

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Maria Luiza Oldra

SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS:
UM COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS DE ESCADAS PREVISTOS NAS NORMAS
TÉCNICAS.

Florianópolis

2021

Maria Luiza Oldra

SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS:
UM COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS DE ESCADAS PREVISTOS NAS NORMAS
TÉCNICAS.

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. João Carlos Souza, Dr.

Oldra, Maria Luiza

SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS: UM COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS DE ESCADAS PREVISTOS NAS NORMAS TÉCNICAS / Maria Luiza Oldra; orientador, João Carlos Souza, 2021.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Proteção Passiva. 3. Saídas de Emergência. 4. Eficiência. I. Souza, João Carlos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Maria Luiza Oldra

SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS:
UM COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS DE ESCADAS PREVISTOS NAS NORMAS
TÉCNICAS.

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 6 de Maio de 2021.

Prof. Liane Ramos, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Souza, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Letícia Mattana, Mestre
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Mayara Paula Pegoraro Agnes, Engenheira Civil
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família, em especial aos meus pais, Dirceu e Estela, minha madrinha Amélia e à minha irmã de coração Beatriz.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a todos os professores que passaram em minha vida, desde a educação infantil até o ensino superior, que com muita paciência e dedicação, ensinaram-me não somente o conteúdo programado, mas também fatores importantes para meu crescimento pessoal e, conseqüentemente, minha formação profissional.

À Universidade Federal de Santa Catarina, que me proporcionou a oportunidade de possuir um ensino superior e a expansão de meus horizontes.

Ao Corpo de Bombeiros de São José, pela atenção, disponibilidade e vontade de ajudar e, também, aprender.

Agradeço ao meu pai, Dirceu, que desde sempre me ensinou a importância dos estudos e da dedicação. Além de me mostrar que não há problema em errar, o importante é parar, pensar e solucionar.

A minha mãe, Estela, por sempre estar ao meu lado, me apoiando, incentivando a vencer todos os obstáculos e me tornar uma pessoa cada vez mais forte.

A minha prima Beatriz, pelo seu companheirismo, e ao meu anjinho Vick, que me dedicou seu amor incondicional por 12 anos, me ensinando sobre responsabilidade, e amizade.

Ao meu parceiro Bruno, por me ensinar a ser paciente, por acreditar em mim e pela compreensão e apoio em todos os fins de semana dedicado aos estudos. Sou grata também pela nossa amizade incondicional criada ao longo de nossos anos.

Aos meus amigos, Beatriz, Thiago, Thaís, Marcelli, Ingrid, Landry e Guilherme, que permitiram que essa caminhada fosse mais alegre. Obrigada pelas palavras de encorajamento, apoio e puxões de orelhas.

Por fim, sou grata ao meu orientador, João Carlos Souza, pela paciência, confiança, dedicação depositada em mim e por todos seus ensinamentos e direções para a elaboração deste trabalho.

*“Pássaro negro cantando na calada da noite
Pegue essas asas quebradas e aprenda a voar
Durante sua vida
Você só estava esperando este momento para decolar”
(The Beatles, tradução nossa)*

RESUMO

Diante do risco de acontecer um incêndio em edificações, existem normas para regulamentar e proteger tanto as pessoas quanto o patrimônio. No Brasil, cada estado possui uma normalização quanto ao projeto de proteção à incêndio. Desse modo, este trabalho de conclusão de curso se restringe apenas ao estado de Santa Catarina, analisando a Instrução Normativa (IN) 9 do Corpo de Bombeiros de Santa Catarina (CBMSC) e a Norma Técnica Brasileira (NBR) 9077, normas que tratam das saídas de emergência. Com o aumento da população e da tecnologia, os edifícios estão cada vez mais complexos. Assim, as normas técnicas devem acompanhar essas mudanças arquitetônicas, levando em consideração novos fenômenos que podem influenciar no comportamento do fogo, fumaça e seus efeitos. O projeto de proteção à incêndio é formado de medidas passivas e ativas. Entre as passivas estão as saídas de emergência e seus tipos de escada. A escolha do tipo de saída de emergência deve ser feita quanto as características do edifício de forma que não sejam subprojetadas, majorando os riscos aos usuários, ou sobreprojetadas, que não aumentam o nível de segurança, mas apenas os investimentos. O objeto deste trabalho de conclusão de curso é analisar a eficiência das principais escadas de emergência previstas nas normas técnicas brasileiras por meio de revisão bibliográfica, as análises de incêndios reais e visitas ao corpo de bombeiros de São José, Santa Catarina, o qual forneceu um caso de estudo. O principal resultado obtido foi a constatação de que as normas, mesmo atualizadas, ainda precisam de aprimoramentos, pois ainda preveem mecanismos com desempenho insatisfatório em relação ao combate à propagação da fumaça. Ademais, ainda existe a possibilidade de falha tanto humana quanto de dispositivo, que podem até mesmo piorar o desempenho dos mecanismos de proteção à incêndio.

Palavras-chave: Proteção Passiva. Saídas de Emergência. Eficiência.

ABSTRACT

Given the risk of a fire occurring in buildings, there are safety standards to regulate and protect both people and property. In Brazil, since each state has its safety standards, this undergraduate thesis focuses on the state of Santa Catarina, analyzing the Normative Instruction (IN) 9 of Fire Department of Santa Catarina (CBMSC) and Brazilian Technical Standard (NBR) 9077, norms that approach emergency exits. With the increase in population and technological sophistication, buildings are becoming more and more complex, and technical standards must accompany these architectural changes, considering the new phenomena that can influence the behavior of fire, smoke and their effects. The fire protection project is formed by passive and active measures, among the passive is present the emergency exits and its types of stairs. The choice of the type of emergency exit must be made regarding the characteristics of the Building so that they are not under projected, increasing the risks to users, or over projected, which do not increase the level of security, Only investments. The objective of this undergraduate thesis is to analyze the efficiency of the main emergency stairs provided for in the Brazilian technical standards was evaluated through bibliographic review, analyzes of real fires and visits to the fire department of São José, Santa Catarina, which provided a case study. The result obtained was that the standards, even updated, still need improvement, as they still accept mechanisms with unsatisfactory performance in relation to combating the spread of smoke. In addition, there is still the possibility of both human and device failure, which can even worsen the performance of fire protection mechanisms.

Keywords: Passive Protection. Emergency exits. Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma Metodologia.....	22
Figura 2 – Tetraedro do fogo.....	27
Figura 3 – Formas de propagação de calor.....	29
Figura 4 – Transmissão de calor por convecção.....	30
Figura 5 – Transmissão de calor por radiação.....	31
Figura 6 – Transmissão de calor por condução.....	31
Figura 7 – Curva Temperatura -Tempo Real de um Incêndio.....	32
Figura 8 – Comportamento natural fumaça.....	34
Figura 9 – Comportamento natural da fumaça (Efeito Chaminé).....	36
Figura 10 – Comportamento da fumaça na Inversão Térmica.....	37
Figura 11 – O processo comportamento da resposta dos ocupantes de um edifício em um sinistro.....	40
Figura 12 – Escada não enclausurada.....	44
Figura 13 – Escada enclausurada protegida – Situação Normal - 1.....	45
Figura 14 – Escada enclausurada protegida – Situação 2.....	46
Figura 15 – Escada enclausurada protegida – Situação 3.....	47
Figura 16 – Escada enclausurada protegida – Situação 4.....	48
Figura 17 – Escada enclausurada à prova de fumaça.....	49
Figura 18 – Escada à prova de fumaça pressurizada.....	50
Figura 19 – Escada protegida com ventilação por janela na caixa de escada.....	52
Figura 20 – Escada protegida com ventilação por duto na caixa de escada.....	53
Figura 21 – Escada protegida – Situação 3.....	55
Figura 22 – Escada enclausurada com exaustão.....	56
Figura 23 – Escada enclausurada com ventilação.....	57
Figura 24 – Escada pressurizada padrão.....	59
Figura 25 – Escada pressurizada com smoke vent abrindo para o exterior.....	60
Figura 26 – Escada Pressurizada com DEF e DEA.....	61
Figura 27 – DEF e DEA presentes na antecâmara de uma PF.....	66
Figura 28 – PFP - Diferencial de pressão.....	67
Figura 29 – Propagação da fumaça entre os diferentes conceitos arquitetônicos.....	72

Figura 30 – Tempo total de evacuação e seus componentes	76
Figura 31 – Fumaça saindo da sacada e janelas do apartamento.....	77
Figura 32 – Porta Corta-Fogo vista de dentro da antecâmara	78
Figura 33 – DEF localizado na antecâmara.....	79
Figura 34 – Marcas da fumaça e calor.....	79
Figura 35 – Corredor do 10º pavimento.....	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos estudos apresentados	42
Quadro 2 - Quadro resumo do desempenho dos tipos de escada	69
Quadro 3 – Comparativo dos sistemas de ventilação utilizados em edificações	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
CBMSP	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo
CFAST	<i>Consolidated Model of Fires and Smoke Transport</i>
CPNSP	Comissão Tripartite Permanente de Negociação do Setor Elétrico em São Paulo
CTBUH	<i>Council on Tall Buildings and Urban Habitat</i>
DEA	Duto de Entrada de Ar
DEF	Duto de Extração de Fumaça
EEE	Escada Enclausurada com Exaustão
EEV	Escada Enclausurada com Ventilação
EP	Escada Enclausurada Protegida
EPF	Escada à Prova de Fumaça
FDS	<i>Fire Dynamic Simulator</i>
IN	Instrução Normativa
IT	Instrução Técnica
NBR	Norma Técnica Brasileira
NE	Escada não Enclausurada ou Escada Comum
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NSCI	Norma de Segurança Contra Incêndios
PcD	Pessoas com Deficiência
PF	Escada à Prova de Fumaça
PFP	Escada à Prova de Fumaça Pressurizada
SMV	<i>Smokeview</i>
VTT	<i>Technical Research Centre of Finland</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral.....	20
1.1.2	Objetivos Específicos	21
1.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
1.3	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	O FOGO	25
2.1.1	Fenômeno da combustão.....	25
2.1.1.1	Combustível.....	25
2.1.1.2	Comburente.....	26
2.1.1.3	Calor	26
2.1.1.4	Reação em Cadeia.....	26
2.1.1.5	Resíduos Sólidos.....	27
2.1.1.6	Chama	27
2.1.1.7	Fumaça.....	27
2.2	TRANSMISSÃO DE CALOR	29
2.2.1	Convecção.....	30
2.2.2	Radiação	30
2.2.3	Condução.....	31
2.3	EVOLUÇÃO DE UM INCÊNDIO	32
2.4	COMPORTAMENTO DA FUMAÇA	33
2.5	MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO.....	38
2.5.1	Proteção Passiva.....	38

2.5.1.1	Saída de Emergência.....	38
2.5.2	Proteção Ativa.....	39
2.6	COMPORTAMENTO HUMANO EM INCÊNDIOS	39
2.7	SOFTWARES PARA SIMULAÇÃO DE INCÊNDIOS.....	40
2.8	CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA DE ACORDO COM AS NORMAS	43
2.8.1	NBR 9077.....	43
2.8.1.1	Escada Comum	43
2.8.1.2	Escada enclausurada protegida	44
2.8.1.2.1	<i>Situação normal - 1</i>	45
2.8.1.2.2	<i>Situação 2</i>	46
2.8.1.2.3	<i>Situação 3</i>	47
2.8.1.2.4	<i>Situação 4</i>	48
2.8.1.3	Escada enclausurada à prova de fumaça.....	49
2.8.1.4	Escada à prova de fumaça pressurizada.....	50
2.8.2	Norma de Segurança Contra Incêndios do Corpo de Bombeiros de Santa Catarina.....	51
2.8.2.1	Escada comum	51
2.8.2.2	Escada protegida.....	51
2.8.2.2.1	<i>Escada Protegida com ventilação por janela na caixa de escada</i>	52
2.8.2.2.2	<i>Escada protegida com ventilação por duto na caixa da escada</i>	53
2.8.2.2.3	<i>Escada Protegida – Situação 3</i>	54
2.8.2.3	Escada enclausurada com exaustão	55
2.8.2.4	Escada enclausurada com ventilação.....	56
2.8.2.5	Escada à prova de fumaça.....	58
3	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ESCADAS.....	62
3.1	ESCADA COMUM.....	62

3.2	ESCADA ENCLAUSURADA PROTEGIDA	62
3.2.1	Mecanismo de ventilação localizado na caixa de escada.....	62
3.2.2	Mecanismo de ventilação localizado na circulação comum.....	63
3.2.3	Mecanismo de ventilação localizado na antecâmara.....	63
3.2.4	Mecanismo de ventilação localizado dentro da caixa de escada conforme IN 9 do CBMSC.....	64
3.3	ESCADA ENCLAUSURADA À PROVA DE FUMAÇA.....	64
3.4	ESCADA À PROVA DE FUMAÇA PRESSURIZADA.....	67
3.4.1	NBR 9077.....	67
3.4.2	NSCI do CBMSC.....	68
4	FATORES QUE INFLUENCIAM NO CONTROLE DA PROPAGAÇÃO DA FUMAÇA E SEUS EFEITOS.....	70
4.1	MEDIDAS DE PROTEÇÃO PASSIVA	70
4.1.1	Concepção arquitetônica das saídas de emergência	70
4.1.2	Ventilação	73
4.1.3	Resistência ao fogo.....	74
4.1.3.1	Porta resistente ao fogo.....	74
4.1.3.2	Parede resistente ao fogo	74
4.2	MEDIDAS DE PROTEÇÃO ATIVA	75
4.2.1	Iluminação.....	75
4.2.2	Alarme	75
5	CASO DE ESTUDO (EDIFÍCIO AFRODITE EM SÃO JOSÉ/SC).....	77
6	CONCLUSÃO.....	81
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

A descoberta do fogo foi primordial para o desenvolvimento do homem primitivo com significativa importância na sua evolução até os dias atuais. No início, o fogo era reconhecido como um segredo dos Deuses, e foi o seu domínio que alavancou o desenvolvimento do ser humano. O fogo trouxe inúmeros benefícios para a sociedade, para sobrevivência e avanço tecnológico. A sua problemática está na sua forma incontrolável, que muitas vezes podem apresentar danos patrimoniais e à saúde (ARAGÃO *et al.*, 2020).

Incêndios em edifícios podem acontecer a qualquer momento, o seu acontecimento é imprevisível, porém a possibilidade e risco não. Como existe a probabilidade relativamente grande de ocorrência, para minimizar os riscos das pessoas expostas ao sinistro, engenheiros e arquitetos devem projetar obras que atenuem os efeitos do fogo e deem tempo para evacuação do local garantindo rotas e tempo necessário para o seu abandono. Em caso de incêndios, é de extrema importância um projeto de segurança contra incêndio e pânico muito bem elaborado. Ele deverá prever rotas de fuga rápida e maneiras de diminuir a exposição dos envolvidos à fumaça tóxica dos envolvidos, pois, a fumaça é uma das principais causas de mortalidade das pessoas que não conseguem se evadir a tempo de edifício em chamas.

Segundo Neto (1995) p. 9, “o incêndio se apaga no projeto”. Ressalta-se necessidade de um projeto adequado de prevenção contra incêndio visando a proteção da vida humana e do patrimônio. Também é ressaltada a problemática de que projetistas, empresários e construtoras, consideram este tipo de projeto um obstáculo ao atendimento à norma, não apresentando retorno nos investimentos, pois muitas vezes os danos causados pelo incêndio está coberto por um seguro. Os projetos de sistemas de prevenção contra incêndios de edificações envolvem sistemas de proteção passiva e de proteção ativa. Esta pesquisa tem por objetivo estudar medidas de proteção passiva em edifícios, mais especialmente as características de diversos tipos de vias de escape dos ocupantes do prédio.

Nas medidas de proteção passiva são destacadas as saídas de emergência ou as rotas de fuga, itens de suma importância para o esvaziamento rápido do edifício. Nestas saídas, o controle da fumaça é fundamental. As rotas de fuga deverão ser projetadas de modo tal que, em caso de incêndio, a fumaça resultante da queima dos materiais não esteja ali presente. Os sistemas de controle de fumaça têm a função de bloquear o acesso de gases tóxicos nas rotas de saída emergencial e, ao direcioná-la para o exterior, impede a propagação nos ambientes onde

as pessoas estejam presentes, garantindo um caminho seguro dos ocupantes do edifício para o exterior.

A norma brasileira considera diversos tipos de escadas para as saídas de emergência, conforme a altura do edifício, área por pavimento e utilização ou função. Com a tendência atual de se construir edifícios cada vez mais altos, percebe-se a necessidade de se atualizar essa norma. Um dos principais motivos para a alteração da norma está no fato de que, a fumaça, após certa altura, tende a esfriar e ficar mais densa que o ar, ocorrendo a inversão térmica, o que dificulta o processo de exaustão dos gases acumulados no ambiente. Desse modo, dependendo do tipo de escada utilizado nesta saída, talvez não tenha a eficiência desejada. Assim como não é necessário escolher uma escada que proteja alturas maiores para um edifício que possui uma menor altura, já que não faz com que se obtenha maior eficiência ao combate incêndio, apenas há aumento de custos desnecessários.

Desse modo, o conhecimento sobre cada tipo de saída de emergência é importante para que se obtenha um projeto de segurança contra incêndios eficaz, que deva proporcionar rotas seguras para saída dos usuários do edifício e para entrada dos bombeiros que irão combater o foco do incêndio.

O tipo de escada adotada também deve apresentar eficiência relacionada com o investimento financeiro da obra, de modo que não sejam subprojetadas, ocasionando possíveis desastres que poderiam ter sido evitados, ou sobreprojetadas, ocasionando investimentos maiores sem o aumento dos benefícios.

Ademais, é necessário que as normas estejam sempre atualizadas devendo ser revogados os dispositivos que não apresentarem eficácia satisfatória no seu implemento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência das principais escadas de emergência previstas nas normas técnicas brasileiras e que são utilizadas em edifícios de grande altura: escada enclausurada, escada enclausurada à prova de fumaça e escada enclausurada pressurizada à prova de fumaça.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar os princípios básicos da química e da física do fogo, do fenômeno da combustão e dos componentes necessários para que ocorra um incêndio;
- b) Conhecer e caracterizar os processos de propagação de calor;
- c) Analisar as características da fumaça e a importância do controle de sua movimentação para preservar as saídas de emergências;
- d) Comparar os requisitos para saídas de emergência previstos na norma de Segurança contra Incêndios de Santa Catarina edição de 2020 (IN 9) e na Norma Brasileira nº 9077 (NBR 9077);
- e) Apresentar sugestões para possíveis melhorias das saídas de emergências previstas hoje nas normas técnicas.

1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia a ser aplicada para a realização deste trabalho é a seguinte:

- Realizar uma ampla revisão bibliográfica, na qual se consultarão livros, artigos, normas, dissertações, revistas, seminários, congressos e outros meios eletrônicos que se referem ao tema;
- Da revisão bibliográfica, obter análises de incêndios no Brasil e mundo, avaliando os aspectos positivos e negativos;
- Visitas ao Corpo de Bombeiros de Santa Catarina para coleta de dados;
- Analisar as saídas de emergências em relação ao controle de propagação da fumaça;
- Propor diretrizes para melhoria das saídas de emergência de grandes edifícios;
- Apresentar um caso de estudo;
- Conclusão sobre os fatos analisados.

A Figura 1 representa o fluxograma da metodologia aplicada.

Figura 1 - Fluxograma Metodologia



Fonte: Autora (2020)

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Projeto de prevenção contra incêndio envolve uma combinação entre medidas passivas e ativas de proteção. Esta combinação relacionada ao bom uso dos equipamentos pelos usuários é que fornece a eficiência do projeto. Por ser um tema amplo, esta pesquisa limitou-se apenas em discorrer sobre algumas saídas de emergência, ou seja, medidas passivas de proteção. Focou-se em classificar o tipo da escada da saída de emergência de acordo com sua ocupação, e por se tratar de um trabalho de conclusão de curso em que não se consegue abordar cada situação em sua amplitude, usou-se como base a residência multifamiliar, pois seu grau de proteção é relativamente inferior que os demais.

Os bombeiros militares de Santa Catarina da seção que cuida dos projetos de prevenção contra incêndio, estavam dispostos a ajudar, inclusive foi marcado uma visita em uma vistoria e no laboratório de fumaça dos bombeiros. No entanto, devido a situação da pandemia, visando evitar os riscos de contágio do novo coronavírus, os trabalhos foram

realizados remotamente. Mesmo com esse fator, os bombeiros disponibilizaram um caso de incêndio ocorrido em 2020 na cidade de São José.

Um dos objetivos iniciais era realizar simulações das saídas de emergência em caso de incêndio, e desse modo, analisar o comportamento da fumaça nessas saídas obtendo uma altura de eficiência para evacuação para cada tipo de escada. Porém o *software* gratuito *FDS + Smokeview*, inclusive citado na norma do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), fornece o tempo de evacuação de cada pavimento mais em relação à compartimentação da arquitetura, demonstrando um provável comportamento da fumaça. Entretanto seus dados não podem ser repassados para um outro *software* como o AutoCad, necessitando de outros *software*, como o *PyroSim*, para se obter um gráfico satisfatório. Esses *softwares* não são gratuitos, e por este motivo não foram realizados.

Outra limitação foi a questão da altura da edificação, o mais prudente seria analisar as alturas alcançáveis dos equipamentos disponíveis para o salvamento e combate para cada região. Acima dessa medida seria considerado alto, pois representam desafios ao bombeiro. Porém, desse modo, o trabalho ficaria muito focado em algumas localidades e poderia se afastar do objetivo principal que foi analisar as saídas de emergência previstas em normas técnicas.

O *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH), uma organização sem fins lucrativos que visa criar critérios para definir um edifício alto, define como prédio alto edifícios com 14 pavimentos ou mais, cerca de 50 metros de altura. Já o *SkyscraperPage*, o maior banco de dados do mundo em diagramas de arranha-céu, define edifícios com 12 ou mais pavimentos, cerca de 35 metros de altura, como edifícios altos. Já a *National Fire Protection Association*, Associação Nacional de Proteção à Fogo (NFPA), define os edifícios com 8 pavimentos, aproximadamente 23 metros de altura, ou mais como sendo de grande altura. (DUARTE, ONO, BENTO, 2020). Já a NBR 9077 considera prédios maiores de 30 metros, aproximadamente 10 pavimentos, como sendo edificações altas, enquanto a IN 9 do CBMSC não faz essa classificação, mas só torna obrigatório o uso de escadas pressurizadas em edifícios maiores de 75 metros, cerca de 25 pavimentos.

A escassez de bibliografia sobre a questão da inversão térmica da fumaça faz com que sejam recomendados ensaios para cada área que deseja ser estudada, como neste caso, no estado de Santa Catarina e de simulações computacionais, pois as reais podem pôr em risco as pessoas participantes, além de mobilizar uma grande equipe e não ser um teste limpo, resultando resíduos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 (INTRODUÇÃO) apresenta a contextualização, a problemática, justificativa, objetivos gerais e específicos, limitações do trabalho, metodologia e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 (REVISÃO BIBLIOGRÁFICA) discorre sobre os principais conceitos e fundamentos a respeito do tema. O capítulo é dividido em 8 partes, sendo as 4 primeiras partes do capítulo sobre fogo, fenômeno da combustão, métodos de transmissão de calor, e o comportamento de um incêndio e da fumaça. A quinta parte discorre sobre os métodos de proteção contra incêndio, as medidas passivas e ativas, caracterizando suas diferenças. A sexta parte trata do comportamento humano em incêndio. A sétima parte discorre sobre simulações de incêndios pelo software recomendado pela norma IN 9 do CBMSC. A última parte do capítulo caracteriza os tipos de saídas de emergência segundo consta nas normas NBR 9077 de 2001 e na IN 9 do CBMSC de 2020.

O Capítulo 3 (AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ESCADAS) expõe as análises das normas do presente estudo.

O capítulo 4 (FATORES QUE INFLUENCIAM NO CONTROLE DA PROPAGAÇÃO DA FUMAÇA E SEUS EFEITOS) apresenta os principais fatores que devem ser consideradas no momento da realização do projeto de proteção à incêndio pra que se obtenha uma eficiência e custo-benefício satisfatórios.

O Capítulo 5 (CASO DE ESTUDO) apresenta um caso de incêndio ocorrido em São José e fornecido pelo Corpo de Bombeiros de São José.

O Capítulo 6 (CONCLUSÃO) trata da conclusão e das recomendações pra trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O FOGO

Desde a pré-história, quando aproveitavam os incêndios naturais como maneira de conseguir o fogo, o homem descobriu que o fogo seria um de seus grandes aliados e que poderia acompanhá-lo rumo ao seu desenvolvimento, sendo o seu controle um dos primeiros avanços tecnológicos humanos responsáveis pela sua evolução (ARAGÃO et al.,2020).

Muitas teorias foram criadas sobre o que era o fogo. Muitas delas foram míticas, outras foram um pouco mais científicas e ainda havia aquelas que eram uma mistura de ambas. Apenas no século XVIII, com o nobre químico Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), demonstrou-se cientificamente, através de experimentos, que o fogo é consequência de uma reação química de combustão e batizou de oxigênio o gás fundamental para que ocorra o fenômeno da combustão (JENNIFER FOGAÇA, 2020).

2.1.1 Fenômeno da combustão

O fenômeno da combustão, popularmente conhecido como fogo, é o resultado de uma reação química exotérmica autoalimentada envolvendo uma sequência de um combustível, um comburente e calor que formam uma reação em cadeia. Esses são denominados como os elementos essenciais do fogo. A Equação 1 resume em forma de reação química a combustão (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).



2.1.1.1 Combustível

São substâncias que servem de campo para a propagação do fogo, capazes de produzir calor, chama e gases por meio da reação química de combustão. Essas substâncias podem ser encontradas no estado físico sólido, líquido ou gasoso, de forma natural ou artificial. Cada combustível possui seu poder calorífico, a quantidade de energia contida por unidade de massa, ou volume para o estado gasoso, liberada na sua oxidação (CBMSP, 2019).

Materiais orgânicos são os naturais mais combustíveis, muito presentes nas zonas rurais. Já os materiais inorgânicos, nas condições normais, apenas alguns são. Alguns exemplos são a madeira, o papel, o óleo e o algodão (UFRJ, 2005).

2.1.1.2 Comburente

O comburente mais comum é o oxigênio existente no ar atmosférico, é a substância que possibilita e intensifica a reação química de combustão (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

Em síntese, comparado um mesmo combustível em ambientes diferentes, sendo a única diferença a concentração de comburente do ambiente, o combustível que estiver no ambiente mais rico gerará mais calor, mais luz e suas chamas serão mais intensas.

2.1.1.3 Calor

Por definição, calor é uma forma de energia térmica em trânsito entre corpos que possuem temperaturas distintas, em virtude da diferença de temperatura entre eles. A direção desse trânsito de energia é sempre do sistema com maior temperatura para o de menor temperatura (SCHULZ, 2009).

É o calor que fornece a energia de ativação necessária para iniciar o processo de combustão, ou seja, a ignição, pois algumas substâncias ao serem aquecidas podem sofrer mudanças físicas e químicas, desprendendo-se gases combustíveis que irão entrar em combustão, sendo a fonte de ignição (ARAGÃO et al., 2020).

2.1.1.4 Reação em Cadeia

A sequência dos eventos citados anteriormente, o combustível, o comburente e o calor, resultam na combustão. O processo se torna contínuo e progressivo, pois o produto de uma transformação gera outra transformação, gerando um ciclo que só para quando cessa um dos elementos essenciais da combustão (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

De maneira geral, o fenômeno da combustão pode ser representado pela Figura 2, a qual mostra o tetraedro do fogo. O tetraedro do fogo representa as condições indispensáveis ao início da combustão e a reação química em cadeia formada.

Figura 2 – Tetraedro do fogo



Fonte: CBMSC (2018)

2.1.1.5 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são os que não conseguem ascender devido a sua maior densidade em comparação com o ar atmosférico, mesmo com sua temperatura sendo superior. Alguns exemplos desses resíduos são a brasa, o carvão e as cinzas (ARAGÃO et al., 2020).

2.1.1.6 Chama

Segundo o Dicionário Michaelis (2020), chama é a “luz que se eleva de matérias incendiadas e é resultante da combustão dos gases por elas produzidos”. É a parte que fornece luz e calor.

2.1.1.7 Fumaça

A fumaça é constituída dos gases, vapores, calor e partículas sólidas em suspensão. Enquanto possuem alta temperatura, sua densidade é menor que a do ar do ambiente, consequentemente ela ganha um movimento ascendente. Com o passar do tempo, quando a temperatura da fumaça abaixa, sua densidade aumenta ficando maior que a do ar. Logo estas substâncias começam um movimento descendente (GORDON E. HARTZELL, 1986).

Incêndios e queimaduras são a terceira maior causa de mortes em acidentes domiciliares, sendo a inalação da fumaça a responsável pela maior parte dos óbitos. O pânico provocado pela fumaça nas vítimas pode ser o resultado da redução de visibilidade, irritação e lacrimejamento nos olhos, vômitos, aumento da respiração que conseqüentemente aumenta a inalação do ar contaminado, queimadura das vias respiratórias, desidratação, asfixia, toxidade, medo, entre outros (ZAMBON, 2013).

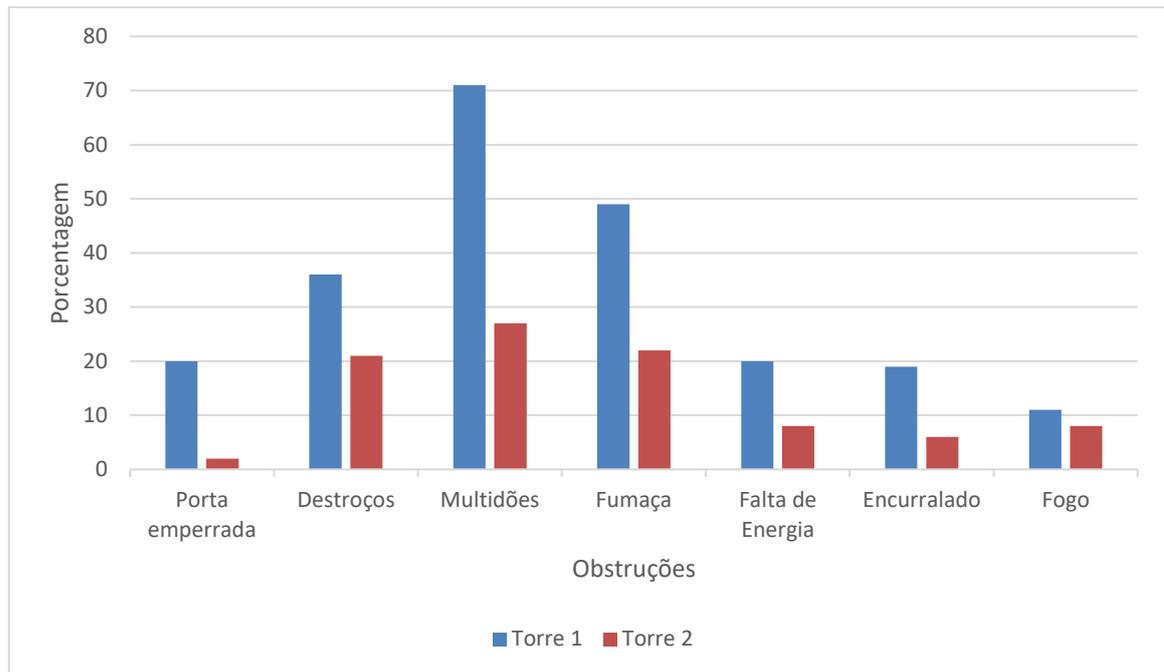
Segundo Duarte, Ono e Silva (2021) p. 49, os principais efeitos causados pela fumaça e gases quentes são:

- Asfixia por dióxido de carbono (CO_2), ocasionado pelo seu aumento e redução de oxigênio (O_2);
- Intoxicação por gases como monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3), gás cianídrico (HCN), entre outros;
- Queimaduras nas vias respiratórias causadas pela inalação de gases quentes;
- Irritações nos olhos e pulmões pelas partículas suspensas da fumaça.

Logo, para as escadas de emergência, um dos principais objetivos e característica de classificação é o mecanismo de conter essa fumaça oriunda do sinistro, de uma maneira que ela não acumule nas caixas de escada. Por isso, o comportamento da fumaça será discorrido ainda nesta dissertação.

O Gráfico 1 representa os obstáculos encontrados na tragédia do ataque às Torres Gêmeas em Nova York, EUA, em 2001. Percebe-se que as maiores obstruções encontradas nas escadas de emergência das duas torres foram as multidões e a fumaça.

Gráfico 1 – Condições Adversas reportadas nas escadas durante a Evacuação do World Trade Center



Fonte: adaptado Proulx, Fahy e Walker (2004)

2.2 TRANSMISSÃO DE CALOR

Como já comentado anteriormente, o calor é uma energia térmica em trânsito entre o corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura. Essa transmissão de energia entre os corpos de diferente temperatura pode ocorrer de três formas, representadas na Figura 3: por convecção, radiação e condução (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

Figura 3 – Formas de propagação de calor



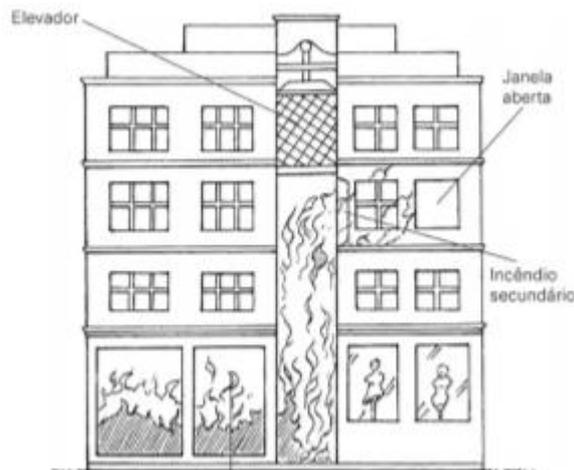
Fonte: CBMSC (2018)

2.2.1 Convecção

A transmissão de calor por convecção se dá pela diferença de densidade entre os gases do ambiente em chamas, em função da diferença de temperatura. Os gases menos densos que o ar (gases quentes) tendem a ocupar a atmosfera superior do ambiente e os mais densos (gases frios) tendem a se deslocar para a atmosfera inferior. Esse movimento gera um fluxo de calor, no qual ocorre o contato dos gases quentes com outras superfícies do ambiente com temperatura inferior, conseqüentemente ocorre a transferência de calor para as superfícies superiores do ambiente (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

Esse movimento ascendente dos gases quentes é fundamental para entender a propagação da fumaça para os pavimentos superiores. Sendo assim, a transmissão de calor por convecção é a principal preocupação para o controle da movimentação da fumaça nas saídas de emergências das construções (COSTA, 2020).

Figura 4 – Transmissão de calor por convecção



Fonte: CPNSP (2017)

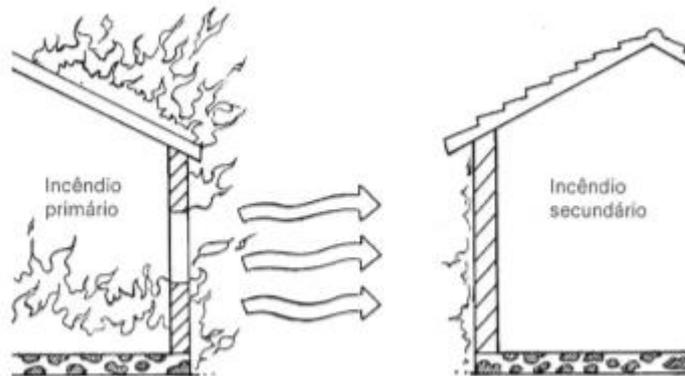
2.2.2 Radiação

Na radiação, a transferência de calor ocorre no vácuo ou no gás, em forma de ondas eletromagnéticas, como a luz (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

Um exemplo típico de transmissão de calor por radiação é o caso da energia solar. As ondas de energia circulam o vazio ou os gases e ao bater em um determinado corpo podem ser

absorvidas ou refletidas. Esse processo é de difícil controle, pois pode promover a ignição de objetos afastados das chamas o que torna relevante para grandes incêndios, principalmente pela preocupação com os edifícios próximos ao sinistro (CBMSC, 2018).

Figura 5 – Transmissão de calor por radiação



Fonte: CPNSP (2017)

2.2.3 Condução

Diferente dos outros meios de transmissão de calor, na condução é necessário o contato entre os corpos sólidos de diferentes temperaturas, ou seja, o calor é transmitido de molécula a molécula. Desse modo, o corpo de maior temperatura transmite para o de menor quando houver o contato entre eles. A propagação do calor por condução deve ser evitada na fase de prevenção ao incêndio, através de, por exemplo, paredes e portas corta-fogo. (CBMSC, 2018)

Figura 6 – Transmissão de calor por condução

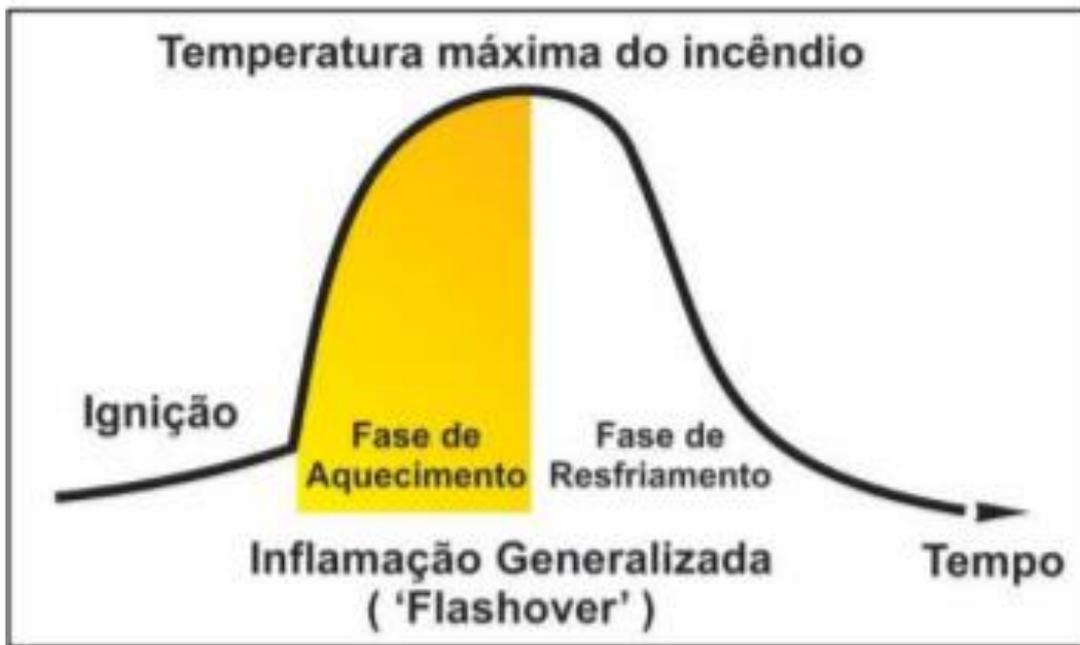


Fonte: CPNSP (2017)

2.3 EVOLUÇÃO DE UM INCÊNDIO

A evolução de incêndio em um ambiente pode ser definida em três fases: uma fase inicial onde há uma elevação progressiva de temperatura, logo após uma fase de aquecimento brusco e por último uma fase de resfriamento e extinção (SILVA; VARGAS; ONO, 2010). As três fases de um incêndio estão demonstradas na Figura 7 pela curva temperatura-tempo real de um incêndio.

Figura 7 – Curva Temperatura -Tempo Real de um Incêndio



Fonte: CBMSP (2018)

É na fase inicial que há o surgimento da ignição, geralmente de algum objeto presente do recinto, e se não controlada, ela passaria para a próxima fase. A combustão nesta fase pode gerar gases tóxicos ou asfixiantes e o risco de dano à estrutura é baixo (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

Na segunda fase, de aquecimento brusco, é quando o fogo consegue se propagar, pelas transmissões de calor, o que leva a uma combustão em cadeia, aumentando a temperatura do local, desenvolvendo rapidamente fumaças e gases inflamáveis. Pode-se chegar a um momento em que o incêndio atinge seu *flashover*, ou seja, usa inflamação generalizada, em que o ambiente passa a ser completamente tomado pelas chamas e gases quentes que são emitidos

através das portas e janelas. O incêndio começa a se propagar para outros compartimentos do edifício por meio da convecção de gases quentes pelo interior da edificação ou pelo seu exterior. Nesta fase, a presença da fumaça e dos gases quentes torna as condições de sobrevivência crítica, mesmo antes do local ser tomado por chamas, e o risco de dano à estrutura é alto, e por isso é comum que as estruturas de edifícios de maior risco sejam projetadas admitindo-se a máxima temperatura do edifício (*flashover*). É importante ressaltar que o tempo de atingir o *flashover* pode ser dependente basicamente das características dos materiais de revestimento e acabamento utilizados no ambiente de origem do sinistro (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

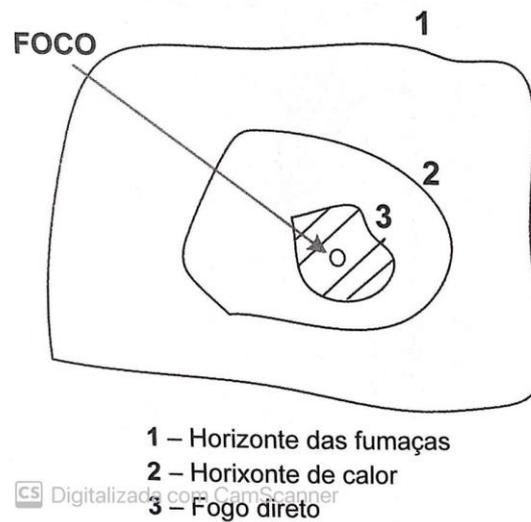
Na última fase, a fase de resfriamento e extinção, ocorre com a quebra do tetraedro do fogo, devido ao total consumo do combustível ou falta de oxigênio. Desse modo o incêndio terá sua intensidade reduzida, entrando na fase de resfriamento até se extinguir (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

2.4 COMPORTAMENTO DA FUMAÇA

Como já mencionado nos tópicos anteriores, a fumaça é a característica mais preocupante de um incêndio, pois sua produção é grande durante o sinistro e o efeito sobre as vítimas é nocivo, além de causar pânico, logo, sua extração para não acumular é um dos principais fatores que caracterizam as saídas de emergência.

A movimentação da fumaça é por meio da convecção, no sentido vertical ascendente que seguem trajetórias de acordo com obstáculos e aberturas, facilitando ou dificultando sua expansão no ambiente. Em um ambiente fechado, o sinistro libera gases combustíveis e outros produtos com temperaturas altas, o que os torna com uma densidade menor que a do ar do ambiente, conseqüentemente, flutuam com o movimento ascensional e com uma força mais forte que o movimento horizontal, formando a figura de um cone invertido. (DUARTE; ONO; SILVA, 2021). A Figura 8 demonstra o comportamento de cone invertido da fumaça.

Figura 8 – Comportamento natural fumaça



Fonte: Aragão *et al.* (2020)

Com base no exposto pode-se discernir o comportamento da fumaça como o seguinte:

- A fumaça primeiro se acumula no teto, se espalha formando uma camada na extensão de toda área do ambiente, e se não houver nenhuma abertura de escape, pode até ocupar todo ambiente.
- São os obstáculos e mecanismos de ventilação que irão determinar a direção da fumaça. Por exemplo, se por acaso houver algum obstáculo no caminho da fumaça, a tendência é se acumular no local até um ponto que ultrapasse a barreira, e se encontrar uma abertura como uma janela, duto de extração, porta, entre outros. Essa fumaça pode se extinguir da residência ou espalhar para outros ambientes.

Resumindo, os fatores que influenciam o movimento da fumaça são os obstáculos presentes no teto, temperatura interna e externa do ambiente do incêndio, local de origem do sinistro, condições meteorológicas e entradas de ar no ambiente interno.

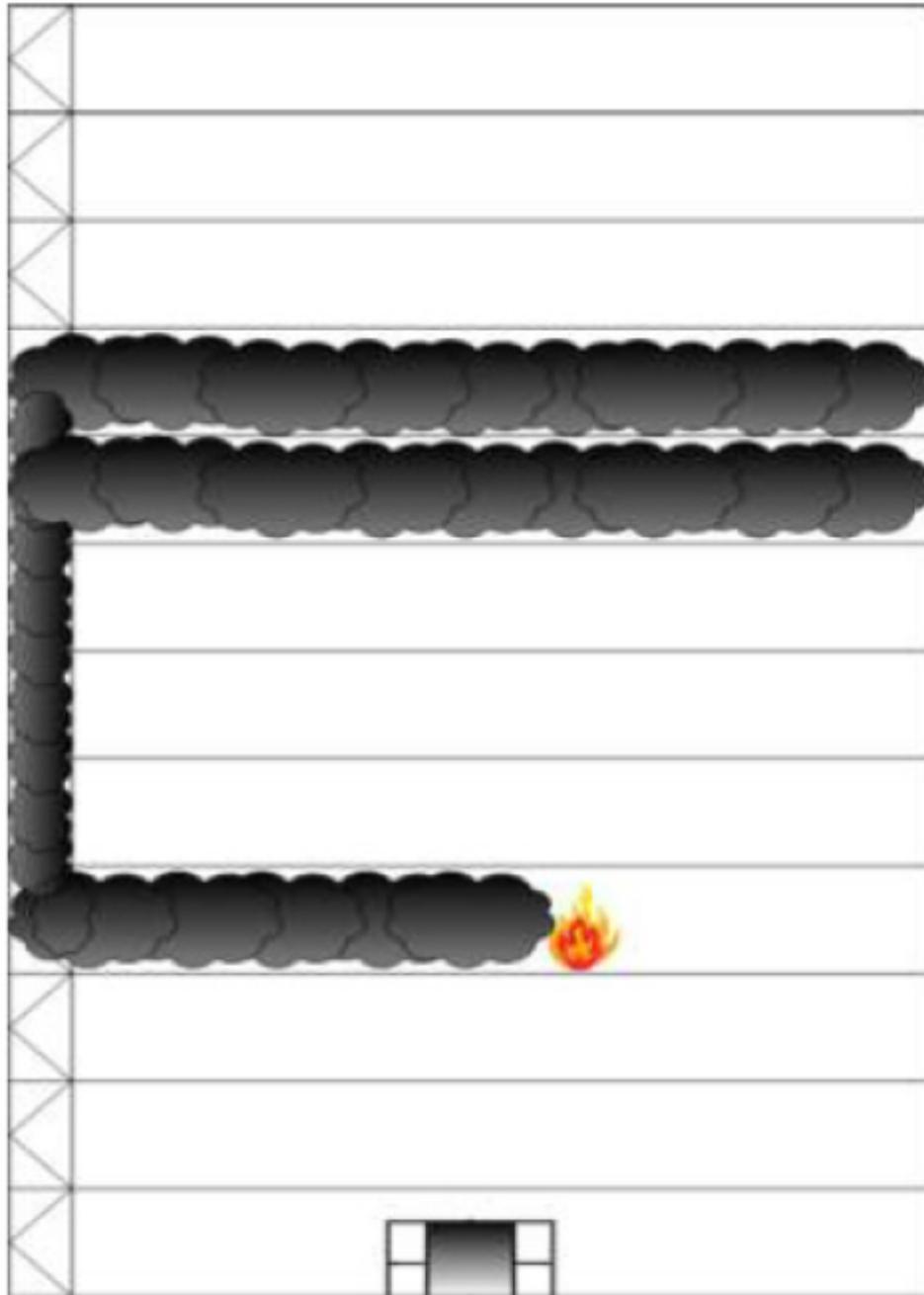
Para esta monografia, que trata de saídas de emergências em edifícios altos, o fator importante, além de ter uma estrutura que resiste ao sinistro, é o manejo desta fumaça produzida e seus efeitos, de maneira que não invada a rota de fuga do edifício permitindo o resgate e fuga de todos os ocupantes.

O problema para os edifícios de grandes alturas é que em certo momento, a fumaça começa a esfriar, conseqüentemente aumenta sua densidade em relação a do ar, e o seu

movimento começa a ser descendente, se acumulando nos ambientes, os quais podem ser muitas vezes as caixas de escada. Esse fenômeno é conhecido como inversão térmica (DUARTE; ONO; SILVA, 2021)

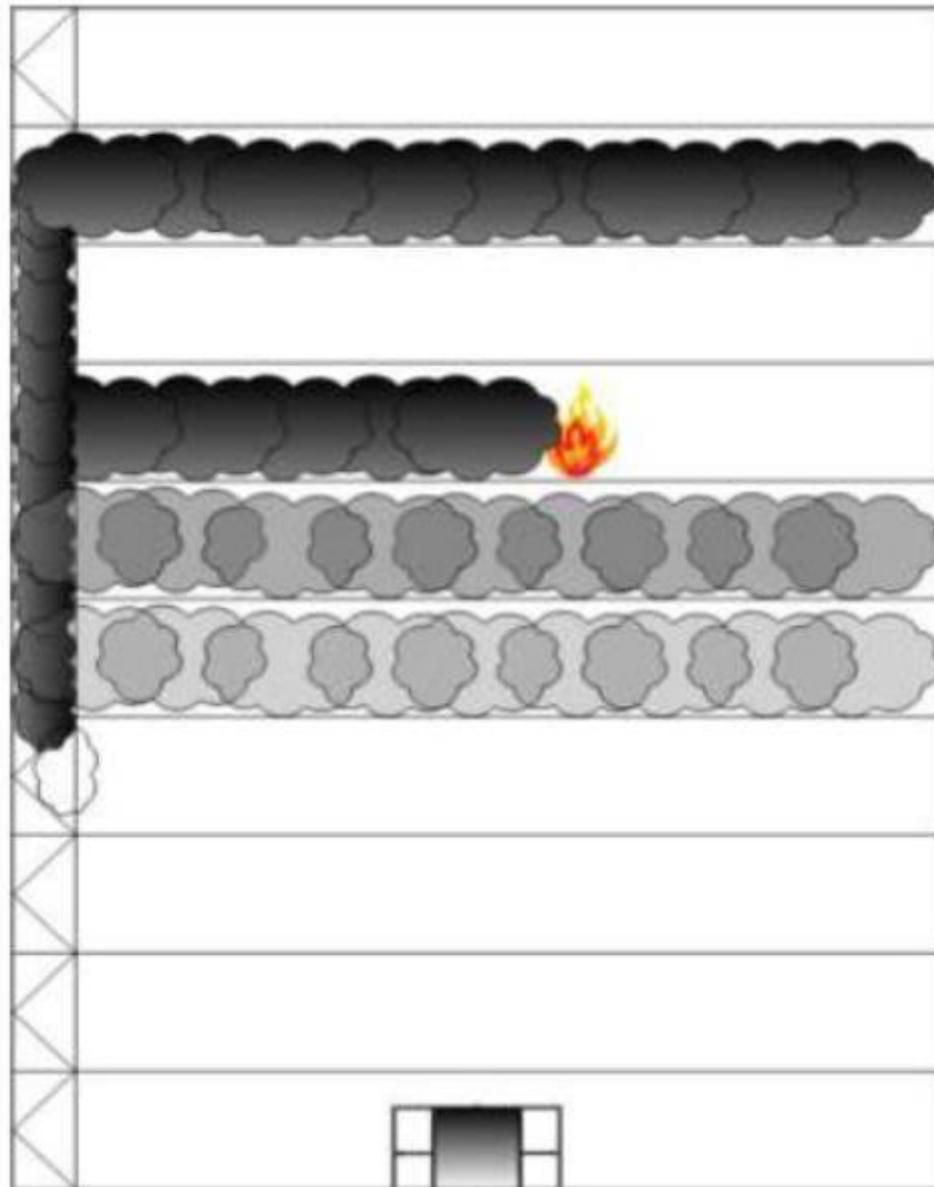
A Figura 9 e Figura 10 representam o comportamento da fumaça normal e no caso de inversão térmica.

Figura 9 – Comportamento natural da fumaça (Efeito Chaminé)



Fonte: Firefighting (2013) apud DUARTE, ONO, BENTO (2021)

Figura 10 – Comportamento da fumaça na Inversão Térmica



Fonte: Firefighting (2013) apud DUARTE, ONO, BENTO (2021)

Segundo o CTBUH, uma perspectiva de tempo do fluxo de evacuação de maneira conservadora, deve levar um minuto por andar, se baseando que a fumaça, calor e outros produtos da combustão levam cerca de dois minutos para atingir todo um ambiente. A resistência da estrutura mínima encontrada na norma brasileira, desconsiderando a escada comum, é de 2 horas (RICHARD BUKOWSKI, 2008).

Em relação à evacuação, a estrutura é importante, porém antes de seu colapso, os ocupantes que ainda estiverem dentro do edifício, se não alojados em zonas de refúgio, estarão

sobre os efeitos nocivos da fumaça, portanto, o controle da fumaça e seus efeitos é um dos principais fatores para o sucesso do desempenho da escada de emergência (RICHARD BUKOWSKI, 2008).

2.5 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

As medidas de proteção contra incêndio em edificações são classificadas em proteção passiva e ativa.

2.5.1 Proteção Passiva

Segundo as Instruções Técnicas nº 2 do Corpo de Bombeiros de São Paulo (CBMSP) (2008), proteção passiva são “medidas de proteção que abrangem o controle dos materiais, meio de escape, compartimentação e proteção da estrutura do edifício.”, ou seja, são as medidas incorporadas ao sistema construtivo da edificação, que não favoreçam o crescimento e a propagação do incêndio, ofereça uma resistência ao sinistro, rotas de fuga aos usuários do edifício e o ingresso da equipe de combate do corpo de bombeiros. Algumas medidas são o controle de fumaça, isolamento de risco, a compartimentação horizontal e/ou vertical, saídas de emergências, sinalização de abandono do local, escolha dos materiais construtivos etc. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000 apud SCHPIL, 2011).

2.5.1.1 Saída de Emergência

Saída de emergência é um:

Caminho contínuo, devidamente protegido, proporcionado por portas, corredores, halls, passagens externas, balcões, vestíbulos, escadas, rampas ou outros dispositivos de saída ou combinações destes, a ser percorrido pelo usuário, em caso de um incêndio, de qualquer ponto da edificação até atingir a via pública ou espaço aberto, protegido do incêndio, em comunicação com o logradouro. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 4)

Além de servir como rota de fuga, as saídas de emergências na edificação também têm como finalidade permitir o acesso do Corpo dos Bombeiros à edificação para resgatar as pessoas

e combater o incêndio. E são constituídas de acessos, como corredores ou circulação de uso comum, portas e portinholas, rampas, descarga, elevador de emergência, passarela, antecâmara, área de refúgio e, as mais comuns, escadas. (CBMSC, 2020).

2.5.2 Proteção Ativa

As medidas de proteção ativa, complementam a proteção passiva, e são as que abrangem a detecção, alarme e extinção do fogo, dependendo do acionamento automático ou manual (CBMSP, 2008). Alguns exemplos de medidas ativas são os alarmes e detecção de incêndios para alertar as pessoas a desocuparem o edifício e combater o fogo, com uso de *sprinklers*, hidrantes, extintores etc. (SILVA; VARGAS; ONO, 2010).

2.6 COMPORTAMENTO HUMANO EM INCÊNDIOS

O comportamento humano é outro fator importante para o desenvolvimento de saídas de emergências funcionais. Apesar de ser complexo o estudo desse fator pelo fato de ser coletados apenas em situações de incêndios reais, pois seus experimentos podem pôr em risco a vida das pessoas, pode-se concluir que a forma como as pessoas reagem ao calor, fumaça e ao fogo gerados no sinistro, baseia-se em fatores como a idade, as condições físicas pré-existentes, como um problema de mobilidade, cardíaco, condição cardiorrespiratória, e o porte físico da pessoa (BRAGA apud SCHPIL, 2011).

O pânico também é outro fator presente nos sinistros. Ele pode gerar comportamentos irracionais, imprevisibilidade, desorientação e letargia. Além de afetar o próprio indivíduo com o pânico gerado, podem atingir os outros ocupantes atrapalhando a rota de fuga e até mesmo a entrada da brigada de incêndio (BRAGA apud POZZAN, 2009).

Pode-se resumir o comportamento humano segundo a Figura 11.

Figura 11 – O processo comportamento da resposta dos ocupantes de um edifício em um sinistro.



Fonte: KUILIGOWSKI (2009)

A primeira fase é a percepção de que há um problema com o edifício. A segunda fase é a interpretação dos acontecimentos para iniciar a terceira fase, ou seja, decidir qual será a ação. Por fim, a quarta fase é a realização da ação, a qual vai se alterando com a percepção que o indivíduo vai gerando da gravidade, procedimentos e situação do sinistro, gerando assim um ciclo. Como esse ciclo é baseado no risco e no fator humano. Cada ser humano tem um tempo de conhecimento e resposta para cada fase (KUILIGOWSKI, 2009).

Outro fator, é a preferência pelo método de evacuação do edifício durante o incêndio. Cerca de 98% das pessoas decidem evacuar pelas escadas de emergência (PROULX, FAHY, WALKER, 2004). Logo, seu bom dimensionamento e características devem ser escolhidas de acordo com cada edifício a fim de comportar a quantidade e o tempo para que todos evacuem com segurança.

Além dos fatores físicos, instintivos e ambientais de cada indivíduo, o treinamento prévio para as ações a serem tomadas em cada situação é a forma mais segura de minimizar as fatalidades (ARAÚJO, 2009).

Basicamente para uma eficiente evacuação é necessário preparo, organização e supervisão, tanto do cuidado do fator humano estando preparado para os eventuais imprevistos na logística e construtiva das saídas de emergências.

2.7 SOFTWARES PARA SIMULAÇÃO DE INCÊNDIOS

Para as substituições não previstas na tabela de escolha do tipo da escada em relação a altura e ocupação da Norma de Segurança do CBMSC (2020), assim como para edificações

com alturas superiores a aplicabilidade dessa mesma instrução normativa (IN), como edificações do grupo residencial com mais de 250 m de altura, ou as demais ocupações com altura superior a 100 metros de altura, deve ser apresentado estudo baseado em critérios de desempenho e simulação computadorizada da evacuação dos ocupantes da edificação utilizando o software *Fire Dynamic Simulator* (FDS) + *Evac* ou outro similar. (CBMSC, 2020).

O FDS é um *software*, desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) dos Estados Unidos da América, baseado no modelo de fluidodinâmica com ênfase na fumaça e no calor transportado dos incêndios com o objetivo de representar o comportamento de incêndios reais. Outros softwares com o mesmo objetivo são o *Consolidated Model of Fires and Smoke Transport* (CFAST) e o SMARTFIRE, porém, dentre esses, o FDS é o mais utilizado em pesquisas acadêmicas e técnicas e conseqüentemente o torna mais rico em literatura disponível. (TABACZENSKI et al, 2017).

Evac, desenvolvido pelo *Technical Research Centre of Finland* (VTT), é o módulo de simulação de evacuação acoplado aos modelos de incêndio do FDS. Esse software é usado para simular o comportamento humano em caso de situações de evacuação do edifício.

O FDS está disponível gratuitamente para *download* no site do NIST. A versão mais recente é a 6.7.5 e seu pacote inclui o programa *Smokeview* (SMV), também desenvolvido pelo NIST, o qual consiste em um programa de visualização criado para simular a propagação do fogo e da fumaça, concentrações de gás e de crescimento e movimento de fumaça, em forma de animação, na estrutura submetida à simulação (NIST, 2020).

Entretanto, o software que permite a visualização gráfica e a transferência de dados para o Autocad é o *Pyrosim*, não gratuito. Além disso, o *software* apenas simula a propagação da fumaça pelo arquitetônico e a movimentação das pessoas pelo dimensionamento das saídas. Fatos sobre a inversão térmica não se obtém. Ademais, como apontado por Alves (2010) p. 266, o FDS apresenta falhas em relação ao formato arquitetônico das estruturas, apresentando dificuldades de cálculo quando se trata de uma estrutura curva, por exemplo.

O Quadro 1 representa um resumo dos estudos apresentados com o *software* FDS até o ano 2017. Nota-se em que não houve validações em nenhum dos estudos em que o principal objetivo eram o comportamento da fumaça em relação à temperatura e evacuação das pessoas. A validação há apenas nos casos para determinação de causas para perícia, a temperatura desenvolvida em caso de incêndio e a eficiência da compartimentação no projeto arquitetônico.

Quadro 1 - Resumo dos estudos apresentados com o FDS

Autor (ano) / Origem da pesquisa	Tipo de análise	Tipo da edificação analisada	Principal objetivo do estudo	Validação
Alves et al. (2008) / UnB e CBMDF	Prognóstico	Comercial	Determinar a influência da fumaça e da temperatura na evacuação de pessoas e a eficiência das orientações normativas	Não houve
Braga e Landim (2008) / CBMDF	Diagnóstico	Residencial	Determinar a causa mais provável do incêndio e testar hipóteses levantadas pela perícia	Caso real
Rodrigues (2009) / UFRGS	Prognóstico	Residencial e comercial	Analisar a eficiência do sistema de compartimentação vertical externa segundo as exigências das normas brasileiras	Ensaio experimental
Ruschel (2011) / UFRGS, UnB e CBMDF	Diagnóstico e prognóstico	Comercial (Shopping)	Reproduzir a dinâmica de incêndio e determinar as temperaturas desenvolvidas	Caso real
Fontenelle (2012) / UFRJ	Prognóstico	Tanques de combustível	Avaliar a segurança de tanques metálicos de armazenamento de etanol em situação de incêndio	Não houve
Carvalho (2013) / UFRJ	Prognóstico	Túneis rodoviários	Demonstrar a aplicabilidade do FDS para análise de segurança em túneis rodoviários em situação de incêndio	Não houve
Brunetto (2015) / UFRGS	Prognóstico	Instituição de ensino superior	Analisar a propagação do fogo e fumaça em uma situação hipotética de incêndio	Não houve
Mazzoni e Klein (2015) / UFRGS	Diagnóstico	Não informado	Determinar a causa mais provável do incêndio e testar hipóteses levantadas pela perícia	Caso real
Centeno et al. (2015) / UNISINOS e UFFS	Prognóstico	Residencial	Determinar as temperaturas desenvolvidas em um incêndio compartimentado	Ensaio experimental*
Cunha (2016) / UFRN	Prognóstico	Instituição de ensino superior	Propor e analisar uma forma de compartimentação horizontal seletiva	Não houve
Carlos et al. (2016) / CBMDF e Universidade de Coimbra/Portugal	Prognóstico	Administrativo	Estudar o dimensionamento do sistema de controle de fumaça, de acordo com as condições prescritas na regulamentação e estimar do tempo de evacuação de pessoas	Não houve
Mariani e Carlos (2016) / CBMDF e Universidade de Coimbra/Portugal	Prognóstico	Restaurante e Areas de apoio	Estudar o dimensionamento de saídas de emergência e determinar o tempo de evacuação de pessoas	Não houve
Hauser (2016) / UFRGS	Prognóstico	Tanques de combustível	Avaliar a influência que um tanque contendo óleo combustível em chamas tem sobre outro tanque adjacente considerado isolado pela ABNT NBR 17505-7	Não houve
Tabaczinski et al. (2017) / UFPE	Prognóstico	Escritório	Determinar as temperaturas desenvolvidas em um incêndio compartimentado	Ensaio experimental*
Kiryu (2017) / UFRGS	Prognóstico	Não informado	Determinar a temperatura média na camada de gases quentes para diversos cenários de incêndio em um compartimento	Ensaio experimental* e modelos analíticos e empíricos
Matos (2017) / UFRGS	Prognóstico	Residencial	Analisar a vazão mássica, provocada por incêndios, entre ambientes conjugados interligados por uma abertura	Ensaio experimental* e modelos analíticos

Fonte: TABACZENSKI et al. (2017)

2.8 CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA DE ACORDO COM AS NORMAS

2.8.1 NBR 9077

A Norma Brasileira classifica as escadas em quatro tipos, sendo elas:

- a) Escada não enclausurada ou escada comum (NE);
- b) Escada enclausurada protegida (EP);
- c) Escada enclausurada à prova de fumaça (PF);
- d) Escada à prova de fumaça pressurizada (PFP);

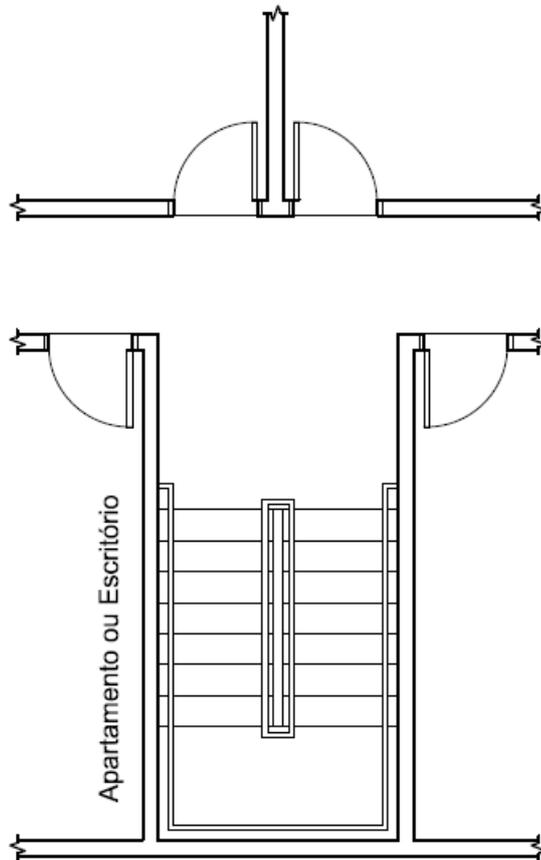
A determinação do tipo da escada a ser projetada está relacionada a classificação da edificação quanto à sua ocupação, altura, características construtivas e dimensões em planta como a área por pavimento e total, e distâncias a serem percorridas.

A caracterização de cada tipo de escada é feita, principalmente, por alguns dispositivos existentes com o objetivo de controlar a movimentação da fumaça. De acordo com cada situação, a NBR 9077 estabelece o seguinte.

2.8.1.1 Escada Comum

Não possui nenhuma exigência quanto ao controle da propagação de fumaça. A NE não possui portas corta-fogo e se comunica diretamente com os outros ambientes do edifício de cada pavimento.

Figura 12 – Escada não enclausurada



Fonte: adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

2.8.1.2 Escada enclausurada protegida

Para as EP há exigências de mecanismos de dissipação e controle da fumaça, as quais são:

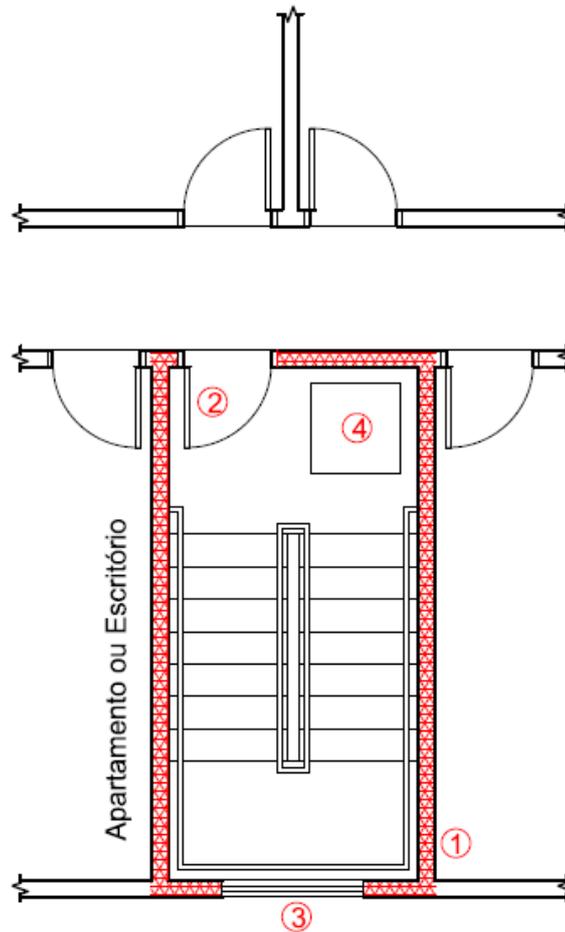
- a caixa de escada ser envolta por paredes resistentes ao fogo, no mínimo durante 2 horas;
- suas portas de acesso devem ser resistentes ao fogo por 30 minutos (PRF);
- ser dotada de ventilação por janelas, situadas junto ao teto, em todos os pavimentos, com a abertura para o exterior livre do edifício;
- possuir um alçapão de alívio de fumaça em seu término superior que permita a ventilação.

Existem três situações possíveis, que são classificadas de acordo com o arquitetônico de cada projeto.

2.8.1.2.1 Situação normal - 1

A situação normal é quando não há nenhuma impossibilidade de colocar a janela de ventilação abrindo para exterior livre na caixa de escada.

Figura 13 – Escada enclausurada protegida – Situação Normal - 1



Fonte: adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

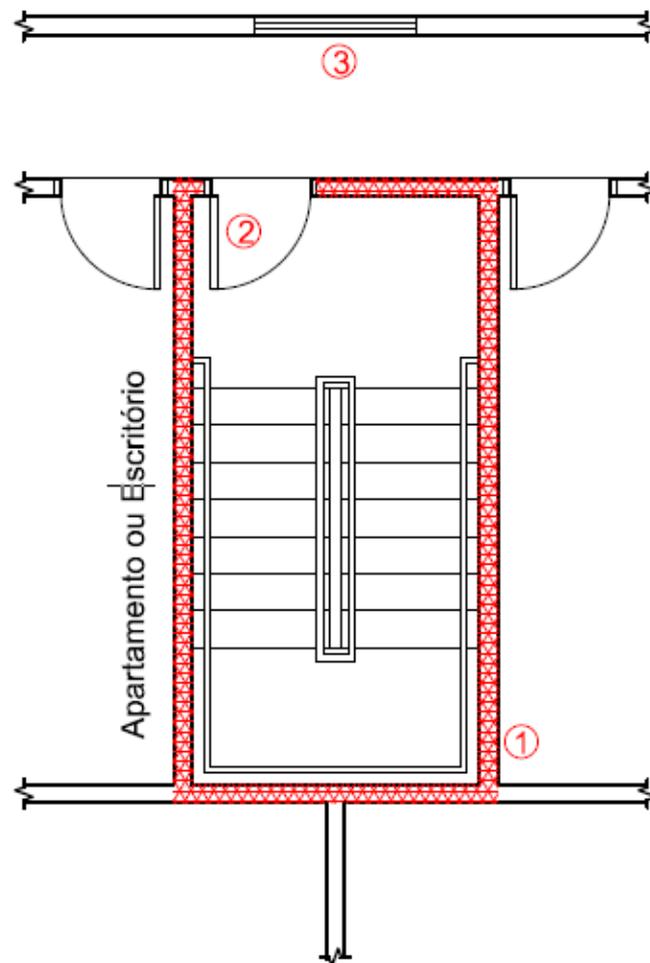
Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta resistente ao fogo por 30 minutos.
3. Janela abrindo para o espaço livre exterior, situada junto ao teto, com área de ventilação efetiva mínima de 0,80 m².
4. Alçapão de alívio de fumaça, situado em seu término superior com área mínima de 1 m².

2.8.1.2.2 Situação 2

Se há impossibilidade de colocar a janela de ventilação na caixa da EP, a norma permite que a ventilação seja realizada por uma janela abrindo para o espaço exterior livre no corredor de acesso à EP.

Figura 14 – Escada enclausurada protegida – Situação 2



Fonte: adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

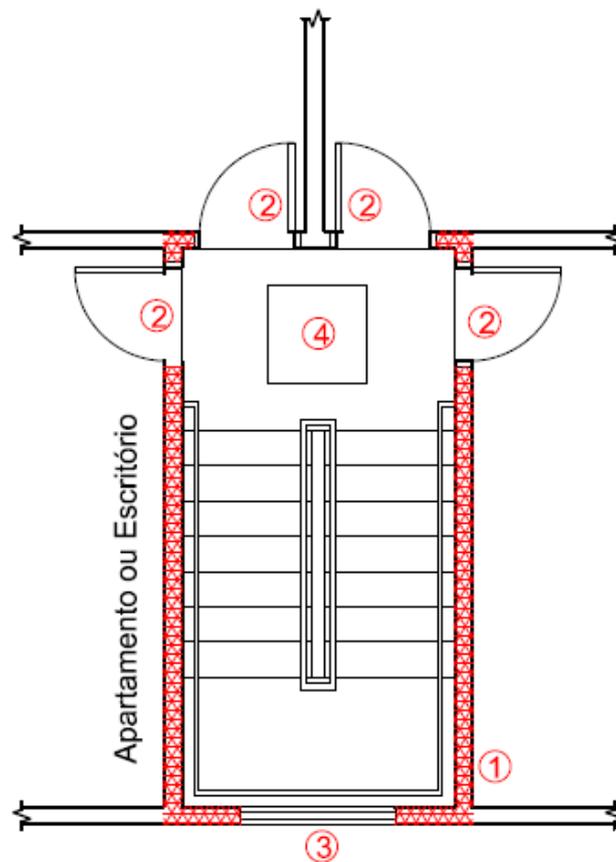
Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta resistente ao fogo por 30 minutos.
3. Janela abrindo para o espaço livre exterior, situada junto ao teto, com área de ventilação efetiva mínima de 0,80 m².

2.8.1.2.3 Situação 3

As portas de acesso às unidades autônomas podem abrir diretamente para a caixa de escada protegida se houver no máximo quatro unidades por pavimento e suas portas devem ser PR-30. Além disso, o patamar e/ou corredor devem ter área menor de 12 m².

Figura 15 – Escada enclausurada protegida – Situação 3



Fonte: adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

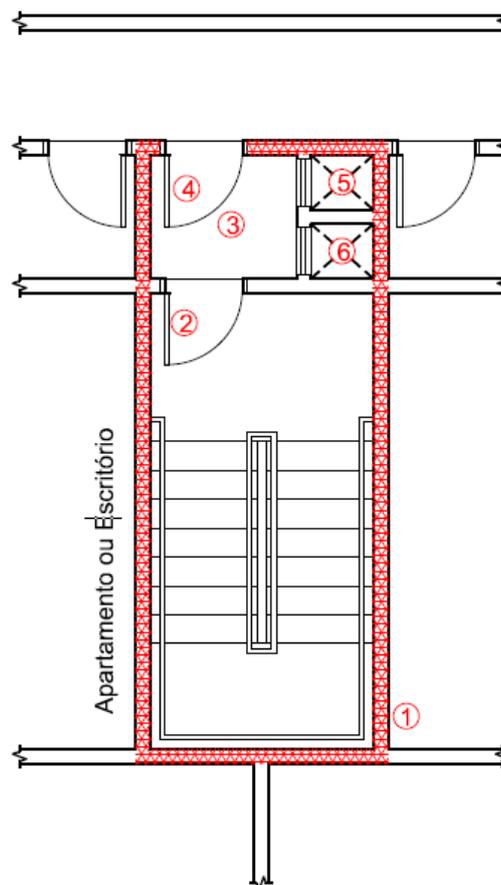
Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta resistente ao fogo por 30 minutos.
3. Janela abrindo para o espaço livre exterior, situada junto ao teto, com área de ventilação efetiva mínima de 0,80 m².
4. Alçapão de alívio de fumaça, situado em seu término superior com área mínima de 1 m².

2.8.1.2.4 Situação 4

Quando houver impossibilidade de colocar a janela de ventilação na caixa da escada ou no corredor, adotam-se as exigências nos moldes da escada enclausurada à prova de fumaça, sendo a extração e a renovação do ar realizada pelos dutos de entrada e saída de ar.

Figura 16 – Escada enclausurada protegida – Situação 4



Fonte: adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça.
3. Antecâmara.
4. Porta resistente ao fogo por 30 minutos.
5. Duto de saída de ar (fumaça).

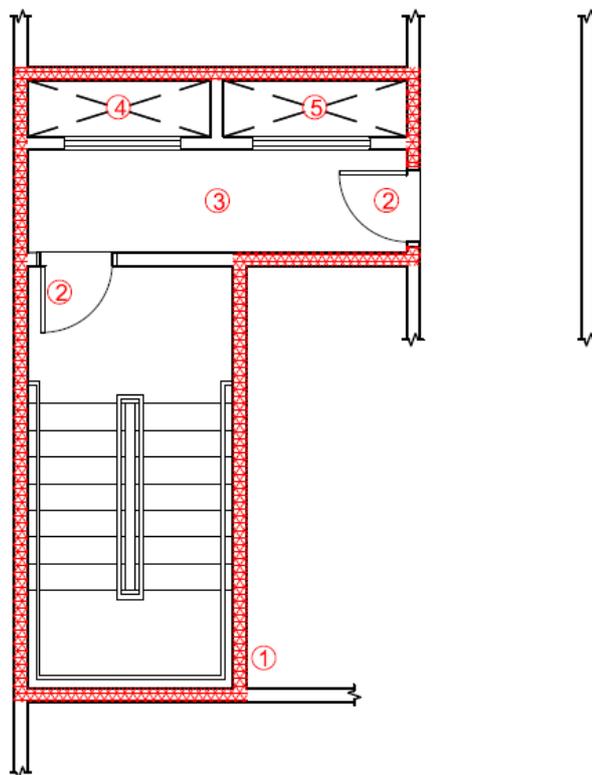
6. Duto de entrada de ar.

2.8.1.3 Escada enclausurada à prova de fumaça

As PF possuem antecâmaras ventiladas antes de seu ingresso, as quais são responsáveis pela dissipação da fumaça e renovação do ar. As antecâmaras podem ser substituídas por terraços ou balcões. Outras exigências são:

- Caixa da escada deve ser envolta por paredes resistentes ao fogo no mínimo durante 4 horas;
- As portas de comunicação com a antecâmara devem ser estanques e resistentes ao fogo a 30 minutos de fogo, no mínimo.

Figura 17 – Escada enclausurada à prova de fumaça



Fonte: adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 4 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a 30 minutos de fogo.
3. Antecâmara.

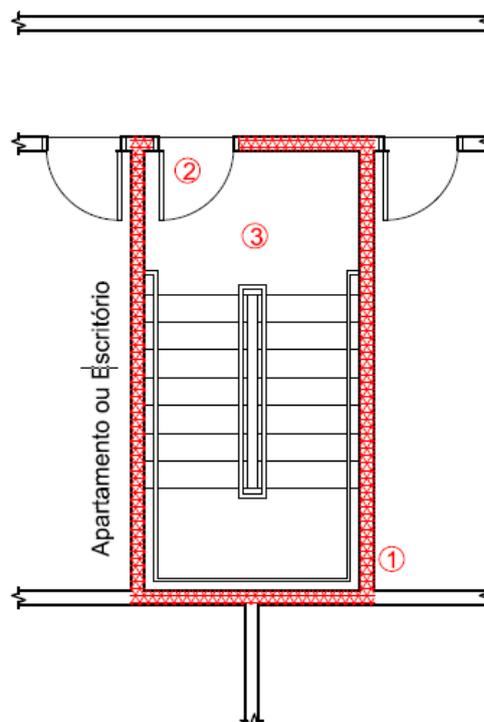
4. Duto de entrada de ar.
5. Duto de saída de ar (fumaça).

2.8.1.4 Escada à prova de fumaça pressurizada

Diferentemente das escadas anteriores, as escadas pressurizadas possuem um sistema de ventilação mecânico e não natural. A PFP obtém a estanqueidade à fumaça por meio da pressurização. O método da pressurização consiste em fornecer o ar para o ambiente, mantendo uma pressão ligeiramente mais alta neste local o que preserva um fluxo de ar para o exterior da edificação por meio das vias de escape do ar (THÓRUS ENGENHARIA, 2019). Neste tipo, a presença de antecâmara é dispensada, e deve ser dotado de dois ventiladores, sendo pelo menos um para uso permanente em condições normais, que mantém a pressão na caixa da escada um pouco acima em relação aos demais pavimentos da edificação, e um outro que começa a funcionar automaticamente em caso de incêndio para aumentar ainda mais a pressão interna.

Além disso, a PFP deve possuir fonte de energia própria.

Figura 18 – Escada à prova de fumaça pressurizada



Fonte: adaptado Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 4 horas de fogo.
2. Porta, sendo que a Norma não define a resistência ao fogo.
3. Câmara pressurizada.

2.8.2 Norma de Segurança Contra Incêndios do Corpo de Bombeiros de Santa Catarina

A Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina tem por objetivo estabelecer requisitos mínimos nas edificações com relação à segurança contra Incêndios. Ela classifica as escadas em cinco tipos, sendo elas:

- a) Escada não enclausurada ou escada comum (NE);
- b) Escada protegida (EP);
- c) Escada enclausurada com exaustão (EEE);
- d) Escada enclausurada com ventilação (EEV);
- e) Escada à prova de fumaça (EPF).

Assim como a NBR 9077, a determinação do tipo da escada a ser projetada está relacionada a classificação da edificação quanto à sua ocupação, altura, distâncias a serem percorridas e, além disso, pela lotação máxima da edificação. A norma também prevê uma área de resgate para pessoas com deficiência (PcD), que consiste em uma área reservada, no corpo da escada de emergência ou na antecâmara, para pessoas com deficiência. A caracterização de cada tipo de escada também está relacionada a mecanismos de controle da movimentação da fumaça.

2.8.2.1 Escada comum

A escada comum é a mesma da NBR 9077, não há exigências quanto ao controle da propagação de fumaça, porém deve possuir degraus, patamares e estrutura da escada com resistência ao fogo por 2 horas.

2.8.2.2 Escada protegida

Como mecanismo de dissipação e controle da fumaça nas EP, é previsto na norma ventilação em todos os pavimentos por meio de duto de extração de fumaça (DEF) no interior

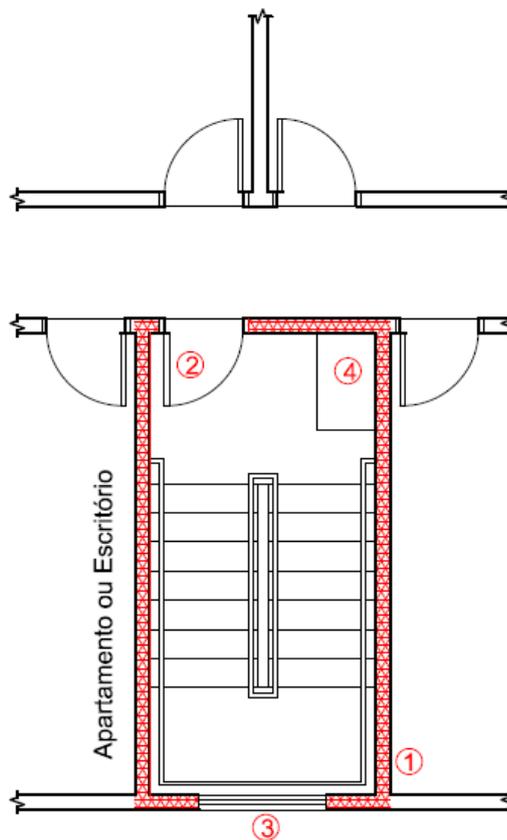
da caixa da escada ou por uma janela, junto ao teto, com sua abertura para a área externa livre. Outras exigências são:

- a caixa de escada ser envolta por paredes resistentes ao fogo, no mínimo durante 2 horas;
- suas portas de acesso devem ser resistentes ao fogo por 30 minutos (PRF).

2.8.2.2.1 Escada Protegida com ventilação por janela na caixa de escada

Assim como a situação normal da EP da NBR 9077, é uma situação quando não há nenhuma impossibilidade de colocar a janela de ventilação abrindo para exterior livre na caixa de escada.

Figura 19 – Escada protegida com ventilação por janela na caixa de escada



Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

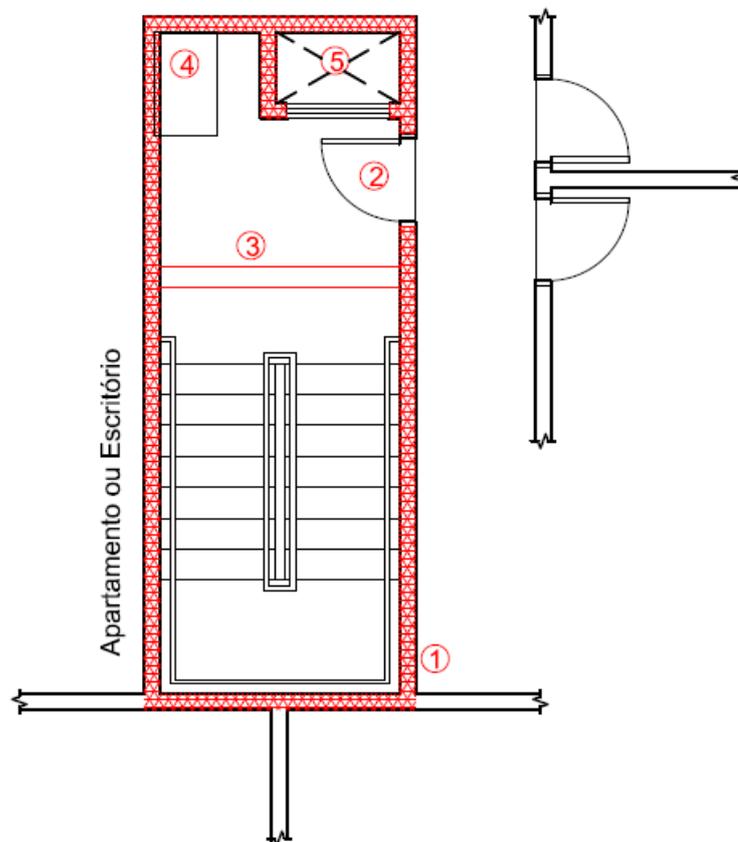
Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a 30 minutos de fogo.
3. Janela abrindo para o espaço livre exterior, situada junto ao teto, com área de ventilação efetiva mínima de 0,80 m².
4. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.

2.8.2.2.2 Escada protegida com ventilação por duto na caixa da escada

Para as EP com o duto de exaustão é previsto uma aba vertical junto ao teto, com uma altura mínima de 40 cm e com resistência ao fogo por no mínimo 2 horas. Este anteparo deve estar entre os degraus da escada e a porta de acesso pra que possibilite a fumaça ser direcionada ao DEF.

Figura 20 – Escada protegida com ventilação por duto na caixa da escada



Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

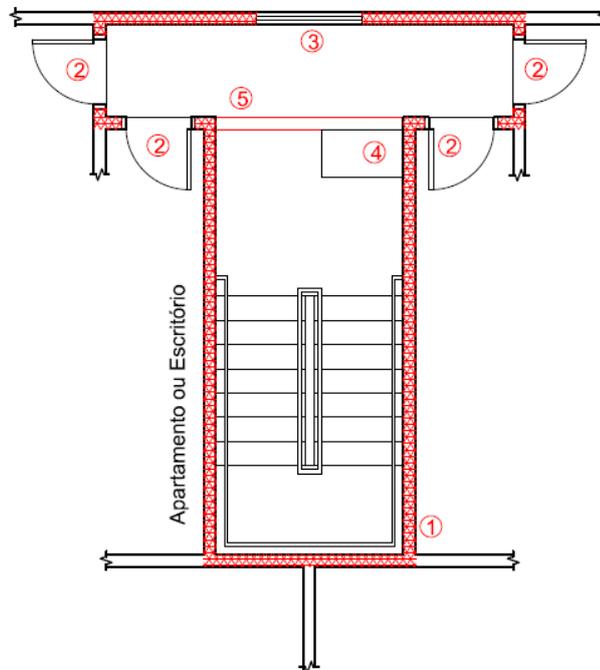
Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a 30 minutos de fogo.
3. Anteparo, junto ao teto, com resistência ao fogo por 2 horas.
4. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.
5. Duto de saída de ar (fumaça).

2.8.2.2.3 Escada Protegida – Situação 3

Em edificações residenciais multifamiliares com até quatro unidades autônomas, admite-se que as portas de cada unidade abram diretamente para a caixa da escada, desde que essas portas sejam resistentes ao fogo por no mínimo 30 minutos e que possua um anteparo para a contenção da camada de fumaça com a finalidade de direcioná-la para as janelas ou dutos de ventilação.

Figura 21 – Escada protegida – Situação 3



Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

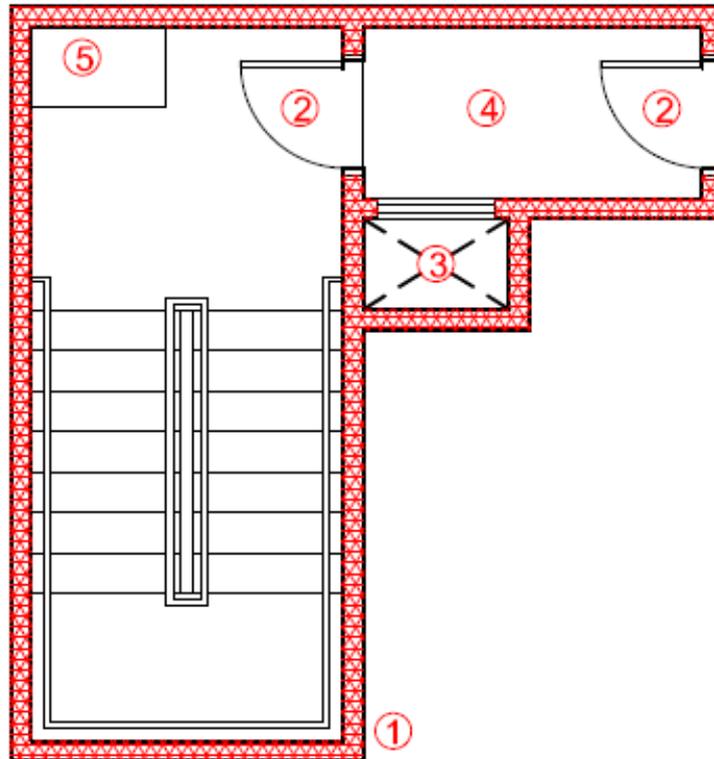
Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a 30 minutos de fogo.
3. Janela abrindo para o espaço livre exterior, situada junto ao teto, com área de ventilação efetiva mínima de 0,80 m².
4. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.
5. Anteparo, junto ao teto, com resistência ao fogo por 2 horas.

2.8.2.3 Escada enclausurada com exaustão

As EEE devem possuir exaustão por meio de dutos de extração de fumaça localizados na antecâmara por onde deve ser feito o ingresso para o acesso à escada de segurança. Além disso, as portas tanto da antecâmara quanto da caixa de escada devem ser resistentes ao fogo por no mínimo 60 minutos.

Figura 22 – Escada enclausurada com exaustão



Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

Legenda:

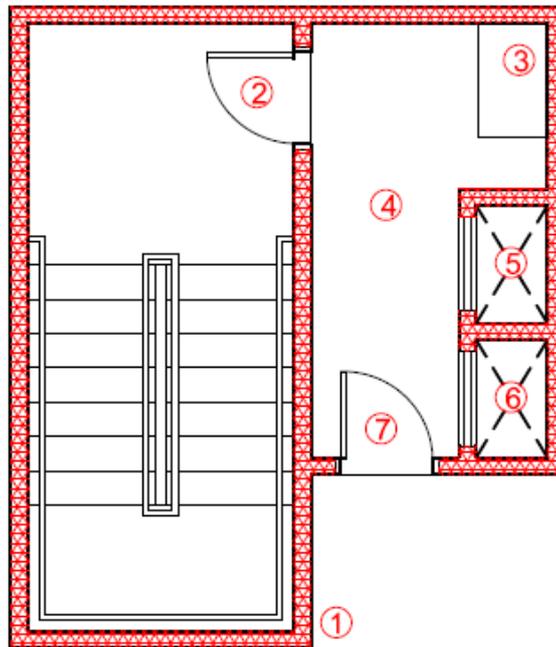
1. Parede resistente a, no mínimo, 2 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a 60 minutos de fogo.
3. Duto de extração de fumaça.
4. Antecâmara
5. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.

2.8.2.4 Escada enclausurada com ventilação

As EEV também devem possuir antecâmaras por onde deverá ser feito o ingresso e instalado o mecanismo de ventilação da escada. Deve possuir um duto de extração de fumaça e um de entrada de ar (DEA) para a ventilação. Outras diferenças em relação às escadas de segurança percorridas anteriormente são a resistência ao fogo das paredes e de outros

componentes da escada deve ser no mínimo de 3 horas, a porta da antecâmara deve ser resistente à no mínimo 90 minutos e da escada a 60 minutos.

Figura 23 – Escada enclausurada com ventilação



Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 3 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a 60 minutos de fogo.
3. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.
4. Antecâmara
5. Duto de extração de fumaça
6. Duto de entrada de ar
7. Porta estanque à fumaça e resistente a 90 minutos de fogo.

O princípio da EEV e da PF é o efeito chaminé, o qual a diferença de temperaturas do ar do ambiente interno entre o do externo provoca um diferencial de pressão, que promove um fluxo de ar por meio do edifício, devido à abertura na parte superior (DEF) e inferior (DEA), para cima quando o ar do ambiente interno se torna mais quente, que é o caso da fumaça de um incêndio, e para baixo quando for mais frio. (CAMPOS; CONCEIÇÃO, 2006).

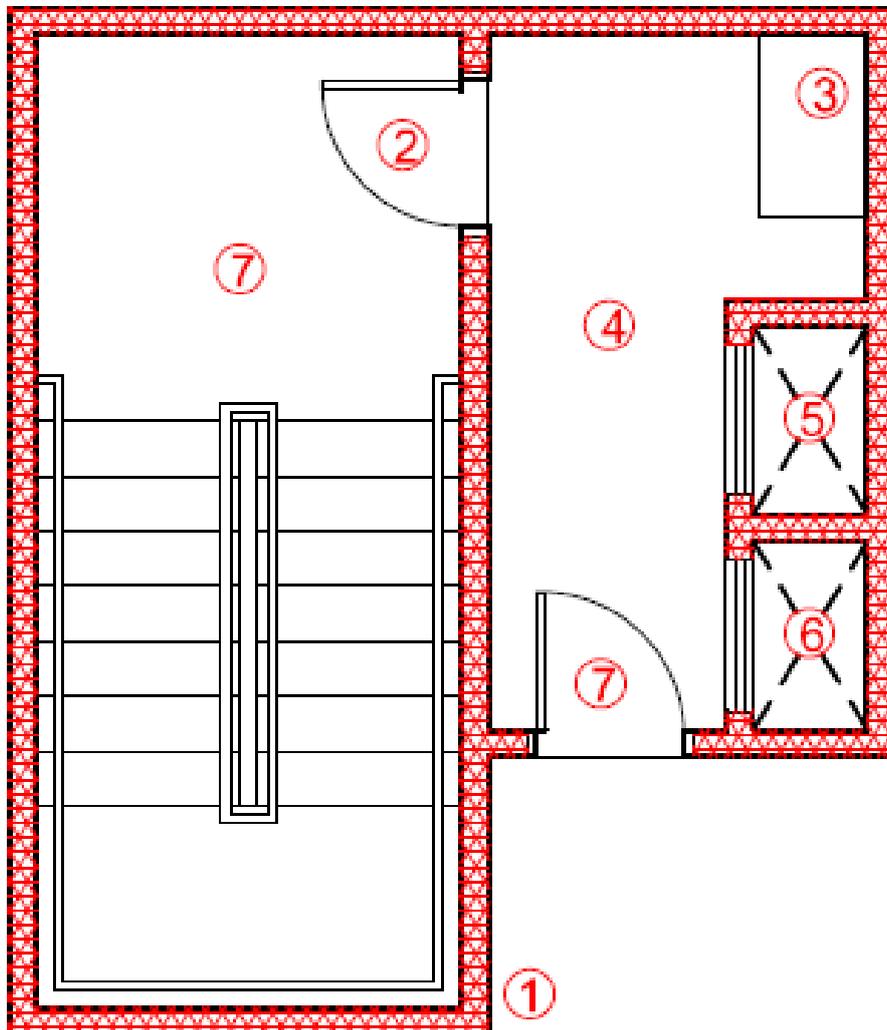
2.8.2.5 Escada à prova de fumaça

A Escada pressurizada tem o princípio semelhante às EEE, porém enquanto as EEE possuem seus mecanismos de ventilação de natureza natural, as EPF são de natureza mecânica. Elas possuem um sistema de pressurização na escada e na antecâmara de forma a conter a fumaça nos ambientes não pressurizados. A norma também prevê *smoke vents*, aberturas para extração de fumaça em cada pavimento.

O sistema de pressurização é composto por um sistema de acionamento e alarme, ar externo suprimido mecanicamente, trajetória de escape do ar e fonte de energia garantida. E o sistema de desenfumagem, cuja função é realizar a extração da fumaça dos ambientes adjacentes à zona pressurizada, inclui a introdução de ar limpo e a extração de fumaça, pelo mesmo princípio da escada pressurizada da NBR 9077. Também deve possuir fonte de energia própria.

A Figura 24, Figura 25 e Figura 26 ilustram as situações de escada pressurizadas encontradas.

Figura 24 – Escada pressurizada padrão

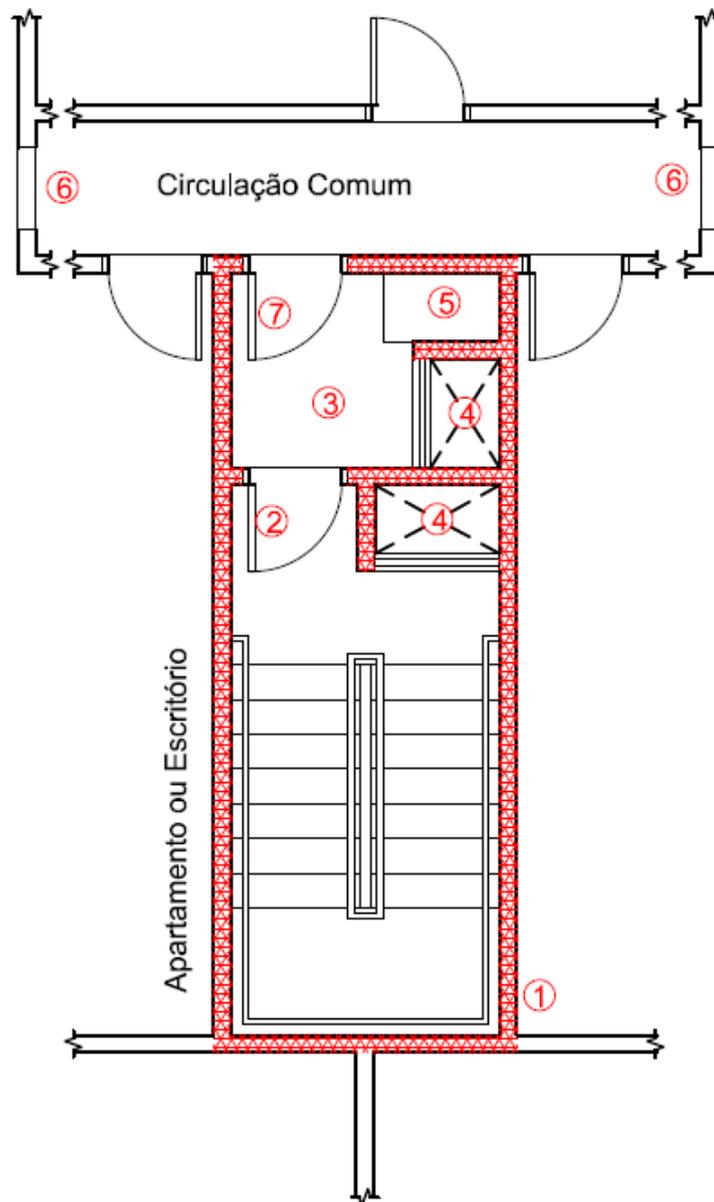


Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 3 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a 60 minutos de fogo.
3. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.
4. Antecâmara
5. Duto de extração de fumaça
6. Duto de entrada de ar
7. Câmara pressurizada
8. Porta estanque à fumaça e resistente a 90 minutos de fogo.

Figura 25 – Escada pressurizada com smoke vent abrindo para o exterior

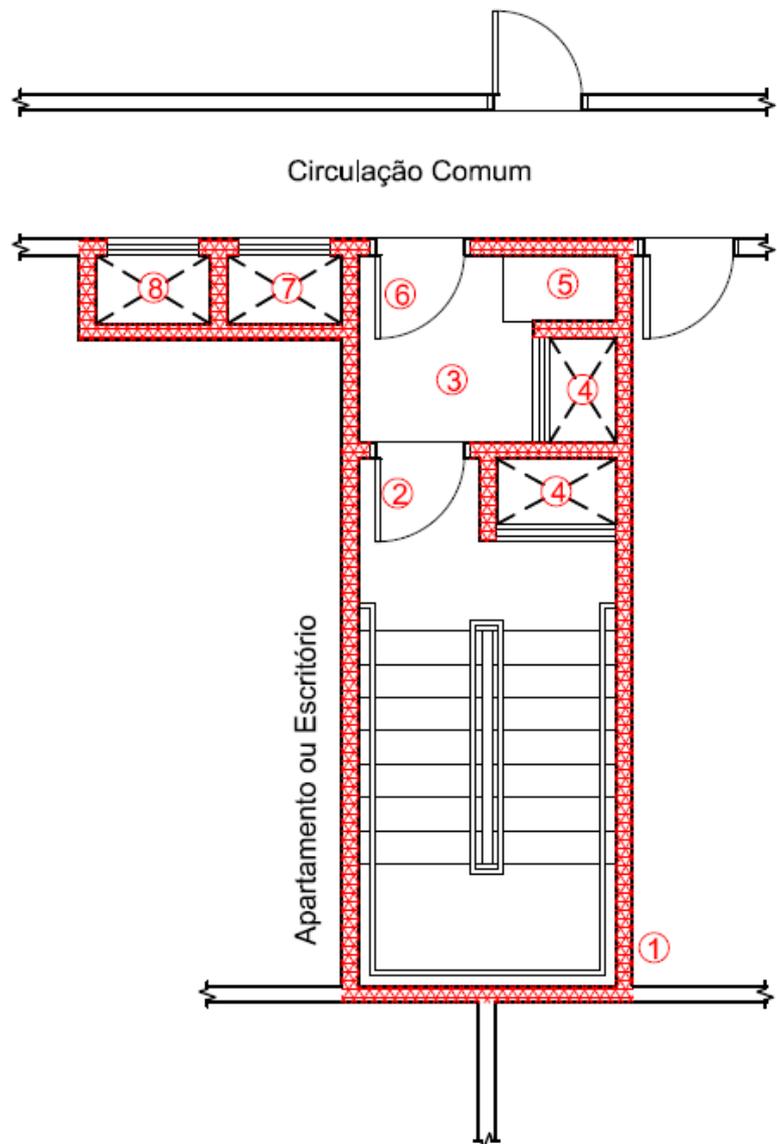


Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 3 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a no mínimo 60 minutos de fogo.
3. Antecâmara.
4. Duto de distribuição de ar pressurizado e Duto de distribuição de ar pressurizado
5. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.
6. Smoke vents.
7. Porta estanque à fumaça e resistente a 90 minutos de fogo.

Figura 26 – Escada Pressurizada com DEF e DEA



Fonte: adaptado Norma de Segurança do Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina (2020)

Legenda:

1. Parede resistente a, no mínimo, 3 horas de fogo.
2. Porta estanque à fumaça e resistente a no mínimo 60 minutos de fogo.
3. Antecâmara.
4. Duto de distribuição de ar pressurizado e Duto de distribuição de ar pressurizado
5. Área de resgate para pessoas com deficiência na escada.
6. Porta estanque à fumaça e resistente a 90 minutos de fogo.
7. Duto de entrada de ar (DEA)
8. Duto de exaustão de fumaça com extração mecânica (DEF)

3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ESCADAS

3.1 ESCADA COMUM

A NE ainda é permitida por norma em alguns edifícios de até 12 metros, cerca de 4 pavimentos. Como se pode observar na Figura 12, este tipo de escada não oferece nenhum tipo resistência ou sistema de ventilação para evitar a propagação do fogo e dos gases tóxicos, sendo de desempenho insatisfatório. Mesmo a IN 09 sendo atualizada no ano de 2020, ainda é permitida esta situação.

Nesta situação, o ideal seria haver pelo menos um sistema de ventilação natural, ou uma circulação indireta a caixa da escada, com pelo menos uma porta corta-fogo.

3.2 ESCADA ENCLAUSURADA PROTEGIDA

A fumaça produzida pelos ambientes encontra como primeira barreira a porta corta fogo e as paredes resistentes ao fogo a 2 horas no mínimo. Um sistema de ventilação é exigido para a EP, consequentemente aumenta o desempenho da escada em relação às NE, porém o posicionamento da ventilação determina a eficiência da saída de emergência.

3.2.1 Mecanismo de ventilação localizado na caixa de escada

Como se pode observar nas Figuras 12, 14 e 18, o sistema de ventilação é uma janela aberta ao exterior aberto localizada na caixa de escada. A fumaça que adentrar à saída de emergência apenas será extraída quando adentrar à caixa de escada. A fumaça no começo irá concentrar na circulação comum, passando pela fechadura e arestas da porta e mais ainda quando houver alguma abertura. A fumaça se propaga no sentido ascendente, quando adentra a caixa da escada, a qual funciona como um duto, encontra a janela de ventilação, porém parte da fumaça já comprometeu os pavimentos superiores. No caso de inversão térmica, os pavimentos inferiores são comprometidos, mas a circulação pode continuar segura se as portas ficarem fechadas. Neste caso, se as portas corta-fogo estiverem abertas e/ou as janelas de ventilação fechadas, o processo de propagação do fogo e da fumaça são acelerados.

Este tipo de escada apresenta um desempenho não satisfatório em relação ao controle da fumaça, pois ela alcança a circulação e obrigatoriamente passa pela escada para ser retirada. Entretanto, em relação a proteção aos ambientes da edificação, ela apresenta desempenho considerável.

3.2.2 Mecanismo de ventilação localizado na circulação comum

Da mesma forma que no item 3.2.1, com a diferença na localização da janela de ventilação. Como se pode observar na Figura 13, neste tipo de escada a ventilação está instalada na circulação comum.

A existência desta abertura permite a retirada da fumaça de maneira natural, conseqüentemente não há concentração da mesma, antes de a mesma atingir a caixa de escada, dificultando a propagação do incêndio para os outros pavimentos.

Além do fator ventilação, a janela também possui uma função como iluminação natural na área de circulação comum.

Em relação à inversão térmica, desde que a porta corta fogo da saída de emergência esteja fechada, tanto a escada de emergência quanto a circulação comum dos pavimentos inferiores não serão afetados.

Este tipo de escada apresenta um desempenho satisfatório em relação ao controle da propagação da fumaça, pois esses gases tóxicos gerados pelo sinistro, inicialmente não conseguem adentrar a caixa de escada protegida. Porém, com o fluxo de pessoas acessando a saída de emergência, e até mesmo pelas fechaduras e vãos da porta corta-fogo, a fumaça pode se inserir na caixa de escada e como não há algum sistema de ventilação dentro, o desempenho não pode ser considerado excelente neste tipo de escada.

3.2.3 Mecanismo de ventilação localizado na antecâmara

Este tipo de EP, observada na Figura 15, utilizada em situações quando não é possível posicionar uma janela de abertura para o exterior livre, possui antecâmara e dutos de ventilação, o que a torna em uma PF, a qual será discutida no item 3.3.

3.2.4 Mecanismo de ventilação localizado dentro da caixa de escada conforme IN 9 do CBMSC

Como observada nas Figuras 19 e 20, não possui algum sistema de ventilação na circulação comum, portanto a fumaça somente será extraída quando adentra à caixa de escada protegida.

Comparando com as EP da NBR 9077, a IN 09 prevê um anteparo junto ao teto entre à escada e a entrada à caixa de escada. Nestes casos, a ventilação pode ser feita por um DEF (Figura 20) ou por uma janela de ventilação abrindo para o espaço livre exterior (Figura 21), localizados antes do anteparo e da escada.

Por causa do anteparo, criam uma espécie de falsa antecâmara, que dificulta a propagação da fumaça para a escada, uma vez que seu comportamento é de se propagar junto ao teto devido à sua alta temperatura. Para o caso da janela de ventilação, obtém-se ainda uma iluminação natural.

Em caso de inversão térmica, a saída de emergência dos pavimentos inferiores pode ser atingida pelos gases, pois a extração dos mesmos ocorre dentro da caixa de escada.

No caso da escada da Figura 21, há uma janela de ventilação, a qual proporciona uma iluminação natural e um acesso para os equipamentos dos bombeiros para acelerar a extração da fumaça.

Este tipo de escada possui um desempenho razoavelmente satisfatório, pois há um sistema de ventilação natural, o qual a fumaça não necessita passar pela escada para ser extraída, porém esta extração fica dentro da caixa de escada. Se por acaso, a porta corta-fogo da saída de emergência estiver aberta, ou a fumaça oriunda do fluxo das pessoas for de uma proporção que o sistema de ventilação não suporte, a saída de emergência estará comprometida.

3.3 ESCADA ENCLAUSURADA À PROVA DE FUMAÇA

Como se pode observar nas Figuras 16, 21 e 22, a fumaça produzida do sinistro dos ambientes da edificação, inicialmente atinge a circulação em comum, por não existir nenhum sistema de ventilação na circulação, pois não é exigido por norma, a fumaça concentra-se nesta região e adentra à antecâmara, por meio de arestas, fechadura e da abertura do fluxo da porta corta-fogo. Esses gases tóxicos são naturalmente extraídos pelo DEF e o ar é renovado pelo

DEA, presentes na antecâmara, o que diminui a quantidade de fumaça existente neste ambiente e protege a caixa de escada, protegida ainda por outra porta corta-fogo.

A utilização da escada acima do pavimento do incêndio permanece preservada, podendo ficar comprometida com a má utilização das portas corta-fogo.

O DEA na antecâmara, localizado junto ao piso, possibilita a renovação do ar, cria uma barreira natural junta a porta de acesso à escada, logo, evitando a penetração da fumaça na mesma.

Já o DEF na antecâmara, localizado junto ao teto, possibilita a extração da fumaça que a invadem. Esse processo é acelerado pelo ar fresco proveniente do DEA.

Em caso de inversão térmica, as escadas de emergência não ficarão comprometidas se suas portas forem mantidas fechadas, porém a antecâmara será comprometida.

Por não ser exigido janelas de ventilação na saída de emergência para este tipo, não há iluminação natural e é difícil a implementação de equipamentos apropriados que visam acelerar a retirada dos gases tóxicos pelos bombeiros.

Este tipo de escada apresenta um ótimo desempenho em relação ao controle de propagação da fumaça e seus efeitos, pois a fumaça não precisa passar pela escada para ser extraída, pela existência de DEF e DEA na antecâmara.

Figura 27 – DEF e DEA presentes na antecâmara de uma PF



Fonte: Autora (2021)

No caso da EEE, Figura 22, a norma permite apenas existir o DEF. Apesar de afetar o desempenho com a retirada DEA, este tipo de escada apresenta um desempenho satisfatório e o caso apresentado nesta dissertação será de um edifício equipado com uma EEE, o qual não houve vítimas por causa da falta de rota de fuga e o combate dos bombeiros foi permitido.

Outra diferença entre a EP da NBR 9077, EEE e EEV são a resistência ao fogo das paredes e das portas. A EEV apresenta paredes resistentes de no mínimo 3 horas ao fogo, enquanto as outras são de 2 horas no mínimo. A NBR 9077 apenas exige portas resistentes à 30 minutos de fogo, enquanto a IN 09, a partir da EEE, exige no mínimo de 60 minutos. Este tempo de resistência é mais essencial ao combate ao incêndio pelos profissionais do bombeiro do que para a fuga dos ocupantes, pois em poucos minutos a fumaça atinge os ambientes, sendo a causa da morte das vítimas sufocamento e outros efeitos, por este motivo, para a evacuação, o tempo de resistência estrutural não afeta consideravelmente, pois em até duas horas todos os ambientes já estariam com uma grande concentração de fumaça.

3.4 ESCADA À PROVA DE FUMAÇA PRESSURIZADA

Neste tipo de escada a estanqueidade das saídas de emergência é garantida pelo método de pressurização, ou seja, por ventilação mecânica. Este sistema de pressurização:

[...] tem função despressurizar uma zona (escada e antecâmara) de forma a conter a fumaça nos ambientes adjacentes não pressurizados, fora da zona pressurizada. (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA, IN 09, 2020, p. 24)

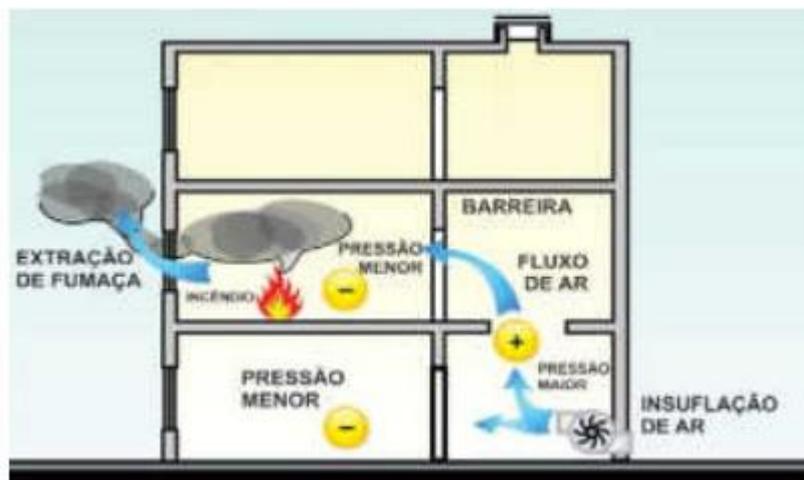
Por depender de energia, manutenção e regulagem, está sujeita a falhas humanas e de dispositivo, que podem até mesmo piorar o seu desempenho.

Teoricamente é a escada mais eficiente, usando uma pressão superior no ambiente onde não se deseja a entrada da fumaça, às áreas subjacentes, formando um bloqueio.

A norma não exige janelas, portanto não há ventilação natural e nem fácil acesso de equipamentos dos bombeiros que visam acelerar a retirada da fumaça.

A Figura 28 demonstra como funciona o mecanismo das EPF pressurizadas.

Figura 28 – PFP - Diferencial de pressão



Fonte: IT 15 do CBMSP (2019)

3.4.1 NBR 9077

No caso da PFP da NBR 9077 é dispensável a antecâmara, Figura 17, ficando apenas a caixa de escada pressurizada em caso do sinistro em contato com a circulação comum, a qual ocorrerá a concentração da fumaça. Se por acaso acontecer alguma falha no sistema mecânico

de ventilação, não há nenhuma abertura prevista na norma para que a fumaça seja extraída, facilitando a propagação da fumaça pela escada.

Por não definir uma ventilação, pelo menos de extração de fumaça, em relação ao controle de propagação da fumaça e seus efeitos, este tipo de escada possui um desempenho péssimo.

3.4.2 NSCI do CBMSC

Já a IN 09, prevê, além da antecâmara, um sistema de desenfumagem que tem por função extrair a fumaça dos ambientes à zona pressurizada. Esse sistema pode ser realizado por DEF, DEA ou *smoke vents*, aberturas para extração da fumaça, representadas nas Figuras 23, 24, 25.

A ideia deste tipo de escada é similar ao da EP, entretanto, seu sistema mecânico de ventilação faz com que as escadas não sejam afetadas pela inversão térmica.

Em relação à propagação da fumaça e seus efeitos, este tipo de escada apresenta um desempenho excelente, pois além da fumaça não precisar entrar na escada para ser extraída, ela ainda não é afetada pelos efeitos da inversão térmica, sendo a escada mais ideal teoricamente para os edifícios altos. Porém, estão sujeitas a falhas elétricas e humanas que podem até mesmo piorar a situação.

Ressaltando que é necessário um gerador de energia e manutenção, o que para edifícios residenciais multifamiliares pode não apresentar um bom custo-benefício, já para, por exemplo, centros comerciais, esse gerador pode ser utilizado para outros assuntos.

O Quadro 2 resume o desempenho dos tipos de escadas presentes nas normas e apresenta o equivalente entre cada.

Quadro 2 - Quadro resumo do desempenho dos tipos de escada

Desempenho	NBR 9077	IN 09 do CBMSC
Insatisfatório	Escada Comum	Escada Comum
	Escada Enclausurada Protegida	Escada Protegida
Insatisfatório	Ventilação na caixa de escada	
Satisfatório	Ventilação na circulação comum	
Satisfatório	X	Ventilação na caixa de escada com anteparo
Ótimo	X	Escada Enclausurada Com Exaustão
	Escada Enclausurada à Prova de Fumaça	X
Ótimo	Ventilação Natural	Escada Enclausurada com Ventilação
Excelente (IN 9 do CBMSC) Insatisfatório (NBR 9077)	Ventilação Mecânica (Escada Pressurizada)	Escada à Prova de Fumaça

Fonte: Autora (2021)

4 FATORES QUE INFLUENCIAM NO CONTROLE DA PROPAGAÇÃO DA FUMAÇA E SEUS EFEITOS

Através das análises efetuadas durante a avaliação do desempenho das escadas, destacaram-se algumas situações que são prejudiciais para uma evacuação segura em caso de incêndio, os quais não possuem êxito no controle da propagação da fumaça e seus efeitos, sendo elas a inexistência de ventilação ou o mal alojamento da mesma.

Como é o caso de janelas na caixa de escada de segurança, a qual a fumaça deve alcançar a zona de circulação comum obrigatoriamente antes de ser exaustada. E no caso da falta de ventilação, a fumaça pode se acumular nessas zonas de circulação comum, e essa concentração pode acarretar uma penetração nas antecâmaras e/ou escada.

O desempenho de uma escada de emergência não será apenas devido à escolha de seu tipo de escada, mas também será em razão da agregação de dispositivos e equipamentos aos ambientes destinados à rota de fuga. São alguns fatores determinantes, entre medidas protetoras passivas e ativas:

1. Concepção arquitetônica;
2. Ventilação;
3. Resistência ao fogo;
4. Iluminação;
5. Alarme.

4.1 MEDIDAS DE PROTEÇÃO PASSIVA

4.1.1 Concepção arquitetônica das saídas de emergência

O projeto arquitetônico é uma das principais barreiras à propagação da fumaça, não só nas saídas de emergência, mas também como a propagação dos estragos no edifício como um todo. É através dele que se determina a proteção das escadas em relação a penetração da fumaça e calor.

Existem dois objetivos básicos a serem alcançados na hora da concepção das saídas, das escadas de emergências e dos acessos para que se obtenha um bom desempenho:

- a) Evitar a propagação da fumaça para os ambientes protegidos;

- b) Exaustar os produtos provenientes da combustão em ambientes que antecedam a caixa de escada, por meio de mecanismos adequados.

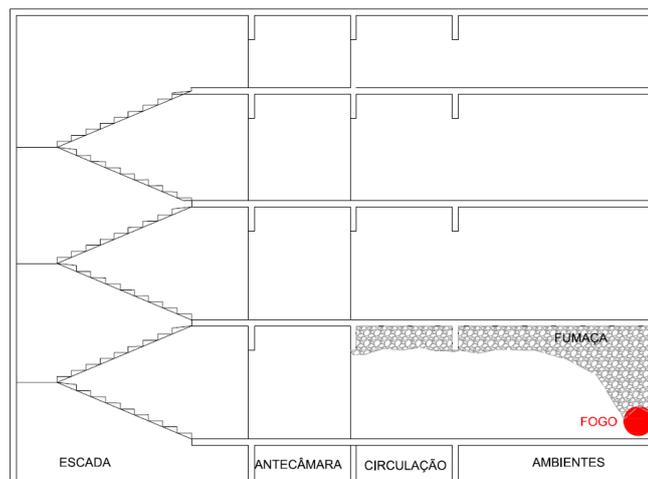
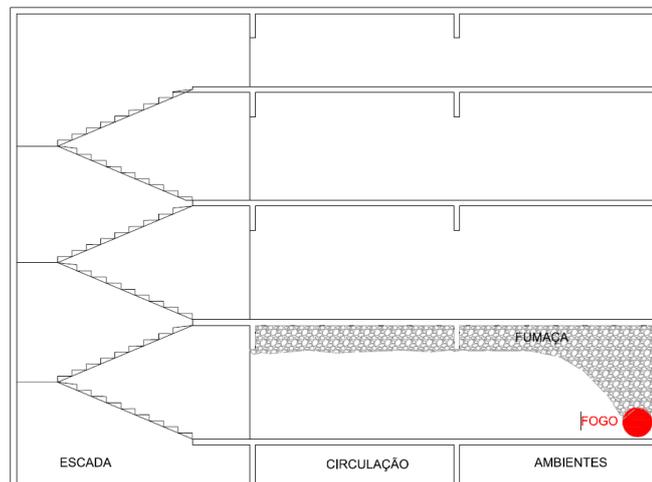
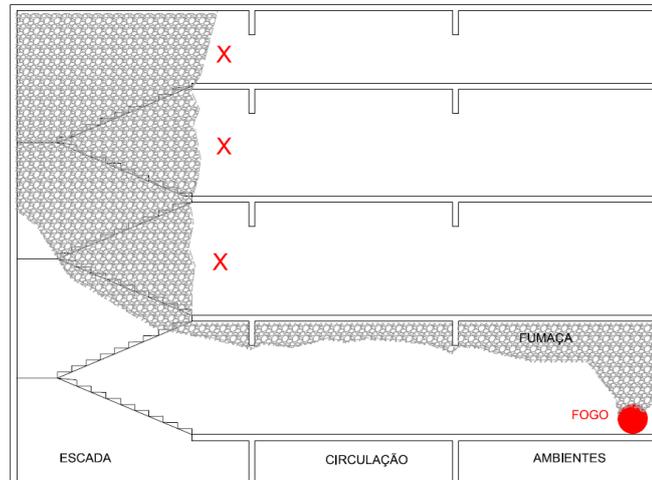
Pode-se classificar a concepção arquitetônica das saídas de emergência em três tipos. Um dos tipos é a comunicação direta à circulação com a caixa da escada de emergência. Os outros dois tipos são a comunicação indireta à circulação com a caixa de escada, com a existência de paredes e portas resistentes ao fogo, sendo um dos tipos com a presença de antecâmara e o outro sem.

A principal diferença desses tipos é em relação a propagação da fumaça e seus efeitos. A que menos impede a penetração da fumaça na caixa da escada é a de abertura direta, e a que oferece mais obstáculos em relação à sua propagação é a de abertura indireta com antecâmara. Pode-se aumentar a eficiência dos tipos menos eficientes em relação à da com a antecâmara com a inserção de obstáculos rente aos tetos, como anteparos discutidos na IN 09 de SC, antes da caixa de escada.

A importância de impedir essa penetração da fumaça na caixa de escada é de fornecer uma rota de fuga e de combate dos bombeiros mais segura de seus efeitos, permitindo um tempo de evacuação maior.

A Figura 29 representa a diferença de propagação de fumaça entre os diferentes conceitos arquitetônicos apresentados.

Figura 29 – Propagação da fumaça entre os diferentes conceitos arquitetônicos



Fonte: Autora (2021)

4.1.2 Ventilação

A concepção associada ao método da ventilação das saídas de emergências são alguns dos fatores determinantes para o desempenho da escada de emergência de determinado tipo de edifício. Os mecanismos de ventilação podem ser naturais ou mecânico.

A ventilação natural pode ser efetuada por meio de janelas abrindo para o espaço livre exterior, ou por duto de entrada de ar e/ou extração de fumaça.

A ventilação mecânica é prevista por meio de equipamentos apropriados que permitam a pressurização da escada, antecâmara ou circulação comum, por meio de um sistema de insuflamento de ar. Este método cria uma diferença de pressão, a qual os locais onde não se deseja a penetração e alastramento da fumaça, como as caixas de escada, são ligeiramente superiores que o ambiente exterior, o que força a extração de fumaça das saídas de emergência.

O Quadro 3 apresenta um comparativo entre os sistemas de ventilação utilizados em edificações.

Quadro 3 – Comparativo dos sistemas de ventilação utilizados em edificações

	Janelas abrindo diretamente para o exterior	Ventilação por meio de DEF e/ou DEA	Ventilação mecânica
Iluminação natural	Sim	Não	Não
Necessidade de manutenção	Não	Não	Sim
Custo de manutenção	Não	Não	Sim
Consumo de energia	Não	Não	Sim
Condições de instalação de equipamentos que favorecem a extração da fumaça	Sim	Não	Não
Exigência de equipamentos (Ex.: Geradores, insufladores, entre outros.)	Não	Não	Sim
Possibilidade de falha no funcionamento	Não	Não	Sim

Fonte: Autora (2021)

A ventilação mecânica, na teoria, é a mais eficiente e onerosa. Ela consegue ser eficaz para edifícios de qualquer altura e é a única que não falha em relação à inversão térmica da fumaça, pois com seu sistema pressurizado, cria-se um ambiente onde a fumaça será extraída

das saídas de emergências. Porém, se o sistema de pressurização não for bem regulado, ou houver falta de manutenção, pode piorar a emergência e favorecer a propagação da fumaça. Além disso, a fonte de energia pode falhar.

É permitida a combinação de ventilações naturais e mecânica para determinado tipo de escada.

4.1.3 Resistência ao fogo

Para se garantir a rota de fuga segura por um determinado período, é necessário que as saídas de emergências possuam resistência ao fogo, calor e a fumaça proveniente do incêndio. É através de paredes e portas resistentes ao fogo que se alcança esta proteção.

4.1.3.1 Porta resistente ao fogo

Os acessos a saídas de emergências, caixa da escada e antecâmara, devem ser dotadas de portas destinadas a fechar as aberturas e permitir o fluxo de pessoas, impedindo e/ou retardando a propagação do fogo, calor e fumaça de um ambiente para o outro.

As portas são classificadas de acordo com o seu tempo de resistência ao fogo, podendo ser de 30, 60, 90 ou 120 minutos, e quanto à estanqueidade à fumaça, elas podem ou não ser estanques.

A NBR 9077 prevê apenas portas resistentes ao fogo durante 30 minutos, independentemente do tipo de escada, enquanto a IN 09 de SC relaciona a duração da resistência em relação ao tipo da escada.

4.1.3.2 Parede resistente ao fogo

Parede capaz de resistir estruturalmente e impedir a progressão do fogo e gases quentes oriundos da combustão, por um determinado período, permitindo a rota de fuga segura.

Ambas as normas, NBR 9077 e IN 09 de SC, exigem um mínimo de 2 horas de resistência às paredes dos tipos de escada, menos as NE, que possuem paredes comuns, e as escadas pressurizadas que as normas exigem um período maior de resistência. A resistência de uma parede corta fogo pode chegar a 4 horas.

Como mencionado anteriormente, a resistência ao fogo está mais atrelada ao combate dos profissionais ao fogo, pois em duas horas, o mínimo exigido por norma, a fumaça já teria atingido todos os ambientes em grande concentração que levaria os ocupantes ao óbito.

4.2 MEDIDAS DE PROTEÇÃO ATIVA

4.2.1 Iluminação

Assim como nos sentimos mais seguros a caminhar nas ruas durante o dia do que à noite, a falta de iluminação nas saídas de emergências desorienta e pode causar o pânico durante um sinistro, logo, é necessário um nível mínimo de iluminação, a qual permita a identificação das saídas e obstáculos.

A iluminação nas saídas de emergência pode ser natural, por meio de uma janela com abertura ao exterior e/ou iluminação de emergência. A iluminação natural permite o aproveitamento e uma independência energética, porém, durante à noite e em ambientes sem aberturas, há a necessidade da iluminação de emergência, pois em situações de incêndios é normal cessar a energia fornecida pela concessionária à edificação atingida.

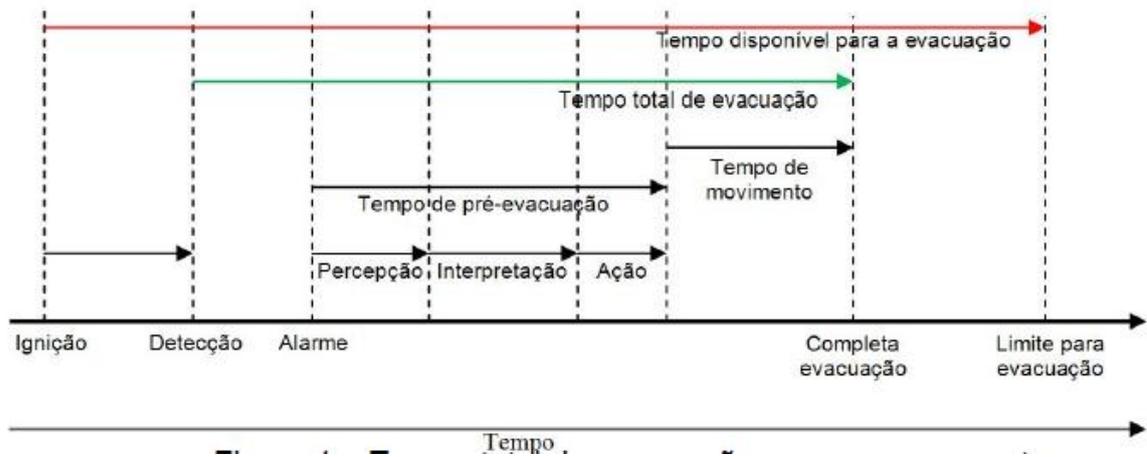
Logo, a iluminação de emergência é indispensável aos edifícios, enquanto a iluminação natural é um complemento ao seu funcionamento.

4.2.2 Alarme

O combate ao incêndio é uma questão de tempo, tempo de combate, extinção e evacuação. A evacuação além de dependente dos outros fatores citados acima, os ocupantes necessitam saber a necessidade de evacuar. Se estiverem próximos ao local do incêndio, o conhecimento do risco para ação pode ser mais rápido, entretanto, algum pavimento mais distante pode reconhecer o perigo tarde demais, o que prejudica sua evacuação.

A Figura 30 apresenta o tempo disponível para a evacuação. Esse tempo foi definido no tópico 2.4, de maneira conservadora, como sendo 2 minutos para a fumaça se espalhar por um ambiente, ou seja, as pessoas já devem ter evacuado. Quanto mais rápido for a detecção do problema, maior será o tempo total de evacuação.

Figura 30 – Tempo total de evacuação e seus componentes



Fonte: ALVES; CAMPOS; BRAGA (2016)

Portanto é necessário um sistema de alarme eficaz de detectar o sinistro logo de início transmitindo o aviso para todos os pavimentos, com a finalidade de todas as pessoas consigam evacuar o edifício a tempo e com segurança. Entretanto, por necessitar de manutenções e de energia, pode apresentar falhas tanto humana quanto por dispositivo.

5 CASO DE ESTUDO (EDIFÍCIO AFRODITE EM SÃO JOSÉ/SC)

Este caso foi cedido pelo CBMSC para ilustrar uma ocorrência de incêndio recente, em um prédio relativamente alto e a efetividade da saída de emergência.

O Edifício Afrodite localizado no bairro Campinas da cidade de São José/SC, construído em 2006 e possui 14 pavimentos. A escada do edifício é do tipo EEE, ou seja, enclausurada, dotada de antecâmara com DEF, além de possuir portas corta-fogo.

No dia 3 de novembro de 2020 às 6 horas da manhã, houve um incêndio no décimo andar do edifício com seu início no quarto dos fundos do apartamento. Apenas uma pessoa ficou ferida, o morador do local sinistrado, que estava dormindo, acordou com sua residência tomada pela fumaça e logo foi resgatado pelos bombeiros com queimaduras de segundo grau. Os outros moradores evacuaram pelas escadas de emergência. A causa do incêndio foi uma falha no sistema elétrico.

Todo o apartamento foi comprometido, como pode ser visto na Figura 31, o fogo se alastrou pelo apartamento e parte da fumaça foi extraída pela própria sacada.

Figura 31 – Fumaça saindo da sacada e janelas do apartamento



Fonte: Jornal Hora de Santa Catarina (2020)

A fumaça também invadiu o corredor do 11º pavimento. Através das Figuras a seguir, nota-se o comportamento da fumaça em se alastrar horizontalmente rente ao teto até encontrar uma saída, ou, se não existente um meio de escape, ela vai se acumulando até ocupar todo espaço.

A Figura 32 mostra as marcas deixadas pela fumaça dentro da antecâmara do 10º andar provavelmente proveniente do fluxo de fuga dos residentes e da penetração da mesma pelas arestas e fechaduras. Já a Figura 33 mostra a antecâmara e as marcas da fumaça somente até a altura do teto ao fim do DEF. Nota-se que a iluminação da antecâmara não foi danificada o que comprova que o calor nesta região não era tão perigoso. Por fim, a Figura 35, mostra o corredor danificado pela fumaça e pelo calor, com destaque para a sinalização de saída derretida, marcas da fumaça até aproximadamente metade das portas e portas dos elevadores retorcidas.

Figura 32 – Porta Corta-Fogo vista de dentro da antecâmara



Fonte: CBMSC (2020)

Figura 33 – DEF localizado na antecâmara



Fonte: CBMSC (2020)

Figura 34 – Marcas da fumaça e calor



Fonte: CBMSC (2020)

Figura 35 – Corredor do 10º pavimento



Fonte: CBMSC (2020)

Analisando as Figuras, pode-se concluir que a escada EEE foi eficiente e segura para os ocupantes, resultando em apenas uma vítima por não ter tido o tempo de resposta ao sinistro rápido e por estar no local de início do mesmo. Apenas o corredor do andar foi comprometido, porém não impediu que os outros ocupantes evacuassem. A rota de fuga (escada de emergência) permaneceu limpa da fumaça e do calor o que favoreceu para que o fogo não se espalhasse para outros pavimentos.

Após uma análise estrutural, verificou-se que o sinistro não danificou a estrutura do edifício.

6 CONCLUSÃO

O incêndio é prevenível, logo são necessárias medidas de proteção contra incêndios, as quais podem ser tanto passivas quanto ativas. A combinação dessas medidas somadas com seu bom uso e funcionamento fornece o desempenho do projeto. Porém, este desempenho normalmente só é medido quando há o sinistro, assim como a necessidade de uma norma de saídas de emergência surgiu após os desastres do edifício Joelma em 1974 e no edifício Andraus em 1972.

Com a evolução da tecnologia, permitiu-se a realização de simulações computacionais que tentam se aproximar à um comportamento humano, do fogo e dos seus efeitos reais. A IN 9 do CBMSC, de saídas de emergências, atualizada em dezembro de 2018 já inclui o *software FDS + Smokeview*, gratuito, porém este em especial, apenas fornece o comportamento da fumaça em relação à compartimentação arquitetônica, temperaturas ocasionadas pelo fogo, e o tempo de evacuação das pessoas. No entanto, não considera a altura do edifício, logo não aborda a inversão térmica, fenômeno muito importante em edifícios altos.

Não é possível realizar um modelo ideal de escada de emergência, pois múltiplos fatores interferem sua eficiência, como a arquitetura, o clima da região, a altura, a ocupação entre outros que podem interferir no desempenho da escada tanto positivamente quanto negativamente.

Ensaio e testes, com fumaça nas edificações são complicados de serem realizados, pois mesmo gerando uma fumaça limpa para analisar seu comportamento no ambiente, mobiliza uma equipe, o local deve ficar interditado, gera sujeira e alguém pode se ferir. Portanto os dados são obtidos teoricamente ou por meio dos sinistros registrados o qual é como se realmente comprova a eficiência da saída.

As escadas pressurizadas são as, teoricamente, mais eficientes entre as escadas de emergências, porém apresenta maior possibilidade de falhas humanas e de dispositivos, pois a regulação dos mecanismos de pressurização pode propagar a fumaça pela caixa de escada, ou até mesmo se houver falha na fonte de energia, além de possuir um custo de instalação e manutenção muito alto comparada com as demais. Enquanto a escada protegida à prova de fumaça apresenta como maior falha a inversão térmica, a qual depende do clima e da altura.

Em caso de edifícios residenciais altos a melhor opção é a ventilação natural, visto que sua eficiência é comprovada e não há outra função para um gerador. Porém para casos de edifícios muito altos, acima de 20 pavimentos, como existentes em Balneário Camboriú, ou por

ocupações como shoppings ou hospitais, a melhor opção é a ventilação mecânica, pois evitam a possibilidade do fenômeno de inversão térmica e seus geradores possuem outros usos além da escada, o que justifica o gasto.

Vale ressaltar que a IN 9 do CBMSC, mesmo atualizada, continua permitindo que o método de extração da fumaça seja pela caixa de escada, uma situação que bota em risco a rota de fuga de todos os pavimentos e já comprovada como um desempenho insatisfatório. A NBR 9077 também permite a mesma situação, porém ela não é atualizada desde 2001.

Como sugestão para futuros trabalhos acadêmicos, recomenda-se a realização de ensaios sobre a fumaça em laboratórios. Além de simulações que envolvam a altura do edifício, sua população, o clima exterior e as características da movimentação da fumaça e seus efeitos, cujo resultado seja em relação ao tempo de evacuação dos ocupantes e a situação das saídas de emergência.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves. **A Questão do Escape em Edifícios Altos: a influência da fumaça de incêndio na proteção da vida.** 2010. 286 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- ARAGÃO, Ranvier Feitosa *et al.* **Incêndios e Explosivos: uma introdução à engenharia forense.** 2. ed. Campinas/Sp: Millennium, 2020. 446 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077: Saídas de Emergência em Edifícios.** Rio de Janeiro: Cenwin, Dezembro 2001. 36 p.
- CAMPOS, André Telles; CONCEIÇÃO, André Luiza Santana da. **Manual de Segurança contra Incêndio e Pânico: proteção passiva.** Brasília: Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2006. 219 p.
- COMISSÃO TRIPARTITE PERMANENTE DE NEGOCIAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO NO ESTADO DE SÃO PAULO (comp.). **CPNSP.** São Paulo. 2017.
- CORPO DE BOMBEIROS DE SANTA CATARINA. Secretaria de Segurança Pública. **Tópicos Introdutórios: ciências do fogo.** Florianópolis: CBMSC, 2018. 52 slides, color. 1º Edição.
- CORPO DE BOMBEIROS DE SANTA CATARINA. Secretaria de Segurança Pública. **IN 9: Saídas de Emergência.** 3 ed. Santa Catarina, 2020. 57 p.
- CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IT 02: Conceitos Básicos de Segurança contra Incêndio.** São Paulo, 2019. 29 p.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IT 15: Controle de Fumaça.** São Paulo, 2019. 64 p.
- COSTA, Marcia. **Meios de Transmissão do Calor e Mecanismos de Ignição dos Materiais Combustíveis.** Disponível em: <https://www.fogoeincendio.com/meios-de-transmissao-do-calor-e-mecanismos-de-ignicao-dos-materiais-combustiveis/>. Acesso em: 10 nov. 2020
- DUARTE, Rogério Bernardes; ONO, Rosaria; SILVA, Silvio Bento da. **Problemática de Incêndios em Edifícios Altos.** São Paulo: Ed. do Autor, 2021. 181 p.
- GODOY, Roberta. **Prática internacionais segurança contra incêndio.** Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2013/10/praticac-internacionais-de-seguranca-contraincendio.pdf> . Acesso em: 15 set. 2020.

GORDON E. HARTZELL (Espanha). National Fire Protection Association. **Manual de Protección contra Incendios**. 16. ed. Madrid: Mapfre, 1986. 1942 p. Tradução: Alberto Blasco e Alarcón & Allen.

JENNIFER FOGAÇA. Brasil Escola. **Teoria do Flogístico**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/teoria-flogistico.htm>. Acesso em: 11 nov. 2020.

KULIGOWSKI, Erica D.. **The Process of Human Behavior in Fires**: nist technical note 1632. NFPA: National Institute Of Standards And Technology, 2009. 15 p. CODEN: NSPUE2.

KULIGOWSKI, Erica D.; PEACOCK, Richard D.. **A Review of Building Evacuation Models: technology technical** note 1471. Estados Unidos da América: National Institute Of Standards And Technology, 2005. 156 p. Código: NSPUE2.

LUZ NETO, Manoel Altivo da. **Condições de Segurança Contra Incêndio**. Brasília: Ministério da Saúde, 1995. 100 p.

MICHAELIS (Brasil). Dicionário Brasileiro de Língua Portuguesa (ed.). **Chama**. 2020. Editora Melhoramentos. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/busca?id=LmzQ>. Acesso em: 15 nov. 2020.

MUNDO EDUCAÇÃO (org.). **Combustíveis**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/combustiveis.htm>. Acesso em: 16 nov. 2020.

NIST, National Institute of Standards and Technology. **FDS and Smokeview**. Disponível em: <https://www.nist.gov/services-resources/software/fds-and-smokeview>. Acessado em 11 dez. 2020

POZZAN, Gauana Elis. **PREVENÇÃO**: uma abordagem sobre os sistemas de segurança contra incêndio e sua utilização pelos ocupantes das edificações. 2009. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Emergências, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, São José, 2009.

PROULX, Guylène; FAHY, Rita F.; WALKER, Amber. **Analysis of First-Person Accounts from Survivors of the World Trade Center Evacuation on September 11, 2001**: research report no. 178. 2004. 40 f. National Research Council Of Canada, Ottawa, Canada, 2004.

RICHARD BUKOWSKI (Cbtbuh World Congress). Nist Building And Fire Research Laboratory. **Emergency Egress from Ultra Tall Buildings**. 8. ed. Dubai: Ctuh Research Paper, 2008. 9 p.

SCHPIL, Ilton. **PLANO DE EMERGÊNCIA CONTRA INCÊNDIO: A NECESSIDADE DE UMA INSTRUÇÃO NORMATIVA PARA SANTA CATARINA**. 2011. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Centro de Ensino Bombeiro Militar, Academia Bombeiro Militar, Florianópolis, 2011.

SCHULZ, Daniel. **Calor**. 2009. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/calor.htm>. Acesso em: 31 out. 2020.

SILVA, Valdir Pignatta e; VARGAS, Mauri Resende; ONO, Rosária. **Prevenção contra Incêndio no Projeto de Arquitetura**. Rio de Janeiro: Iabr/Cbca, 2010. 72 p.

SOUZA, João Carlos. **A importância do projeto arquitetônico para a prevenção contra incêndios**. 2017. Disponível em <https://www.archdaily.com.br/br/875706/a-importancia-do-projeto-arquitetonico-para-a-prevencao-contraincendios-joao-carlos-souza>. Acesso em: 20 jan. 2020

TABACZENSKI, Roberta et al. **APLICAÇÃO DO SOFTWARE FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS) NO ESTUDO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS (SCI) NO BRASIL**. Revista Flammae, [S.L.], v. 3, n. 7, p. 87, jul. 2017. Galoa Events Proceedings. <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v3n7.p87-116>.

TABACZENSKI, Roberta. **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES**. 2018. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

THÓRUS ENGENHARIA (Santa Catarina) (org.). **Escadas de emergência: Tipos, dutos, paredes e portas corta fogo, antecâmara, sistema de pressurização e muito mais**. 2019. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/quais-sao-os-tipos-de-escada-de-emergencia/>. Acesso em: 15 set. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (Rio de Janeiro) (org.). **Riscos de Incêndios**. 2005. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/fogo.htm>. Acesso em: 20 out. 2020.

ZAMBON, Lucas Santos. **Atendimento na intoxicação por fumaça**. 2013. Disponível em: https://www.medicinanet.com.br/conteudos/revisoes/5285/atendimento_na_intoxicacao_por_fumaca.htm. Acesso em: 26 out. 2020.