

# WORLD TRADE CENTER (WTC): CAUSAS E AS MODIFICAÇÕES NORMATIVAS APÓS A TRAGÉDIA

Marcel Pittol Trevisan<sup>1</sup>

Murilo Pedro Demarchi<sup>2</sup>

## RESUMO

O presente artigo é um estudo de caso que aborda o colapso no WTC, informando sobre as causas e modificações normativas após a tragédia. O artigo trata inicialmente sobre o motivo da queda da edificação, relata os códigos da estrutura vigentes na ocasião, a perda da resistência do aço e a perda da sustentação da estrutura. Em seguida, o foco é dado aos sistemas de segurança contra incêndio e pânico, principalmente os sistemas ativos (sistema de chuveiros automáticos, sistema hidráulico preventivo, sistema de alarmes e sistema de fumaça), ao relatar quais existiam e como se comportaram durante a tragédia. Na sequência, discorre-se sobre as 30 propostas de mudanças nas normas de construção resultantes do estudo da *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e acatado pelo *International Code Council* (ICC). Na conclusão, faz-se uma recapitulação dos assuntos abordados no desenvolvimento do trabalho e as mudanças de normas de maiores relevâncias. Sugere-se, por fim, que trabalhos futuros versem sobre o aproveitamento dessas mudanças de diretrizes decorrente do WTC para o incremento ou não das instruções normativas no Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina.

**Palavras-chave:** WTC. Normas. Segurança contra incêndio.

## 1 INTRODUÇÃO

O colapso das estruturas do *World Trade Center* (WTC), após os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001, é considerado um dos piores desastres da história, no qual, apesar de possuir diversos sistemas de prevenção de incêndio e emergência, resultou na morte de 2.749 pessoas. Neste acidente, mais de 400 bombeiros e atendentes de emergência estavam entre os mortos, a maior perda de vidas para este grupo em um único incidente (NIST, 2005).

---

<sup>1</sup> Cadete Bombeiro Militar do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Perito em Incêndio e Explosão. Bacharel em Engenharia de Materiais pela UFSC; e-mail: pittol@cbm.sc.gov.br

<sup>2</sup> Oficial do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, CFO-BM pela ABMDPII-RJ, Perito em Incêndio e Explosão, Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: demarchi@cbm.sc.gov.br

Desse modo, cabe destacar que esse é um caso no qual vários sistemas de segurança estiveram em funcionamento (sistema hidráulico preventivo, sinalização para o abandono de local, sistema de alarme e detecção de incêndio, etc). À vista disso, devido ao fato de o Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina (CBMSC) ser o responsável pela elaboração de normas de segurança contra incêndios e pânico em edificações, é importante o contínuo estudo e aperfeiçoamento das instruções normativas. Sendo assim, ao analisar essa tragédia, é possível aprender com os erros e acertos e replicar, se convir, esses conhecimentos no Estado de Santa Catarina.

Nesse sentido, por meio de um estudo de caso de grande repercussão mundial e relacionada à atividade do CBMSC, é possível a obtenção e o processamento de um conjunto de ativos informacionais que são de interesse da Corporação, o qual é capaz de gerar influência nas instruções normativas. Dessa maneira, este artigo tem o objetivo de produzir conhecimento a respeito da prevenção de incêndio e pânico por meio de análise do estudo de caso do WTC a respeito das causas da queda da edificação, e das mudanças normativas que advieram para que desastres como esses sejam evitados ou menos trágicos.

## **2 O COLAPSO ESTRUTURAL NO WTC**

O WTC, famosas Torre Gêmeas, que foram consideradas as mais altas torres do mundo até 1974, era composto por 110 andares distribuídos ao longo de 410 metros de altura, tinha área de projeção de 64 m<sup>2</sup> e peso de aproximadamente 500 mil toneladas cada. Apesar da alta carga atribuída ao peso próprio, a solicitação de maior influência era aquela referente à ação do vento, equivalente a um carregamento lateral de 5 mil toneladas (FEMA, 2002).

Tal altura e carregamento eram possíveis graças ao sistema de “coluna tubular” idealizado para as torres. O sistema consistia em 244 colunas de aço que delimitavam um núcleo vazio de 27 x 40 metros onde eram alojadas as caixas de escada e de elevadores. Em caso de falha de uma destas colunas, o carregamento era absorvido pelas restantes, pois o sistema era altamente hiperestático (FEMA, 2002).

O sistema de fechamento e lajeamento das torres consistia na utilização de placas pré-fabricadas de concreto, tornando os edifícios em estruturas basicamente modulares. Esse sistema construtivo também contribuía para a diminuição da carga de peso próprio, cujo valor seria muito maior caso os sistemas construtivos convencionais tivessem sido utilizados. (EAGAR e MUSSO, 2001)

## 2.1 CÓDIGOS DE CONSTRUÇÃO DO WTC

Os códigos de construção não exigem projetos de construção para considerar o impacto das aeronaves. Sendo assim, os edifícios não são projetados especificamente para suportar o impacto de aviões comerciais carregados de combustível. Apesar disso, documentos da Autoridade Portuária de *Nova York e Nova Jersey* (PANYNJ) indicavam que o impacto de um Boeing 707 voando a 600 mph, possivelmente colidindo com o 80º andar, foi analisado durante o projeto das torres do WTC em fevereiro/março de 1964. Todavia, o efeito dos incêndios subsequentes não foi considerado (NIST, 2005).

Sendo assim, os edifícios não são projetados para proteção contra incêndio e evacuação sob a magnitude e a escala de condições semelhantes às causadas pelos ataques terroristas de 11 de setembro de 2001. As condições de cargas induzidas pelos impactos da aeronave e os incêndios extensivos proporcionados pelo acontecimento, que desencadearam o colapso das torres do WTC, estavam fora da norma de cargas de projeto consideradas nos códigos de construção (NIST, 2005).

A evacuação prévia e a experiência de resposta a emergências em grandes eventos não incluíam o colapso total de edifícios altos como o WTC, os quais estavam ocupados e em uso diário. Em vista disso, as experiências anteriores sugeriam que os grandes incêndios em edifícios altos resultavam em condições de esgotamento, e não no colapso geral da construção (NIST, 2005).

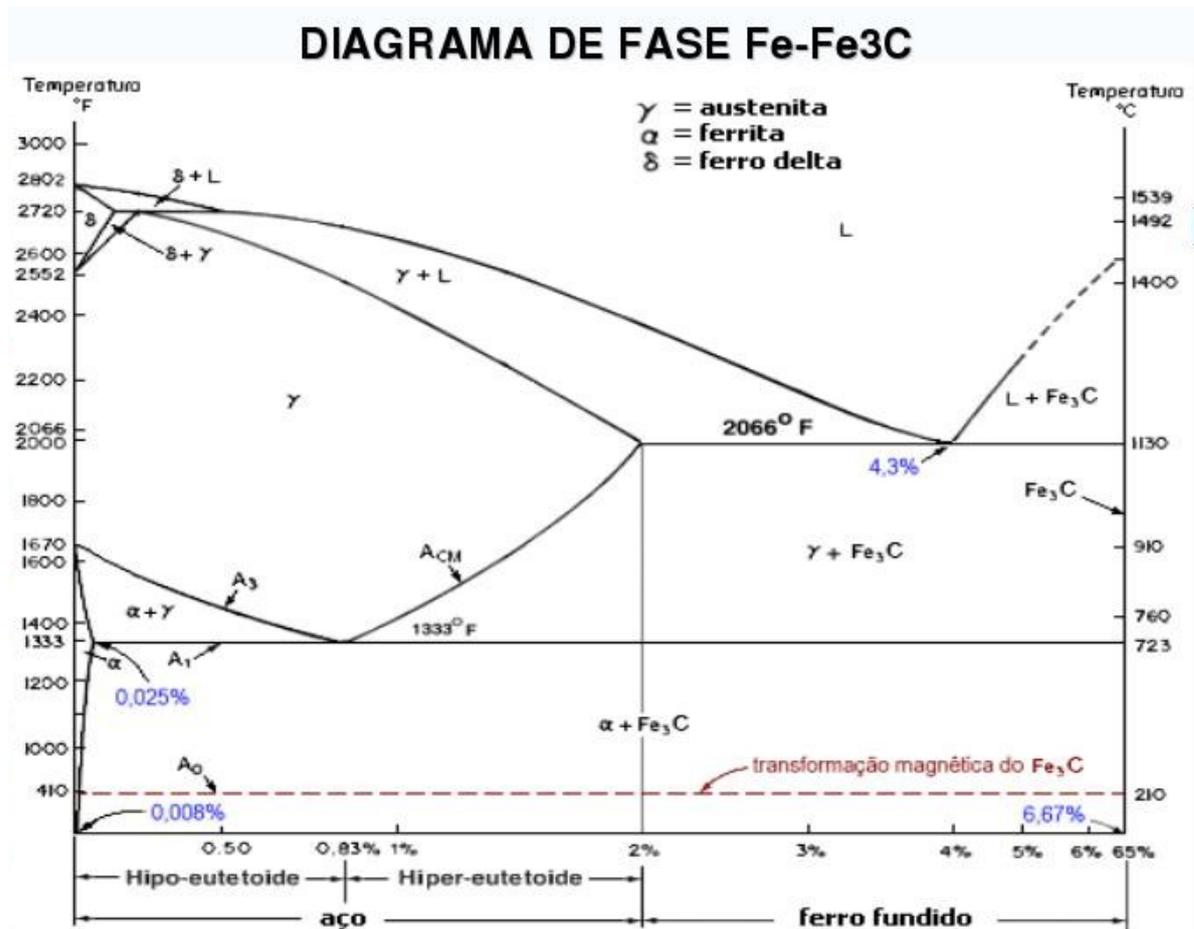
## 2.2 PERDA DE RESISTÊNCIA DO AÇO

O colapso progressivo de edifícios não é um fenômeno recente que tenha surgido devido às novas tecnologias ou técnicas construtivas. No entanto, foi após o trágico ataque às torres do *World Trade Center* em Nova Iorque, em 2001, que este tipo de evento passou a ser foco de atenção da comunidade científica internacional. O Brasil, apesar dos grandes avanços em pesquisas relacionadas ao estudo de estruturas, possui pouquíssimas referências no que diz respeito ao colapso progressivo (OLIVEIRA et. al, 2011).

O aço de construção civil traz na sua composição menos de 2% de carbono, o que lhe confere fragilidade sob efeito de exposição a temperaturas maiores que 400°C. Isso é um fator preocupante, já que a temperatura de um incêndio acaba atingindo valores bem acima disso (TORIC et.al, 2013). Ensaios realizados por Choe L., et al. (2011), demonstraram que colunas

metálicas perdem capacidade de carga e rigidez quando submetidas a temperaturas entre 500°C e 600°C. O ferro carbono possui uma composição denominada “ferro  $\alpha$ ” (ferrita) sob temperaturas até 723°C que muda para “ferro  $\gamma$ ” (austenita) ao ultrapassar este valor, como pode ser visto no diagrama de fases do ferro carbono na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de fases do ferro carbono.



Fonte: Callister, 2002.

Esta mudança de fase altera a estrutura molecular da liga metálica, o que modifica a capacidade de carga do elemento estrutural. Conforme a temperatura de exposição da estrutura metálica vai aumentando, a capacidade da peça de ferro em suportar esforços vai diminuindo. Em estruturas hiperestáticas, as cargas vão sendo redistribuídas para os elementos estruturais que ainda suportam mais carga devido ao fator de segurança com que foram projetados, mas conforme o incêndio, ou a causa da elevação da temperatura, vai se disseminando ao longo da estrutura e esses elementos estruturais entram em falência. (AGARWAL; VARMA, 2014)

## 2.3 PERDA DA SUSTENTAÇÃO DA ESTRUTURA

As treliças metálicas, no qual formaram uma coluna tubular, resistiram ao enfraquecimento significativo do núcleo, devido aos danos no impacto da aeronave e subsequentes efeitos térmicos, redistribuindo cargas das colunas centrais danificadas para colunas intactas adjacentes e, finalmente, redistribuindo cargas para as paredes do perímetro a partir das colunas centrais que estavam termicamente enfraquecidas, nos quais perderam sua capacidade de suportar o peso dos edifícios (NIST, 2005).

Dessa forma, a partir do momento que a estrutura não consegue mais redistribuir as cargas, acontece o colapso de elementos estruturais que, se ainda estiverem fisicamente ligados a outros, acabam trazendo abaixo aqueles que não tem inércia suficiente para suportar a tração gerada pela falência. Esse efeito é como observar uma fila de peças de dominó que vão caindo um após o outro gerado pela queda do primeiro da fila que empurra o segundo e assim sucessivamente. Esse tipo de falência estrutural é denominado colapso progressivo. O colapso do *World Trade Center* nos EUA em setembro de 2001 é um exemplo desse tipo de acidente, conforme descrito na literatura (AGARWAL; VARMA, 2014).

Em suma, o impacto das aeronaves por si só causou a diminuição de alguns dos graus de liberdade extras do sistema de coluna tubular, além disso, houve o aumento de carregamento devido ao peso da aeronave e à realocação de peso dos destroços dos andares inicialmente atingidos. Somando-se a isto um terceiro elemento, o fogo, com ocorrência de explosões, estava composto o cenário que levou à falha estrutural generalizada do sistema e ao conseqüente desabamento dos andares superiores aos pontos de ataque sobre os andares inferiores. A partir daí, a redistribuição de esforços e o fator dinâmico do processo fez com que as torres ruíssem sobre si mesmas. A alta hiperestaticidade do sistema construtivo das Torres Gêmeas não foi suficiente para suportar a ocorrência simultânea das cargas excepcionalmente inesperadas à que foram submetidas. (VLASSIS, 2007)

## 3 SISTEMAS CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO

A implementação de medidas de segurança contra incêndio em edifícios apresenta diversos desafios relacionados às características construtivas, à ocupação e à gestão da edificação. O principal objetivo da Segurança Contra Incêndio em Edificações é garantir a

segurança dos ocupantes na evacuação em caso de incêndio e facilitar e tornar mais efetivo o trabalho das equipes de resposta (BRENTANO, 2015).

A segurança depende da boa concepção do projeto de proteção e prevenção contra incêndio, a fim de permitir a rápida desocupação dos ambientes atingidos e ameaçados pelas chamas (SILVA, 2008).

Por se tratarem de edifícios com um grande número de ocupantes, altura elevada e ocorrência simultânea de serviços distintos, a segurança contra incêndio em edifícios administrativos altos exige medidas de segurança mais complexas do que em edifícios comuns. Por outro lado, nas edificações que possuem plano de emergência interno, devem ser realizados periodicamente exercícios para testar o referido plano e treinar os ocupantes, assim como para aperfeiçoar os procedimentos inerentes, com destaque para a organização direcionada para situações de emergência, de forma a criar rotinas comportamentais e de atuação (PINHEIRO, 2012).

Além do mais, evacuação de um edifício deve seguir um plano estruturado, no qual deve-se garantir determinados parâmetros de segurança. À guisa de exemplo, de critérios que devem ser observados para uma maior segurança, destacam-se: saídas de emergência apropriadas, em número e espaçamentos suficientes, distribuídas adequadamente e devidamente sinalizadas; as vias de evacuação devem ter largura adequada e, quando necessário, ser protegidas contra o fogo e os gases de combustão; as distâncias a percorrer devem ser limitadas.

Nesse contexto, o Estado de Santa Catarina está estruturado em instruções normativas (Ins), que têm por finalidade padronizar os procedimentos e requisitos mínimos de segurança contra incêndio e pânico para os imóveis fiscalizados pelo CBMSC, estabelecendo Normas de Segurança Contra Incêndios e Pânico (NSCI) no Estado de Santa Catarina, para a proteção de pessoas e seus bens.

No caso de Santa Catarina, atualmente as INs dividem a classificação do imóvel em 25 tipos de ocupações. A título de exemplo, pode-se citar: residencial privativa multifamiliar; residencial coletiva (pensionatos, asilos, conventos, internatos e congêneres); residencial transitória (hotéis, apart-hotéis, albergues, motéis e congêneres); comercial (mercantil, comercial em geral, lojas, mercados, escritórios, galerias comerciais, supermercados e congêneres); shopping center, entre outros (CBMSC, 2018).

No Estado, as edificações, que possuem características construtivas mais semelhantes ao WTC, são os arranha-céus em Balneário Camboriú. Para estes tipos de edificações, por

possuírem altura elevada e serem residenciais privativos multifamiliares, destacam-se os 3 últimos itens da tabela 1:

Figura 2 – Exigências para edificações na ocupação Residencial Privativa Multifamiliar

Parâmetro mínimo	Sistema ou medida obrigatório
Independente	Proteção por extintores
Independente	Saídas de emergência
Independente	Instalações de gás combustível (quando houver consumo de gás)
Independente	Iluminação de emergência e Sinalização para abandono do local nas áreas de circulação, nas saídas de emergência e nos elevadores
Independente	Materiais de acabamento e revestimento, ver IN 018/DAT/CBMSC
Independente	Piscina de uso coletivo, atender a IN 033/DAT/CBMSC
$H \geq 4$ pvtos ou $A \geq 750m^2$	Sistema hidráulico preventivo
$H \geq 4$ pvtos ou $A \geq 750m^2$	Plano de emergência
$H \geq 20m$ ou $A \geq 750m^2$	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (pode ser dispensado conforme a IN 010/DAT/CBMSC)
$H > 20m$	Sistema de alarme e detecção de incêndio
$H > 20m$	Dispositivo para ancoragem de cabos
$H > 50m$	Local para resgate aéreo
$H > 60m$	Elevador de emergência
$H > 150m$	Chuveiros automáticos (sprinklers)

Fonte – Instrução normativa 01 - (CBMSC, 2018).

### 3.1 SISTEMAS ATIVOS CONTRA INCÊNDIO

Os sistemas ativos de proteção contra incêndio são destinados a prevenir perdas por fogo, tanto de vida como de patrimônio, por meio da extinção, supressão ou controle do fogo por meio de dispositivos.

O WTC possuía diversos sistemas de segurança contra incêndio e pânico instalados e em funcionamento no dia do incidente. Esses foram estudados pela NIST, e foram divididos em três grandes grupos: sistema de chuveiros automáticos (sprinklers) e sistema hidráulico; sistemas de alarme de incêndio e sistemas de gerenciamento de fumaça.

#### 3.1.1 Sistema de chuveiros automáticos e sistema hidráulico

Segundo NIST (2005), a respeito dos sistemas de chuveiros automáticos (sprinklers) e sistema hidráulico, foram observados os seguintes aspectos:

- O sistema de *sprinklers* estavam instalados em todo o WTC (torres 1 e 2) em 11 de setembro de 2001;
- Tanques de armazenamento de água estavam diretamente conectados ao sistema de distribuição de água de Nova Iorque, o qual fornecia água às torres; os *sprinklers* eram pressurizados automaticamente pelos tanques.
- Era necessário o início manual de bombas elétricas de incêndio para fornecer água suplementar; a iniciação automática é exigida pela NFPA 14.
- Devido à magnitude dos incêndios iniciais e aos prováveis danos ao impacto da aeronave, não se poderia esperar que os sistemas de supressão nas torres do WTC controlassem os incêndios.

### **3.1.2 Sistemas de Alarme de Incêndio**

Segundo NIST (2005), no tocante aos sistemas de alarmes de incêndio, foram observados os seguintes aspectos:

- Existia sistema de detecção automática de incêndio, entretanto, havia a exigência da ativação manual de dispositivos de notificação. O sistema era capaz de determinar e exibir (1) áreas que, em algum momento, atingiram as condições do ponto de alarme e (2) áreas que não haviam atingido.
- O sistema de alarme do WTC tinha amplos recursos de comando de *backup* e *hardware* que fornecia vários locais onde os dados do histórico de alarmes eram armazenados;
- A ativação manual do sistema de notificação do alarme foi necessário nas torres do WTC para notificar os ocupantes do edifício;
- Os sistemas de alarme de incêndio nas torres do WTC sofreram degradação, onde todas as funções de notificação e comunicação foram perdidas acima dos pisos de impacto.

### **3.1.3 Sistemas de gerenciamento de fumaça**

Segundo NIST (2005), no que tange aos sistemas de gerenciamento de fumaça, foram observados os seguintes aspectos:

- Sistemas de purga de fumaça no WTC foram projetados para remover fumaça da área de incêndio após operações de supressão, para serem ativados manualmente pelo corpo de bombeiros de Nova Iorque;
- Os sistemas não foram iniciados em 11 de setembro; se eles tivessem sido, é improvável que o sistema funcionasse como projetado devido à perda de energia elétrica e danos nos elementos estruturais na zona de impacto;
- As torres do WTC não precisavam ter sistemas ativos de gerenciamento de fumaça porque os edifícios possuíam sistemas de chuveiros automáticos espalhados por todo o edifício;
- A pressurização da escada teria sido ineficaz na melhoria das condições para os ocupantes que tentavam sair dos edifícios.

#### **4 MUDANÇAS NORMATIVAS APÓS O COLAPSO DO WTC**

Os ataques de 11 de setembro no *World Trade Center* identificaram uma nova e desafiadora fronteira em segurança pública para o *International Code Council* (ICC), principal desenvolvedor de códigos e padrões de segurança de construção e indústria utilizado nos Estados Unidos.

Os códigos de construção e incêndio dos Estados Unidos da América historicamente têm sido responsivos à tragédia. Todavia, a atividade do ICC aumentou quando o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), uma agência federal, divulgou seu relatório sobre o Colapso do WTC, no qual contém 30 recomendações gerais para construções mais seguras (OHS, 2011).

Estas recomendações fizeram parte de uma longa investigação do NIST sobre os colapsos das torres do WTC. As mudanças foram adotadas nas audiências do ICC realizadas em 2008, quando foi incorporada na edição de 2009 do I-Codes do ICC, um código de modelo de última geração usado como base para a construção e regulamentações de incêndio promulgadas e aplicadas pelas jurisdições estaduais e locais dos EUA. Essas jurisdições têm a opção de incorporar algumas ou todas as provisões do código, mas geralmente adotam a maioria das provisões (NIST, 2017).

#### 4.1 MUDANÇAS EFETIVADAS

Segundo NIST (2017), foram efetivados 23 modelos de construção e do código de incêndio, consistentes nas recomendações de investigação do NIST, agora, exigidas pelos I-Codes, são elencadas abaixo:

- Uma escada de saída adicional (terceira) para edifícios com mais de 128 m de altura;
- Um aumento de 50% na largura das escadas de saída em edifícios novos com *sprinklers*;
- Permitir a utilização de elevadores para a evacuação dos ocupantes do edifício em caso de incêndios e outras situações de emergência, como uma alternativa para a escada de saída adicional necessária para edifícios mais de 128 m de altura. Esses elevadores de passageiros devem atender a critérios específicos para serem usados para fins de evacuação;
- Endurecimento das escadas de saída e passagem, além das caixas dos elevadores;
  - Para todos os prédios com mais de 128 m de altura;
  - Para prédios de 22,8 m a 128 m de altura onde a falha do recinto pode comprometer substancialmente a vida humana;
  - Em instalações essenciais como hospitais;
- Separar as caixas de escadas de saída a uma distância não inferior a 9 m ou não inferior a um quarto da diagonal máxima do edifício, o que for menor. Por exemplo, um edifício com uma planta de 15 m por 15 m teria uma diagonal de cerca de 21 m. Um quarto de 21 é de 5,25 m, o que seria a distância mínima necessária entre as saídas (uma vez que é inferior a 9 m);
- Um mínimo de um elevador de acesso de serviço de incêndio para edifícios com mais de 36,5 m de altura para que os bombeiros possam chegar ao local e combater incêndios, ou realizar outra atividade sem subir do piso térreo com equipamentos pesados, o que atrasaria e dificultaria o combate;
- O tamanho do lobby - do elevador de acesso de serviço de incêndio - deve possuir no mínimo 14 m<sup>2</sup> em área, com lados de pelo menos 2,5 m de comprimento;
- Manter o lobby de acesso ao elevador de serviço de incêndio livres, sem armazenamento de materiais;

- Maior confiabilidade dos sprinklers, no qual devem possuir no mínimo dois fornecimentos de água para cada área de sprinklers em edifícios com mais de 128 m de altura;
- Fornecer integridade estrutural mínima para paredes estruturais;
- Aumento de uma hora na classificação de resistência ao fogo de componentes estruturais e conjuntos em edifícios com mais de 128 m de altura;
- As partes do sistema estrutural devem possuir a maior resistência ao fogo normalmente requerida para as colunas. O sistema estrutural inclui as colunas, vigas mestras, vigas e treliças que possuem conexões diretas com as colunas; e membros projetados para suportar cargas;
- Ampliar a definição da estrutura estrutural primária para incluir elementos de contraventamento essenciais à estabilidade vertical (como sistemas de piso ou contraventamento transversal), independentemente de possuírem cargas gravitacionais;
- Aumento da força de adesão do concreto para proteção contra incêndio três vezes maior para edifícios de 22,8 m a 128 m de altura e sete vezes maior para edifícios com mais de 128 m de altura;
- Requisitos de instalação para proteção contra incêndio, no intuito de garantir que a instalação esteja em conformidade com as instruções do fabricante:
  - Os substratos (superfícies à prova de fogo) estão limpos e livres de qualquer condição que impeça aderência, testes são realizados para demonstrar que a adesão requerida é mantida para o aço, as superfícies pintadas ou encapsuladas, e o estado acabado da instalação à prova de fogo, após secagem ou cura completas, não apresentem fissuras, lacunas, delaminação ou qualquer exposição do substrato;
- Inspeções de campo especiais de proteção contra fogo para garantir que sua espessura, densidade e resistência de uniões instaladas atendam aos requisitos especificados e que um agente de adesão seja aplicado quando a resistência de união for menor que a necessária devido ao efeito de uma superfície de aço pintada ou encapsulada. As inspeções devem ser realizadas após a instalação dos sistemas mecânicos, elétricos, hidráulicos, de sprinklers e de teto;
- Marcações luminosas que delineiam o caminho de saída em edifícios com mais de 22,8 m de altura para facilitar a saída rápida e a evacuação total do prédio;

- Ampliação do uso de marcações luminosas para identificar obstáculos, portas de saída, sinais de saída e números do andar na rota de fuga em edifícios com mais de 22,8 m de altura;
- Marcações luminosas nas rotas de fuga em edifícios existentes com mais de 22,8 m de altura, com exceção de escadas abertas e não fechadas em edifícios históricos;
- Aumentar a área do Centro de Comando de Incêndio (a área da qual todas as operações do corpo de bombeiros são direcionadas e normalmente abrigando o painel de controle para alarmes, sprinklers, etc.) de 9 m<sup>2</sup> para 18,6 m<sup>2</sup> com, pelo menos, um lado de 3 m em edifícios com mais de 22,8 m de altura;
- Cobertura de rádio em todos os edifícios para que as equipes de emergência;
- Instalar um sistema de radiocomunicação de resposta de emergência para fornecer o nível necessário de cobertura de rádio em todo o edifício. Sistemas de comunicação com fio típicos seriam substituídos;

#### 4.2 MUDANÇAS EM ANÁLISE

Nove propostas adicionais de alteração de códigos baseadas nas recomendações do NIST sobre o WTC não foram aprovadas para a edição de 2009 dos I-Codes, mas serão consideradas para reapresentação em uma data posterior após serem alteradas. Desse modo, abaixo encontram-se elencados os itens: (NIST, 2017)

- Exigir que os edifícios com mais de 128 m de altura sejam projetados para resistir a um incêndio, sem mais do que uma falha local da estrutura local;
- Exigir que as estruturas não sofram um colapso desproporcional devido a uma falha iniciada por um acidente ou incidente;
- Exigir uma avaliação de risco e mitigação aceitável de riscos para edifícios:
  - Com mais de 128 m de altura e com número de ocupantes superior a 5.000;
  - Para edifícios com número de ocupantes superior a 10.000;
  - Para edifícios determinados em risco maior que o normal;
- Exigir o uso de um novo padrão para a realização de testes em túnel de vento;
- Exigir a instalação do sistema de comunicação e monitoramento de escadas a cada cinco andares de cada escada de saída. Também exigir, em edifícios com mais de 22,8 m de altura, um sistema de vigilância por vídeo em cada escada de saída, saguão de

elevador, casa de máquinas do elevador para melhorar a consciência situacional dos profissionais de emergência;

- Exigir planos de segurança contra incêndio e de evacuação para todas as ocupações e edifícios, quando exigido pelo Código Internacional de Incêndio;
- Exigir planos – além dos tradicionais meios de saída, locais dos elevadores, sistemas de proteção contra incêndios, equipamentos de combate a incêndios e acesso aos bombeiros – de construção esquemáticos detalhados, incluindo um Cartão de Informações do Edifício aprovado, a ser localizado em centros de comando de incêndio para mostrar o tipo de construção, acesso e pressurização de escadas, localização de tanques de combustível e materiais perigosos, disponibilidade e localização de hidrantes.
- Limitar o comprimento dos corredores horizontais usados para conectar uma escada a outra escada para edifícios de 15 m ou menos, em vez de em edifícios com mais de 23 m de altura.
- Permitir a opção de projetar edifícios com mais de 128 m de altura usando o Código do ICC, em vez das disposições de arranha-céus do International Building Code (IBC).

#### 4.3 RESUMO DAS MUDANÇAS

De modo geral, os novos códigos abordam áreas como:

- O aumento da resistência estrutural ao colapso de edifícios devido a incêndios e outros incidentes;
- Requer uma terceira escada de saída para edifícios altos;
- Aumenta a largura de todas as escadas em 50% em novos arranha-céus;
- Cria critérios de fortalecimento da colagem, instalação e inspeção adequadas de materiais resistentes ao fogo;
- Melhora a confiabilidade de sistemas ativos de proteção contra incêndio (como sprinklers automáticos);
- Exige uma nova classe de elevadores robustos para o acesso dos socorristas, em vez de uma escada adicional;
- Torna as marcações do caminho de saída mais predominantes e mais visíveis;

- Assegurar cobertura efetiva em todo o edifício para comunicações de rádio de emergência.

#### 4.4 RELAÇÃO COM O CBMSC

Ao se comparar as mudanças de normas aprovadas pela *International Code Council*, depois da tragédia do WTC, com as instruções normativas do CBMSC, percebe-se que há uma semelhança entre elas: a utilização de elevadores de emergência. Nesse quesito, constata-se que na norma catarinense há a exigência de uso para construções multifamiliares com altura superior a 60 m, e na norma da ICC a exigência é de no mínimo um elevador de acesso de serviço de incêndio para edifícios com mais de 36,5 m de altura.

Além disso, cabe destacar, de modo positivo, que nas instruções normativas do CBMSC há a previsão de uso de marcações luminosas para as portas de saída, sinais de saída e números do andar na rota de fuga para todos os tipos de edificações. Situação no qual vai ao encontro das normas da ICC.

### 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste artigo teve como objetivo geral produzir conhecimento a respeito de prevenção de incêndio e pânico por meio de análise do estudo de caso do *World Trade Center*. Essa finalidade foi atingida por meio do relato dos motivos da queda do WTC e das modificações feitas nas normas americanas de segurança contra incêndio e pânico e de construção após a tragédia, além das que estão em discussão.

No desenrolar-se da produção científica, angariou-se informações de órgãos oficiais americanos, tais quais *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e o *International Code Council* (ICC), além de outros artigos científicos para a realização deste estudo de caso, de um evento tão emblemático e de grandes proporções.

Sendo assim, percebeu-se que o motivo da queda do WTC foi devido ao desencadeamento de diversos fatores, nos quais destacam-se o sobrepeso causado pelo avião, o incêndio causado pelo impacto e combustível da aeronave, no qual fizeram a estrutura metálica perder sua resistência mecânica e sobrecarregar as estruturas de sustentação da construção.

Ademais, foi apresentado, no trabalho, as 23 normas já acatadas pelo ICC e as 9 que não foram aprovadas, entretanto, cabe destacar que ainda serão discutidas no futuro. Das normas aceitas, sobreleva-se na cobertura efetiva em todo o edifício para comunicações de rádio de emergência, uma terceira escada de saída para edifícios altos e a exigência de uma nova classe de elevadores robustos para o acesso dos socorristas.

Por fim, como este artigo se limitou a abordar unicamente as causas das quedas e quais foram as mudanças normativas que ocorreram devido ao colapso do WTC. Sendo assim, sugere-se que trabalhos futuros possam versar sobre o aproveitamento dessas mudanças de normas nas instruções normativas do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

## REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A.; VARMA, A. H. **Fire induced progressive collapse of steel building structures: The role of interior gravity columns.** Engineering Structures. 58, 2014, p. 129-140.
- BRENTANO, T. **A proteção contra incêndios no projeto de edificações.** Ed.: Edição de autor, 3a edição, Porto Alegre, RS, 2015.
- CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- CBMSC, Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. **Normas de Segurança Contra Incêndio. Instrução Normativa 001/DAT/CBMSC: da atividade técnica.** Florianópolis, 2015. 72 p. Disponível em: <[https://dat.cbm.sc.gov.br/images/arquivo\\_pdf/IN/IN\\_01\\_17-04-2015.pdf](https://dat.cbm.sc.gov.br/images/arquivo_pdf/IN/IN_01_17-04-2015.pdf)>. Acesso em 10 fev. 2019.
- CHOE, L.; VARMA, A. H.; AGARWAL, A.; SUROVEK, A.. **Fundamental behavior of steel beam-columns and columns under fire loading: experimental evaluation.** Journal of Structural Engineering – ASCE. 137, 2011, p. 954-966.
- EAGAR, Thomas W., MUSSO, C. **Why Did the World Trade Center Collapse? Science, Engineering, and Speculation.** JOM – The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, 53: 8 – 11, TMS, 2001.
- FEMA – Federal Emergency Management Agency, FEMA 403 – **World Trade Center Building Performance Study: Data Collection, Preliminary Observations and Recommendations.** FEMA – Federal Emergency Management Agency, 2002.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, NIST. **Findings on The World Trade Center Fire and Collapse.** Building and Fire Research Laboratory. Las Vegas, NV. June, 2005
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, NIST. **WTC Disaster Study Recommendations.** Fevereiro, 2017.
- OCCUPATIONAL HEALTH & SAFETY – OHS. **ICC: Building Safety Codes Changed as a Result of 9/11.** Sep, 2011
- OLIVEIRA, Cláudio EM.; SILVEIRA, Ricardo AM.; SOUZA Jr, João BM. **Eventos envolvendo colapso progressivo e suas implicações.** Ouro Preto, MG, Brasil. Novembro, 2011
- PINHEIRO, J. **Medidas de autoproteção de segurança contra incêndio em edifícios.** Volume I – Organização geral. Ed.: Autoridade Nacional de Proteção Civil, ANPC, Lisboa, 2012.

SILVA, V. P. **A segurança contra incêndio no Brasil. Cap. X - Segurança das estruturas em situação de incêndio.** Ed.: Projeto Editora, São Paulo, 2008

TORIC, N.; HARAPIN, A.; BOKO, I. **Experimental verification of a newly developed implicit creep model for steel structures exposed to fire.** Engineering Structures. 57, 2013, p. 116-124.

VLASSIS, A. G., **Progressive Collapse Assessment of Tall Buildings.** PhD Thesis, Imperial College London, London, England, 2007.