado). Também procura detalhar o cálculo analítico de



dimensionamento, através da redistribuição de momentos que ocorrem a altas temperaturas, deixando a parte técnica para tabelas e livros presentes na literatura. Já a brasileira, temos um foco no comportamento de materiais como aço e concreto, além de uma boa definição dos limites mínimos de dimensões e escopo de aplicação dos métodos. Apresenta tabelas mais diversificadas com valores de espessuras de cobrimento para dimensões padrão e um método analítico mais completo para análise de pilares, como observa-se nos itens a seguir. A norma brasileira ainda define reduções no tempo requerido de resistência ao fogo de acordo com o sistema de segurança contra incêndio presente no projeto e cita o dimensionamento através do cálculo e redistribuição dos momentos em situação de incêndio, chamado de método simplificado de cálculo, mas não o detalha. Ambas as normas apresentam um método similar de tabelas prontas com dimensões padrões, porém com valores bem divergentes, os quais serão analisados no item 3.2. A tabela 1 apresenta um breve resumo das definições gerais de cada norma, de acordo com os itens apresentados neste trabalho.

Tabela 1 - Resumo comparativo de disposições gerais das normas NBR 15200:2012 e ACI/TMS 216.1M:2014 para resistência em situação de incêndio.

	<b>NBR 15200:2012</b>	<b>ACI/TMS 216.1M:2014</b>
<b>Análise dos materiais (concreto e aço)</b>	Estudo do comportamento dos materiais a altas temperaturas;	Apresentação de tabelas de desempenho de ensaios;
<b>Metodologia para concreto</b>		
<i>Lajes e vigas</i>	Método Tabular;	Método Tabular e Redistribuição de Momentos em Alta Temperatura;
<i>Pilares</i>	Método Tabular e Analítico;	Tabela Simples Relacionada a Carga do Pilar;
<b>Resistencia de alvenarias</b>	Não Apresenta;	Método Tabular através de espessura equivalente (várias camadas) para alvenaria de bloco de concreto ou argila;
<b>Particularidades</b>	Determinação das delimitações de dimensionamento que a norma usa;	Cálculo para pilares de aço revestidos por alvenaria ou concreto;
	Cálculo do tempo equivalente reduzido de acordo com as medidas de segurança contra incêndio presentes;	Determina espessuras mínimas para concretos com diferentes tipos de agregados;
		Cálculo do tempo de resistência ao fogo de combinações de materiais e lajes de várias camadas;
		Métodos para determinar espessura equivalente de diferentes combinações de materiais;
	Juntas e estanqueidade são tratadas na análise de compartimentação vertical e horizontal, não apresentadas nesta norma;	Descrição de como executar juntas para garantir estanqueidade;
		Uso de acabamentos e sua contribuição à resistência ao fogo;
<b>Tempo de resistência ao fogo</b>	TRRF definido pela IT N°8 de 30 a 180 minutos, incrementos de 30 min;	Definido pelo IBC, índice de 1 a 4, referentes às horas, incrementos de 0.5;

### 3.2 Cálculo de Estruturas de Concreto

A NBR15200:2012 define um coeficiente de redução nos esforços em estruturas projetadas à temperatura ambiente dimensionadas a partir do ELU (Estado Limite Último) para casos de esforços em situação de incêndio de 0,7. Ainda, pode ser utilizada a verificação no estado limite último para situação excepcional. No método tabular, ainda é disponibilizada uma redução de cobrimento devido a diferenças entre armaduras calculadas e instaladas de acordo com o projeto estrutural a temperatura ambiente. A ACI/TMS 216.1M:2014 não menciona nenhuma redução de esforços, mas usa o momento de utilização da estrutura e recalcula o momento de resistência para situação de incêndio levando em consideração redistribuições de momentos para definir as armaduras mínimas e/ou cobrimentos necessários no método analítico. Já pelo método tabular, não há menção aos limites de utilização do método, somente que os valores não devem ser menores que os valores calculados pelo dimensionamento estrutural.

No Método Tabular há uma diferença substancial de definições entre as normas, onde a NBR 15200:2012 demonstra o cobrimento  $c_1$  calculado a partir do centroide da armadura longitudinal, demonstrado na Figura 1. Na ACI/TMS 216.1M:2014 este valor é calculado a partir da distância da superfície da armadura até a superfície do elemento exposto ao fogo, considerado como  $c_e$  e demonstrado na Figura 2. Portanto, para vias de comparação, a bitola da armadura acaba sendo um fator determinante, e neste ponto, a norma americana nos proporciona uma visualização mais simplificada. Quando comparados as definições de cobrimento diretamente, nota-se que quanto maior a bitola da armadura em estruturas analisadas pela NBR 15200:2012, maior é a diferença em relação a ACI/TMS 216.1M:2014 para uma mesma estrutura.

Figura 1 – Definição de cobrimento segundo NBR15200:2012. (Fonte: NBR15200:2012, pg15).

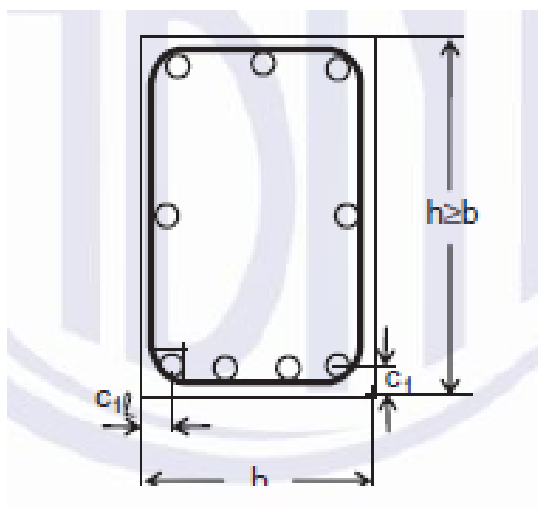
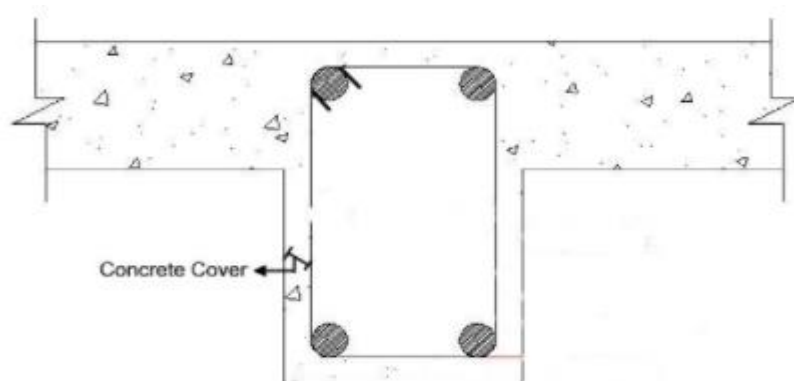


Figura 2 – Definição de cobrimento segundo ACI/TMS 216.1M:2014. (Fonte: Google Imagens)



### 3.2.1 Lajes

Para lajes, a NBR 15200:2012 apresenta detalhadamente somente o método tabular, divididos em lajes simplesmente apoiadas, contínuas, lisas e cogumelo, nervuradas contínuas ou simplesmente apoiadas e valores mínimos de espessura da laje para garantir a função corta fogo da estrutura. Na ocorrência de armaduras negativas (lajes contínuas), deve-se verificar os limites de redistribuição de momentos à temperatura ambiente e o comprimento mínimo de armadura necessário, ou utilizar-se dos dados de lajes simplesmente apoiadas. Para fins de comparação, os valores da tabela 3 foram definidas com a utilização de lajes armadas em uma única direção, já que a norma americana faz tal diferenciação.

Já a ACI/TMS 216.1M:2014 segue um outro processo, delimitando por tabelas as espessuras equivalentes mínimas necessárias, assim englobando diferentes formas de lajes (nervuradas, painéis ondulares, cogumelos etc.) através de item específico que é descrito na norma. Para os valores da tabela 3 foram utilizados os dados para concreto definidos na metodologia. Não é feita nenhuma ressalva sobre os valores tabelados, mas todos devem primeiramente serem verificados quando a norma própria de dimensionamento de estruturas de concreto (ACI 318:2019).

Tabela 2 – Comparativo entre dimensões mínimas de lajes simplesmente apoiadas para resistência contra incêndio.

TRRF (min)	NBR 15200:2012		ACI/TMS 216.1M:2014	
	$c_1^c$ (mm)	h(mm)	$c_e^a$ (mm)	$h_{eq}^b$ (mm)
<b>30</b>	10	60	-	-
<b>60</b>	20	80	20	90
<b>90</b>	30	100	20	110
<b>120</b>	40	120	25	125
<b>180</b>	55	150	30	155
<b>240</b>	-	-	40	175

<sup>a</sup>  $h_{eq}$  corresponde a altura equivalente da peça, determinada pela ACI/TMS216.1M:2014.

<sup>b</sup>  $c_e$  corresponde à distância da extremidade inferior da laje até a superfície da barra longitudinal.

<sup>c</sup>  $c_1$  corresponde à distância da extremidade inferior da laje até o eixo da barra longitudinal.

Nota-se no caso de lajes simplesmente apoiadas, os valores de espessura de laje definidos pelas duas normas são muito similares com uma diferença máxima de espessura de 12,5% a mais na norma americana para o caso de TRRF de 60 min. No caso dos cobrimentos mínimos, devido à diferença de definição que cada norma utiliza, uma comparação com a NBR 15200:2012 ficaria atrelada ao tipo de armadura usada. Porém para TRRF 60, a norma americana já demonstra ser mais conservadora nas suas dimensões mínimas, devido ao fato dela usar a definição de cobrimento mínimo dada pela ACI 318:2019 de 20 mm para todas as estruturas, enquanto a NBR 15200:2012 para o caso de 30 min apresenta um cobrimento inferior ao mínimo exigido em situação ambiente.

Para lajes contínuas (Tabela 4), os valores de cobrimentos de ambas as normas são menores, mantendo-se, porém, a espessura mínima de laje, pois esta é o que define a função corta fogo da estrutura. Ainda assim, a norma americana, apesar de manter valores fixos para

todos os tempos de resistência ao fogo (TRRF), demonstra-se mais moderada a tempos inferiores.

Tabela 3 – Comparativo entre dimensões mínimas de lajes contínuas para resistência contra incêndio.

TRRF (min)	NBR 15200:2012		ACI/TMS 216.1M:2014	
	$c_1^c$ (mm)	h(mm)	$c_e^a$ (mm)	$h_{eq}^b$ (mm)
30	10	60	-	-
60	10	80	20	90
90	15	100	20	110
120	20	120	20	125
180	30	150	20	155
240	-	-	20	175

<sup>a</sup>  $h_{eq}$  corresponde a altura equivalente da peça, determinada pela ACI/TMS216.1M:2014.

<sup>b</sup>  $c_e$  corresponde à distância da extremidade inferior da laje até a superfície da barra longitudinal.

<sup>c</sup>  $c_1$  corresponde à distância da extremidade inferior da laje até o eixo da barra longitudinal.

Em peças protendidas (Tabela 5), a NBR 15200:2012 apenas orienta um acréscimo de 10 mm para elementos protendidos de barras e 15 mm para fios e cordoalhas. A norma americana não define o tipo de elemento protendido a ser usado, define um valor fixo para elementos pré-tensionados no geral. Sendo assim, para lajes contínuas, a NBR 15200:2012 apresenta valores mais amplos de cobrimentos, porém com valores inferiores ao mínimo exigido pela NBR 6118:2014 para TRRF de 30 e 60 min. Mantendo-se em mente o fato da norma utilizar o eixo da armadura à borda como distância, um estudo mais aprofundado é necessário para avaliar se os valores estão similares aos da norma americana.

Tabela 4 – Comparativo entre dimensões mínimas de lajes protendidas por barras para resistência contra incêndio.

<b>Dimensões Mínimas Lajes Protendidas (Simplesmente Apoiadas)</b>				
<b>TRRF (min)</b>	<b>NBR 15200:2012</b>		<b>ACI/TMS 216.1M:2014</b>	
	$c_1^c$ (mm)	h(mm)	$c_e^a$ (mm)	$h_{eq}^b$ (mm)
<b>30</b>	20	60	-	-
<b>60</b>	30	80	30	90
<b>90</b>	40	100	40	110
<b>120</b>	50	120	45	125
<b>180</b>	65	150	60	155
<b>240</b>	-	-	70	175

<b>Dimensões Mínimas Lajes Protendidas (Contínuas)</b>				
<b>TRRF (min)</b>	<b>NBR 15200:2012</b>		<b>ACI/TMS 216.1M:2014</b>	
	$c_1^c$ (mm)	h(mm)	$c_e^a$ (mm)	$h_{eq}^b$ (mm)
<b>30</b>	20	60	-	-
<b>60</b>	20	80	20	90
<b>90</b>	25	100	20	110
<b>120</b>	30	120	20	125
<b>180</b>	40	150	20	155
<b>240</b>	-	-	20	175

<sup>a</sup>  $h_{eq}$  corresponde a altura equivalente da peça, determinada pela ACI/TMS216.1M:2014.

<sup>b</sup>  $c_e$  corresponde à distância da extremidade inferior da laje até a superfície da barra longitudinal.

<sup>c</sup>  $c_1$  corresponde à distância da extremidade inferior da laje até o eixo da barra longitudinal.

Para lajes cogumelos, lisas e nervuradas não existem tabelas específicas na norma americana para uma comparação direta, pelo fato da ACI/TMS 216.1M:2014 transformar as dimensões destes elementos em espessuras equivalentes. Sendo assim, é necessário o cálculo a partir de perfis específicos escolhidos para comparação, no qual é necessária uma análise mais detalhada.

### 3.2.2 Vigas

Para vigas, a norma brasileira segue o mesmo processo de lajes, com tabelas para vigas bi apoiadas ou contínuas, delimitadas por áreas e alturas mínimas em relação a base, além de detalhamento de valores de largura mínima no caso de vigas com largura variável ou diferentes formas. Quando as vigas são contínuas, deve-se verificar a área mínima de armadura negativa. E no caso de mais de uma camada, o cobrimento médio deve respeitar o cobrimento  $c_1$  mínimo tabelado, sendo feita uma média ponderada das menores distâncias de cada barra individual à

face da viga, como mostra a tabela 6. Barras de canto em vigas de uma camada devem ter cobrimento acrescidos de 10 mm na lateral.

No caso da norma americana, além das tabelas definidas, em vigas contínuas com vão menor que 1,2 m, define-se um valor padrão de 20 mm de cobrimento  $c_e$  em todos os casos. E em casos de mais de uma camada calcula-se uma média de cobrimento, porém o cobrimento mínimo de cada barra individual não deve ser menor que metade do tabelado ou 20 mm, o que for maior. Todos os valores devem ser aceitos pelo método de dimensionamento em condições normais de temperatura. Não há definições de larguras mínimas para vigas com largura variável ou formas diferentes.

Tabela 5 – Cálculo do cobrimento médio em vigas com mais de uma camada de armadura.

Cálculo $c_{med}$	NBR 15200:2012	ACI/TMS 216.1M:2014
Deve respeitar o mínimo tabelado	$c_{1med} < \frac{\sum c_{1vi} A_{si}}{\sum A_{si}}$ $\frac{\sum c_{1hi} A_{si}}{\sum A_{si}}$	Média da cobertura mínima de cada barra individualmente; Barras de canto usa-se metade do valor real no cálculo da média;

$c_{1vi}$  distância ao fundo da viga em mm;  $c_{1hi}$  distancia a lateral da viga em mm;  $A_{si}$  área da barra em  $mm^2$ .

Enquanto a NBR 15200:2012 utiliza-se de uma média ponderada, a ACI/TMS 216.1M:2014 simplesmente usa média aritmética, considerando a distância mínima como a menor distância a qualquer face da viga.

Definidos como os cobrimentos se comportam para diferentes casos de armaduras, chegam-se às tabelas comparativas 7 a 9. Vale notar que são as que mais apresentam variações de valores, devido à escolha de utilização de perfis com largura definida na ACI/TMS 216.1M:2014 para cada TRRF, enquanto a NBR 15200:2012 utiliza-se de combinações prontas de valores dependendo o TRRF solicitado.

Nota-se uma grande diferença de valores estabelecidos por cada norma, como por exemplo, na Tabela 7 a ACI/TMS 216.1M:2014 recomenda somente 25 mm de cobrimento para peças acima de 250 mm de largura para TRRF de 180 minutos, enquanto a NBR



15200:2012 já estabelece um mínimo de 70 mm para peças de 300 mm. Mesmo com a diferença de definição de cobrimento entre as normas, os valores estão bem distantes, e vale uma análise futura do método de cálculo de cada um deles para avaliar a origem desta discrepância.

Tabela 6 – Comparativo entre dimensões mínimas de vigas bi apoiadas para resistência contra incêndio.

TRRF (min)	<sup>a</sup> $c/b_{min}$					
	NBR 15200:2012			ACI/TMS 216.1M:2014		
	1	2	3	1	2	3
<b>30</b>	25/80	20/120	15/190	-	-	-
<b>60</b>	40/120	35/160	25/300	20/125	20/175	20/>250
<b>90</b>	60/140	45/190	40/300	25/125	20/175	20/>250
<b>120</b>	68/190	60/240	55/300	30/125	20/175	20/>250
<b>180</b>	80/240	70/300	65/400	-	45/175	25/>250
<b>240</b>	-	-	-	-	75/175	45/>250

<sup>a</sup>  $c$  é definido como  $c_e$  para coluna da ACI/TMS216.1M:2014 e como  $c_1$  para coluna da NBR 15200:2012.

Na mesma linha das vigas bi apoiadas, as contínuas (Tabela 8) apresentam valores bem distintos em cada norma, demonstrando um dimensionamento mais moderado para baixos TRRF para a norma ACI/TMS 216.1M:2014, mas à medida que o tempo requerido aumenta, o dimensionamento se torna bem menos exigente, se comparada à NBR 15200:2012. Neste caso, os valores mínimos tabelados não respeitam o mínimo requerido pela ACI 318:2019 para vigas, mas por serem bi apoiadas, acabam tendo exigências menores.

Tabela 7 – Comparativo entre dimensões mínimas de vigas bi apoiadas para resistência contra incêndio.

TRRF (min)	<sup>a</sup> $c/b_{min}$					
	NBR 15200:2012			ACI/TMS 216.1M:2014		
	1	2	3	1	2	3
<b>30</b>	15/80	12/160	-	-	-	-
<b>60</b>	25/120	12/190	-	20/125	20/175	20/>250
<b>90</b>	37/140	25/250	-	20/125	20/175	20/>250
<b>120</b>	45/190	35/300	35/450	20/125	20/175	20/>250
<b>180</b>	60/240	50/400	50/550	25/125	20/175	20/>250
<b>240</b>	-	-	-	30/125	20/175	20/>250

<sup>a</sup>  $c$  é definido como  $c_e$  para coluna da ACI/TMS216.1M:2014 e como  $c_1$  para coluna da NBR 15200:2012.

Com as vigas protendidas (Tabela 9) há uma diminuição para ambas as normas nos valores quando elas são contínuas uma vez que estão restringidas por outros elementos e, para a norma americana, apenas são permitidos elementos protendidos com mais de 200 mm de largura. A ACI/TMS 216.1M:2014 apresenta um limite de dimensionamento para vigas bi apoiadas de 200 mm de largura para TRRF acima de 180 minutos, pois as dimensões de cobertura exigidas de 125 mm tornam a execução praticas, segundo a norma. Apesar do método tabular apresentar grandes variações entre as duas normas, nota-se que para as vigas protendidas, ocorrem algumas similaridades em dimensões como é o caso do perfil 40/300 utilizado em ambas para TRRF de 60 minutos.

Tabela 8 – Comparativo entre dimensões mínimas de vigas protendidas para resistência contra incêndio.

TRRF (min)	<sup>a</sup> $c/b_{min}$								
	NBR 15200:2012 (para barras)				ACI/TMS 216.1M:2014				
	Bi apoiadas		Contínuas		Bi apoiadas		Contínuas		
<b>30</b>	35/120	30/190	27/160	-	-	-	-	-	-
<b>60</b>	50/160	40/300	27/190	-	40/200	40/>300	40/200	40/>300	40/>300
<b>90</b>	60/190	55/300	40/250	-	45/200	40/>300	40/200	40/>300	40/>300
<b>120</b>	75/240	70/300	50/300	50/450	65/200	50/>300	40/200	40/>300	40/>300
<b>180</b>	85/300	80/400	65/400	65/550	125/200	65/>300	45/200	40/>300	40/>300
<b>240</b>	-	-	-	-	-	75/>300	65/200	50/>300	50/>300

<sup>a</sup>  $c$  é definido como  $c_e$  para coluna da ACI/TMS216.1M:2014 e como  $c_1$  para coluna da NBR 15200:2012.

A análise das vigas demonstra dois processos diferentes de abordagem. A norma americana busca uma tentativa de padronizar os valores de forma a simplificar os perfis e a aplicação e utilizar os limites de 40 mm impostos pela ACI 318:2019. Já a norma brasileira busca entregar uma maior gama de opções para que a maior parte os elementos dimensionados estejam descritos e definidos.

### 3.2.3 Pilares

A NBR 15200:2012 apresenta a continuação do método tabular para pilares com uma face exposta ao fogo, assim como pilares circulares, retangulares e pilares-parede. Apresenta também um método tabular mais completo com diferentes valores mínimos de base e cobertura com base na resistência do concreto e aço relacionados com as solicitações em

situação de incêndio. A norma brasileira limita o dimensionamento a pilares com carga  $f_{ck}$  (resistência característica) menor ou igual a 50 MPa.

A ACI/TMS 216.1M:2014 é bem mais básica nesta análise e divide os dados em pilares com resistências características maiores ou menores que 83 MPa. Para cargas menores, a menor dimensão do pilar é definida através das tabelas 10 e 11, de acordo com o índice de resistência ao fogo, tipo de concreto e quantidade de faces expostas ao fogo. Para cargas maiores que 83 MPa a menor dimensão é definida como 610 mm para todos os índices. Já o cobrimento mínimo deve ser maior que 25 mm multiplicado pelo número de horas requeridas de resistência, ou 50 mm, o que for menor.

Portanto, para  $f_{ck}$  entre 50 e 83 MPa, não temos uma comparação entre as normas visto que a NBR15200:2012 não delimita cobrimentos para resistências acima de 50 MPa. Sendo assim, ao compararmos com os valores de cobrimento demonstrados pela ACI/TMS 216.1M:2014, esta pode estar superdimensionada quando comparada a norma brasileira pelo fato de abranger valores bem superiores de resistência de concreto.

Tabela 9 – Comparativo entre dimensões mínimas de pilares com uma face exposta ao fogo.

TRRF (min)	<sup>a</sup> $c/b_{min}$		
	NBR 15200:2012	ACI/TMS 216.1M:2014	
		Resistencia a compressão <83MPa	Resistencia a compressão >83MPa
<b>30</b>	25/155	-	-
<b>60</b>	25/155	25/200	25/610
<b>90</b>	25/155	37.5/230	37.5/610
<b>120</b>	35/175	50/250	50/610
<b>180</b>	55/230	50/300	50/610
<b>240</b>	-	50/350	50/610

<sup>a</sup>  $c$  é definido como  $c_e$  para coluna da ACI/TMS216.1M:2014 e como  $c_1$  para coluna da NBR 15200:2012.

A ACI/TMS 216.1M:2014 não apresenta dados sobre pilares-parede, mas são definidos os tempos requeridos de resistência ao fogo de pilares de aço revestidos por concreto e pilares ocos de aço preenchidos por concreto. O cobrimento, que neste caso se caracteriza pela espessura da camada, ou o índice de resistência ao fogo, é calculado através de equações definidas pela norma ou pela utilização de perfis pré-definidos.

Quanto aos dados tabelados, nota-se que a norma americana apenas atribui uma limitação em pilares de alta resistência, e no geral, são valores mais conservadores do que em relação à NBR 15200:2012, principalmente quando a base for de menor largura, devido ao fato das resistências atribuídas pela norma americana serem superiores do que as usadas pela norma brasileira.

Para pilares com mais de uma face exposta ao fogo (Tabela 11), a NBR 15200:2012 aconselha o uso do método analítico para pilares. Este método consiste em calcular o TRF (tempo de resistência ao fogo) a partir de uma equação que leva em consideração alguns parâmetros como forças normais resistentes, excentricidades e cobrimentos definidos pelo cálculo estrutural da NBR 6118:2014. Já a ACI/TMS 216.1M:2014 utiliza-se de tabela 11 e, portanto, para fins de comparação será apenas demonstrada as equações e características analisadas pelo método analítico da NBR 15200:2012.

Tabela 10 – Comparativo entre dimensões mínimas de pilares com duas ou mais faces expostas ao fogo.

TRRF (min)	NBR 15200:2012	<sup>a</sup> $c/b_{min}$	
		Resistencia a compressão <83MPa	Resistencia a compressão >83MPa
30	Recomenda-se Método Analítico	-	-
60		25/200	25/610
90		37.5/200	37.5/610
120		50/200	50/610
180		50/200	50/610
240		50/250	50/610

<sup>a</sup>  $c$  é definido como  $c_e$  para coluna da ACI/TMS216.1M:2014 e como  $c_1$  para coluna da NBR 15200:2012.

O método analítico da NBR 15200:2012 consiste em calcular o tempo de resistência TRF cujo valor deve ser igual ou superior ao tempo requerido de resistência (TRRF).

### 3.2.4 Cálculo da Redistribuição de Momentos em Situação de Incêndio

Apesar da norma brasileira NBR 15200:2012 citar a utilização desse método, apenas proporciona uma breve descrição do procedimento, sendo necessária a busca na literatura técnica de tabelas e formas de executá-la. Por isso, a ACI/TMS 216.1M:2014 explica o passo a passo como deve ser feita essa análise, demonstra o modelo de tabelas utilizados e como utilizá-las e as equações necessárias para chegarmos ao resultado, seja ele o tempo de resistência de determinado elemento ou a armadura e cobrimento necessário para um tempo de resistência requerido. Este método usa extensivamente os ensaios de diferentes materiais para diferentes tempos de resistência de acordo com a norma ASTM E119:2020 que padroniza a metodologia de testes e como aplicá-los. A metodologia é aplicada para cálculos de lajes e vigas bi apoiadas ou contínuas, e não é utilizado para pilares.

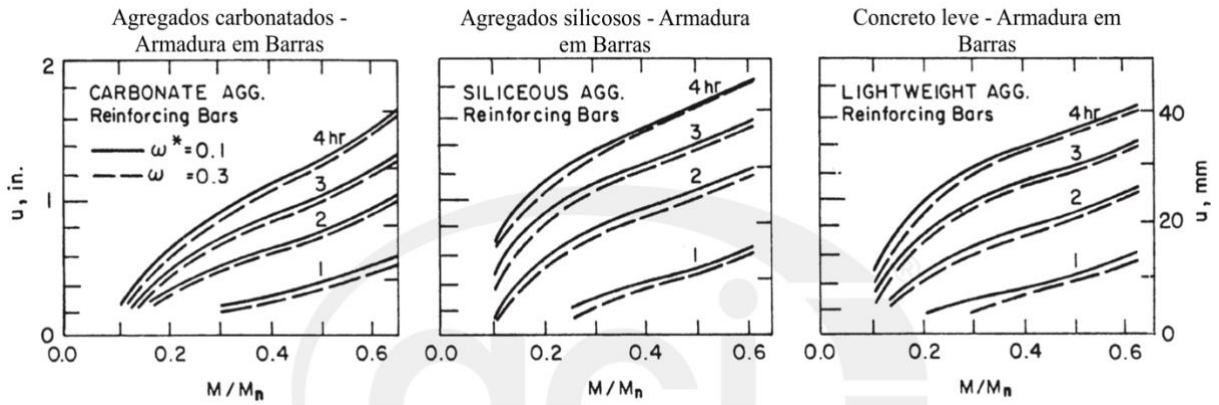
Este método define um valor “u”, que é o cobrimento médio entre o centroide da armadura até a face exposta ao fogo, o mesmo cobrimento empregado pela norma brasileira, porém diferente do aplicado anteriormente pela ACI/TMS 216.1M:2014. Para elementos com mais de uma camada de armadura utiliza-se a definição da Tabela 6.

Em elementos simplesmente apoiados, a ACI/TMS 216.1M:2014 define do ponto de comportamento estrutural uma relação simples entre os momentos, definido pela equação 2.

$$M_n \geq M_{n\theta} \geq M \quad \text{Eq. 02}$$

Onde  $M_n$  é o momento de resistência da seção,  $M_{n\theta}$  o momento de resistência sob situação de incêndio, e  $M$  o momento de utilização da estrutura que é considerado constante durante todo o período de exposição ao fogo nesta metodologia. E com isso, define-se através da figura 3 o tempo de resistência da estrutura sob fogo ou o cobrimento “u” necessário.

Figura 3 – Resistência ao fogo de lajes de concreto de acordo com tipo de agregado, tipo de armadura, intensidade dos momentos e “u”. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg11).



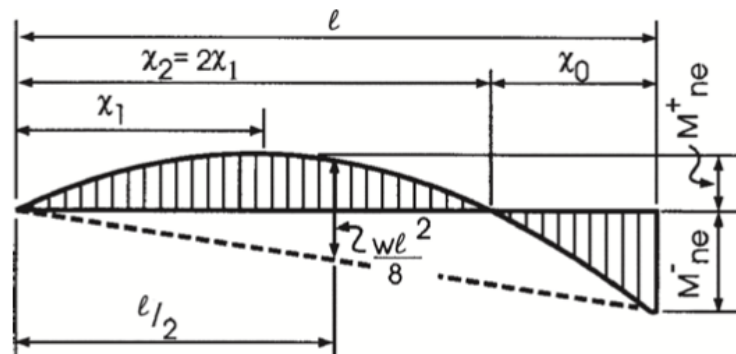
$\omega = A_s f_y / b d f'_c$ , onde  $A_s$  é área da seção em  $mm^2$ ,  $f_y$  a resistência do aço em MPa,  $b$  é largura em mm,  $d$  é distância da linha neutra à face mais solicitada, em mm e  $f'_c$  é resistência do concreto, em MPa.

A Figura 3 pode ser utilizada tanto para lajes como para vigas. Porém no caso de vigas, para as armaduras de canto deve-se utilizar um  $u_{ef}$ , considerado como metade do cobrimento real da peça, e calcula o “u” médio que deve ser usado em conjunto com a figura 3.

Em elementos contínuos, a redistribuição de momentos que poderá ocorrer durante a exposição ao fogo deve ser analisada. Neste caso, do ponto de vista estrutural, o momento positivo de resistência da seção em altas temperaturas  $M_{n\theta}^+$  deve ser reduzido para um máximo momento redistribuído a uma distância  $x_1$  (Equação 3),  $M_{x_1}$  como mostra a figura 4.

$$M_{n\theta}^+ = M_{x_1} \quad \text{Eq. 03}$$

Figura 4 – Diagrama de momento redistribuído aplicado em elemento uniformemente carregado. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 12).



Para o cálculo de  $M_{n\theta}^+$ , é necessário obter as temperaturas na região de máximo momento positivo, baseado no tipo de agregado, determinados pelos ensaios propostos pela ASTM E119:2020, como mostram as figuras 5 a 7.

Figura 5 – Resistência do aço a altas temperaturas. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 13)

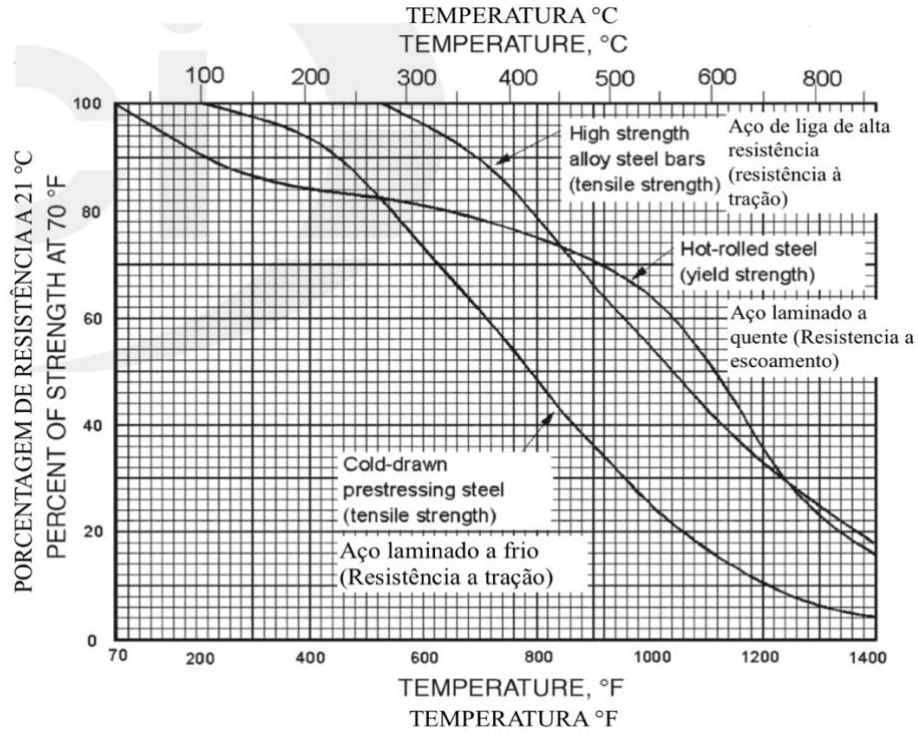
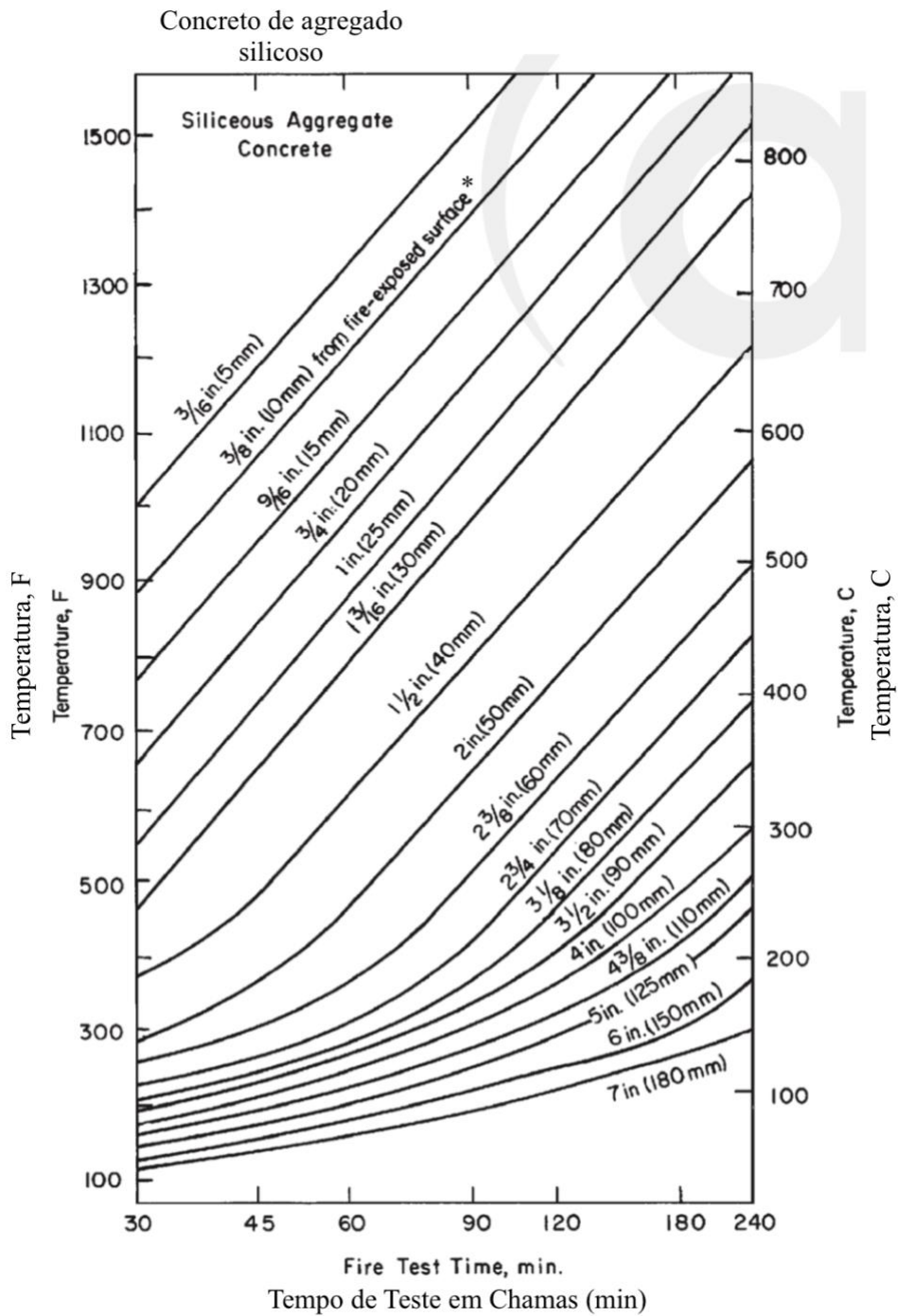


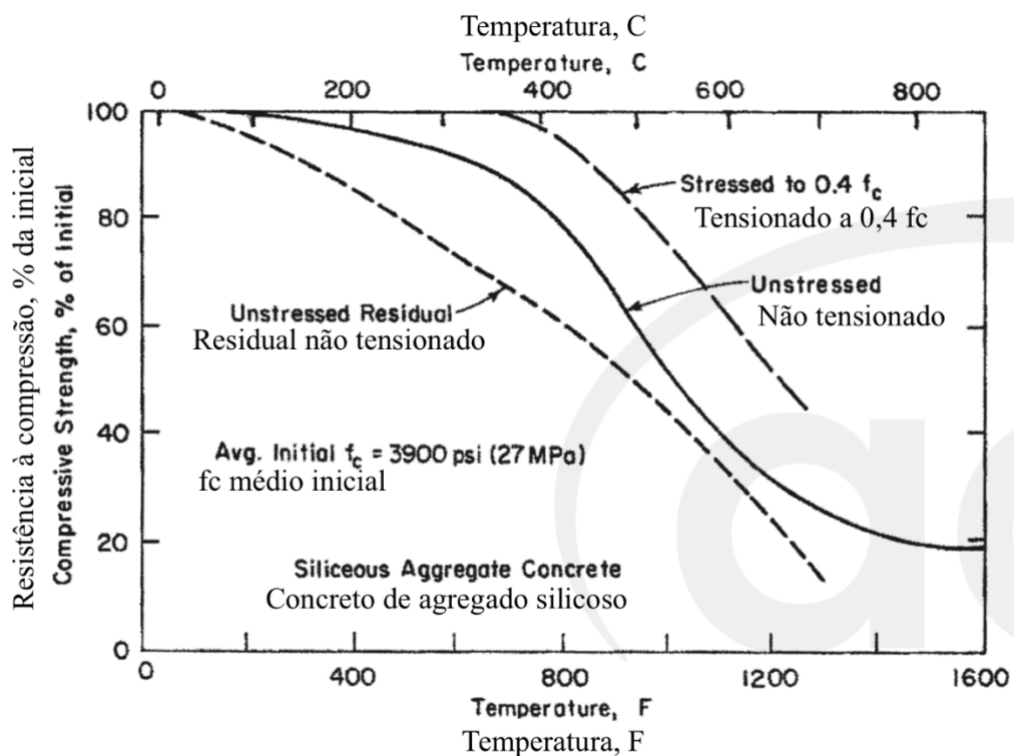
Figura 6 – Temperaturas internas de lajes durante testes de resistência ao fogo da ASTM E119. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 13)



\* Distância da face exposta ao fogo



Figura 7 – Resistência do concreto a altas temperaturas. (Fonte: ACI/TMS 216.1M:2014, pg 14)



As figuras 5 a 7 possibilitam encontrar os valores de resistência do aço e concreto na região mais solicitada da peça e, desta forma, calcular os momentos negativos, pontos de inflexão e o momento reduzido devido à redistribuição. A partir deste ponto o processo é o mesmo que para um elemento em temperatura ambiente, e desenvolve-se o dimensionamento do elemento, encontrando as áreas de armadura necessárias, momentos máximos positivos e negativos de acordo com o tempo requerido de resistência e o cobrimento proposto a partir da figura 3.

O método analítico para vigas segue o mesmo princípio exemplificado no caso das lajes, apenas variando as tabelas da literatura usadas, através dos valores de largura e tempo de exposição ao fogo para encontrar a curva de temperatura das peças para serem usadas nas equações definidas.

### **3.2.5 Função dos revestimentos no cálculo do cobrimento**

Ambas as normas citam que o tipo de revestimento pode ser considerado como proteção aos elementos da estrutura. A NBR 15200:2012 cita as eficiências relativas de acordo com o tipo de revestimento, onde revestimentos aderentes de argamassa de cal e areia tem 67% de eficiência em relação ao concreto, revestimentos de argamassa de cimento e areia aderentes tem a mesma eficiência do concreto e revestimento a base de gessos ou outros devem ter suas resistências demonstradas experimentalmente. A ACI/TMS 216.1M:2014 possui outra abordagem, demonstrando um fator multiplicador à espessura do revestimento de acordo com o tipo de revestimento utilizado ou o tempo de resistência adicional do revestimento se o mesmo estiver aplicado na face exposta ao fogo. A norma americana orienta o cálculo em situações em que cada face está exposta ao fogo, e usando a mais crítica como o tempo de resistência ao fogo do elemento.

Nota-se, portanto, que a ACI/TMS 216.1M:2014 tem um foco maior em acabamentos e diferentes combinações, enquanto padroniza as definições gerais de acordo com a espessura equivalente que estas combinações geram, facilitando a verificação.

## **4. Conclusão**

Apesar das duas normas terem focos bem diferentes, na questão da análise estrutural dos elementos de concreto armado, pode-se encontrar algumas semelhanças. Uma das principais diferenças que dificulta uma comparação direta dos métodos das duas normas é o fato que para valores tabelados, cada uma utiliza uma definição diferente de cobrimento da outra. Portanto, para uma comparação direta, seriam necessários definir para o caso da NBR 15200:2012 espessuras de bitolas ou comparar diretamente perfis reais com base no índice de resistência que este geraria entre uma norma e outra. A norma americana opta por uma menor variabilidade de valores e espessuras, enquanto na brasileira encontramos diversas combinações de cobrimentos e espessuras.

De qualquer forma, podemos notar uma similaridade nos valores de espessuras para lajes simplesmente apoiadas e uma menor variação de espessuras tabeladas na norma americana quando comparada à brasileira. Para lajes contínuas por outro lado, os valores de cobrimento

encontrados na norma americana são menores que os da norma brasileira, e seria um objeto de estudo futuro analisar como estas tabelas são definidas e avaliar se a norma americana está trabalhando com fatores de risco mais elevados ou simplesmente são devido ao uso de métodos distintos. No caso das vigas, a norma brasileira demonstra valores mais conservadores de cobrimento à medida que o tempo requerido de resistência aumenta, já a americana acaba sendo mais exigente a baixos tempos de resistência. O dimensionamento de vigas mostrou valores bem distintos entre as normas, com a norma americana usando poucas opções de larguras para todos os tempos de resistência enquanto a brasileira apresenta uma tabela mais completa para dimensionamento de elementos, com diferentes combinações de larguras e cobrimentos. Para pilares, porém, nota-se um preparo melhor da norma brasileira através do uso da análise analítica quando o elemento é exposto ao fogo em mais de uma face. A norma americana generaliza o processo em pilares com grandes carregamentos (acima de 83MPa) e pilares com um carregamento menor. Apesar disso, ela apresenta cálculos para combinações de pilares de concreto e aço revestidos por diferentes materiais que não vemos na norma brasileira.

No geral, a norma americana respeita os limites impostos pelo seu dimensionamento em situação ambiente, o que geram valores mínimos superiores aos definidos pela norma brasileira, que em alguns casos apresenta valores inferiores aos mínimos estabelecidos pela NBR 6118:2014. A norma americana vai além do dimensionamento com concreto armado, e apresenta métodos para uso em elementos geralmente usadas em suas construções, como pilares revestidos, lajes de diferentes camadas, lajes de cobertura e alvenarias. Um ponto importante é que ela demonstra os passos para recalcular momentos resistentes e suas redistribuições em situação de incêndio, caso que a norma brasileira apenas cita a utilização, mas não detalha. Este procedimento permite analisar qualquer elemento construtivo com base em ensaios dos materiais em laboratório. A norma americana inclui também em seu texto, cálculos para paredes com uma ou mais camadas, que não estão presentes na norma brasileira. A norma brasileira aborda com alto detalhamento estruturas de concreto armado, demonstrando desde como os materiais se comportam em situação de incêndio como demonstrando diversas ferramentas para calcular a resistência dos elementos construtivos.

Para uma análise comparativa direta, porém, é necessário um estudo mais aprofundado com perfis específicos definidos previamente para que sejam gerados valores quantitativos dos

resultados, que não fazem parte da delimitação deste trabalho, mas pode ser assunto para futuras pesquisas. Sugere-se também para trabalhos futuros um estudo de caso em prédios de diferentes geometrias desenvolveria, também, uma diversificação dos casos para aplicação das normas, gerando assim uma comparação fiel à realidade encontrada e com conclusões moldadas para os casos analisados.

## 5. Referências

- ABNT, 2012. **NBR 15200**: Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Associação brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2014. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ACI/TMS, 2014. **ACI/TMS 216.1M**: Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies. American Concrete Institute.
- ACI, 2019. **ACI 318**: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute.
- ASTM, 2020. **ASTM E119**: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. American Society for Testing and Materials.
- CBMSP, 2021. **Dados estatísticos do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo**. Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.ssp.sp.gov.br/Estatistica/CorpoBombeiro.aspx> (acessado 15/09/2021).
- Correa, C.; Duarte, D.; Braga, G. C.; 2018. **Fragilidade das Estatísticas de incêndios estruturais no Brasil**. Revista Brasileira de Saúde e Segurança no Trabalho Vol.1, 44-49.
- De Britto, C.; 2018. **Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado em Situação de Incêndio: Comparação de Requisitos Técnicos entre a ABNT NBR15200:2012 e a ACI/TMS-216.1M-14**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 114p.
- ISB, 2021. **Estatísticas Gerais de Incêndios Estruturais**. Instituto Sprinkler Brasil. Disponível em: <https://sprinklerbrasil.org.br/estatisticas-gerais/> (acessado em 15/09/2021)
- IT 8, 2019. **Instrução Técnica N8 – Resistência ao fogo dos elementos de Construção**. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo. 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) (acessado 15/09/2021).

- Marchetto, M. V.; 2018. **Comparação entre os Procedimentos Normativos Relativos a Saídas de Emergência do Rio Grande do Sul, São Paulo e Reino Unido**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 145p.
- Pignatta Silva, V.; 2016. **Projeto de Estruturas em Situação de Incêndio**. Livro Publicado Editora Blucher, 236p.
- Rocha, P.A.S.; da Silva, K.I.; 2017. **Estudo do Desempenho de vigas em Situação de Incêndio a partir do modelo de Fibras**. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño em Ingeniería 33, 65-71.
- Scalco, B. N.; 2021. **Comparativo entre os Procedimentos Normativos do Estado do Rio Grande do Sul e Australiano Referentes a Saídas de Emergência em Restaurantes e Casas Noturnas**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 26p.
- Scheidt, N.; 2020. **Comparação entre o Dimensionamento de Saídas de Emergência em Estabelecimentos Assistenciais de saúde (EAS) segundo a Legislação do Estado do Rio Grande do Sul, a Australiana e a ABNT NBR 16651**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 21p.
- USFA, 2021. **Multifamily Residential Building Fires**. United States Fire Administration. Disponível em: <https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/v21i7.pdf> (acessado 15/09/2021).