

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

Fernanda Ribeiro Jordão

**ESTUDO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS (SCI) EM SALAS DE AULA DO
CEFET DE ARAXÁ (MG) COM O *SOFTWARE FIRE DYNAMICS SIMULATOR* (FDS)**

OURO PRETO

2022



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – UEMG



Estudo da Segurança contra Incêndios (SCI) em Salas de Aula do CEFET de Araxá (MG) com o *Software Fire Dynamics Simulator (FDS)*

FERNANDA RIBEIRO JORDÃO



Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais - REDEMAT, da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP/MG, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Antônio M. Claret de Gouveia

Coorientador: Prof. Domingos Sávio de Resende

Fevereiro de 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

J82e Jordão, Fernanda Ribeiro.
Estudo da Segurança contra Incêndios (SCI) em Salas de Aula do
CEFET de Araxá (MG) com o Software Fire Dynamics Simulator (FDS).
[manuscrito] / Fernanda Ribeiro Jordão. - 2022.
47 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Antonio Maria Claret-Gouveia.
Produção Científica (Especialização). Universidade Federal de Ouro
Preto. Rede Temática em Engenharia de Materiais.

1. Software - Fire Dynamics Simulator (FDS). 2. Prevenção de
incêndios. 3. Incêndio - Segurança contra Incêndios (SCI). I. Claret-
Gouveia, Antonio Maria. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 620.1

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE
MATERIAIS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Fernanda Ribeiro Jordão

**Estudo da segurança contra incêndios (SCI) em salas de aula do CEFET de Araxá (MG)
com software Fire Dynamics Simulator (FDS)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Materiais - Ênfase: Metais Não Ferrosos

Aprovada em 06 de junho de 2022.

Membros da banca

Prof. Dr. Antônio Maria Claret de Gouveia - Universidade Federal de Ouro Preto

Dr^a Helena Rosmaninho Alves Moreira Gonçalves - R2 Assessoria

Prof. Dr. Augusto César da Silva Bezerra - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Campus Araxá (MG)

Prof. Domingos Sávio de Resende - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Campus Araxá (MG)

O Prof. Fernando Gabriel da Silva Araújo, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21 de maio de 2024



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Gabriel da Silva Araujo, COORDENADOR(A) DE CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**, em 21/05/2024, às 16:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0713698** e o código CRC **53AE490D**.

Aos meus amados filhos Enrico e Theo, por toda paciência e compreensão; à minha amada mãe, pelo apoio incondicional; e ao prof. Claret, pelo incentivo para que eu não desistisse no decorrer do percurso.

“Descobrir consiste em olhar para o que todo mundo está vendo e pensar uma coisa diferente”.

(Roger Von Oech)

RESUMO

Esta pesquisa objetivou estudar o software *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), como um mecanismo auxiliar na segurança contra incêndios (SCI) em salas de aula do CEFET de Araxá (MG). Foram realizadas simulações de incêndio com o FDS e os resultados foram comparados com os obtidos com o software *PyroSim*, desenvolvido pela *Thunderhead Engeneering*. A justificativa deste estudo está na necessidade de dados reais para que a legislação brasileira seja mais específica na segurança contra incêndio em estabelecimentos de ensino, considerando a vulnerabilidade dos usuários (crianças e jovens) desses locais. A metodologia utilizada foi a realização de simulações computacionais com o FDS.

Palavras-chave: Software. FDS. *PyroSim*. Segurança. Incêndio. Simulação.

ABSTRACT

This research aimed to study the *Fire Dynamics Simulator* (FDS) software, developed by the *National Institute of Standards and Technology* (NIST), as an auxiliary mechanism in fire safety (SCI) in CEFET classrooms in Araxá (MG). Fire simulations were performed with the FDS and the results were compared with those obtained with the *PyroSim* software, developed by *Thunderhead Engineering*. The justification for this study is the need for real data so that Brazilian legislation is more specific in fire safety in educational establishments, considering the vulnerability of users (children and young people) in these places. The methodology used was to carry out computer simulations with the FDS

Keywords: Software FDS. *PyroSim* Safety. Fire. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1: Escola Maria de Nazaré Lima pegou fogo (Cruzeiro do Sul- Acre).....	19
Figura 3-2: Incêndio em escola pública de Atibaia, em 2019.....	19
Figura 3-3: Média de mortos em vários países em 2014 (M/100i).....	23
Figura 4-1: Simulação feita utilizando software (FDS).....	26
Figura 4-2: Simulação FDS/SMV.....	28
Figura 4-3: Gráfico Heat Release Rate Per Unit Area (HRRPUA).....	29
Figura 4-4: Passo 1 de Instalação FDS e SMV Fonte: A autora, 2021.....	30
Figura 4-5: Passos 2 e 3 de Instalação do FDS e SMV (Windows).....	31
Figura 4-6: Passos 4 e 5 de Instalação do FDS e SMV (Windows).....	31
Figura 4-7: Passos 6 e 7 de Instalação do FDS e SMV (Windows).....	32
Figura 4-8: Passos 8 e 9 de Instalação do FDS e SMV (Windows).....	32
Figura 4-9: Passos 10 a 15 de Instalação do FDS e SMV (Windows).....	33
Figura 4-10: Passos 16 a 18 de Instalação do FDS e SMV (Windows).....	33
Figura 4-11: Checkout de Instalação.....	34
Figura 5-1: Simulação 1- ambiente sem aberturas.....	38
Figura 5-2: Simulação 2- Ambiente com 2 aberturas.....	38
Figura 5-3: Planta baixa sala de aula CEFET - S/Escala.....	39
Figura 5-4: Simulação de sala de aula CEFET – Software FDS.....	40
Figura 5-5: Simulação Sala de Aula CEFET – Software <i>PyroSim</i>	41
Figura 5-6: Gráfico HRRPUA (Heat Release Rate Per Unit Area).....	42
Figura 5-7: Simulação de sala de aula -CEFET/MG com o software <i>PyroSim</i>	42
Figura 5-8: CMD Windows- Simulação sala de aula - CEFET/MG com o software FDS.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1:Maiores Incêndios ocorridos no Brasil	24
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Legislação Brasileira sobre Incêndios	13
3.2	Segurança contra Incêndio (SCI)	15
3.3	Segurança contra Incêndios em Escolas.....	18
3.4	Softwares: Tecnologia para SCI.....	20
4	METODOLOGIA	26
4.1	Utilização dos Softwares FDS, <i>PyroSim</i> e <i>SMV</i>	26
4.2	Instalação dos Softwares FDS e <i>Smokeview</i>	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Simulação do <i>PyroSim</i> em ambiente real: Sala de aula do CEFET-Araxá.....	40
6	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

“Incêndio se apaga no projeto!”: esta frase resume toda a justificativa econômica e social que o tema abrange. A importância do planejamento é medida pelos sinistros evitados e não pelos incêndios extintos (BRASIL, 1995). Essas palavras evidenciam a responsabilidade dos projetistas na construção de uma edificação. Segurança é não deixar acontecer e não ter de contornar a situação com processos de responsabilidade. Os materiais empregados, os processos construtivos, a organização do espaço e sua finalidade, a área urbana em que está inserido são características que devem ser levadas em conta com prioridade, pois têm impacto na severidade de um incêndio.

No Brasil, não há ampla divulgação de dados oficiais de casos de incêndio, o que restringe muito a discussão e a elaboração de políticas públicas para enfrentar o problema. Desde 2012, o Instituto Sprinkler do Brasil (ISB) monitora diariamente as notícias sobre os chamados “incêndios estruturais” no país (instalações industriais e comerciais, depósitos, bibliotecas, escolas, hospitais e hotéis, etc.). Nas suas últimas estatísticas, consta que, em 2021, ocorreram 2.301 incêndios estruturais no país, um aumento de 85% em relação a 2020. Só no setor de Educação e Cultura foram 77 ocorrências. O ISB acredita que muitos desses sinistros poderiam ser evitados caso houvesse um sistema eficaz de segurança contra incêndio (ISB, 2022).

Um incêndio em um estabelecimento escolar pode ter consequências físicas devastadoras, além das possíveis consequências psicológicas nas pessoas envolvidas. O incêndio é uma das situações em que a capacidade individual de resposta adequada diminui em razão do pânico. Por isso, a prevenção e a proteção devem chegar ao nível máximo de exigência para que o incêndio não aconteça, mas, se acontecer, que não haja danos aos ocupantes do espaço. A segurança do espaço físico deve permitir, ainda que com todas precauções, a evacuação e o combate do incêndio sejam rápidos e eficientes.

No Brasil, os riscos e o alto custo dos equipamentos e das instalações necessárias para a realização de avaliação de incêndio na fase de projetos de edificações dificultam esse tipo de pesquisa. Como solução para esse impasse, estão sendo desenvolvidos softwares para simulação computacional de incêndios desde 1992. Esses softwares simulam a desocupação de uma edificação com base no *layout* arquitetônico e nas características físicas, biológicas e emocionais dos usuários. Estima-se que há mais de 170 modelos computacionais à disposição

de engenheiros, arquitetos e técnicos de segurança contra incêndio para avaliar a eficiência das rotas de fuga e o tempo médio de desocupação do edifício.

Nesta pesquisa, foi utilizado o software *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), para simular incêndio em salas de aulas do CEFET de Araxá (MG), enfocando aberturas, pé-direito e desobstruções do ambiente.

No Brasil, as primeiras publicações de pesquisas realizadas com o auxílio desse software datam de 2008. Desde então, tem ganhado espaço, provando ser uma ferramenta adequada para auxiliar na definição de projetos arquitetônicos mais eficientes em relação à segurança contra incêndio, à avaliação da eficiência de sistemas construtivos que visam à contenção de incêndios, à avaliação da propagação do incêndio em edificações, à estimativa do tempo facultado para evacuação de edificações e da altura da camada livre de fumaça.

Esta pesquisa justifica-se pela necessidade de investigar se as edificações públicas brasileiras, em uma situação real de um incêndio, têm um sistema eficiente de segurança contra incêndio. As simulações e a análise de modelagens serão de grande valia na fase de projeto de edificações, ajudando na definição de *layouts*, na escolha dos materiais de acabamento, no melhor posicionamento de escadas de emergência e portas corta-fogo para assegurar a segurança dos usuários de edificações, evitando os efeitos danosos dos incêndios.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar modelagens de incêndio para a determinação da arquitetura de espaços educacionais apropriados para jovens e crianças, visando à segurança contra incêndio, por meio do software *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

Considerando que as regulamentações brasileiras e normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tratam de saídas de emergência de incêndio (ABNT NBR 9077), referindo-se ao escape de adultos com pleno vigor físico, questiona-se como se regulamenta a abordagem do escape de crianças e jovens, usuários mais vulneráveis a situações de emergência, em estabelecimentos de ensino.

2.2 Objetivos Específicos

- Simular, com o FDS, o processo de abandono (saídas de emergência) em três escolas frequentadas por crianças e jovens (Ensino Fundamental e Médio).
- Coletar e compilar os seguintes dados: tipos de deslocamento (em trechos horizontais e em trechos verticais), comportamento humano e reação a um alarme de incêndio, movimento de evacuação, tempo de resposta ao alarme de incêndio e velocidade de escape dos usuários.
- Analisar, com o FDS, se há influência dos materiais de acabamento sobre o tempo de escape dos usuários.
- Determinar, nas análises das modelagens, os melhores acabamentos em função do tempo de desgaste (características e durabilidade dos materiais construtivos) para a construção de edificações escolares.
- Determinar a influência da fumaça e da temperatura na evacuação de pessoas.
- Comparar os dados coletados nas modelagens e no levantamento de dados à eficiência das orientações normativas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Legislação Brasileira sobre Incêndios

Após os grandes incêndios a que o Brasil assistiu (*Gran Circus* Norte-Americano em 1961, os edifícios Andraus e Joelma, em São Paulo, respectivamente em 1972 e 1974), as autoridades têm editado regulamentações para proteger mais os ocupantes e as edificações. Porém, segundo Seito et al. (2008):

Muito pela ausência de grandes incêndios e de incêndios com grande número de vítimas, o “problema incêndio”, até início dos anos 70 do século passado, era visto como algo que dizia mais respeito ao corpo de bombeiros. A regulamentação relativa ao tema era esparsa, contida nos Códigos de Obras dos municípios, sem quaisquer incorporações do aprendizado dos incêndios ocorridos no exterior, salvo quanto ao dimensionamento da largura das saídas e escadas e da combustibilidade de escadas e da estrutura de prédios elevados (SEITO et al., 2008, p. 22)

Atualmente, o nível mínimo de segurança contra incêndio no Brasil é garantido por algumas normas, mas a falta de uniformidade e a fragmentação entre elas dificulta o atendimento a todas as prescrições. É necessário revisá-las continuamente, pois as necessidades da sociedade se alteram com frequência.

O Decreto Federal n. 5.296, de 2004, estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida (BRASIL, 2004):

Os estabelecimentos de ensino de qualquer nível, etapa ou modalidade, públicos ou privados, proporcionarão condições de acesso e utilização de todos os seus ambientes ou compartimentos para pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, inclusive salas de aula, bibliotecas, auditórios, ginásios e instalações desportivas, laboratórios, área de lazer e sanitários (BRASIL, 2004).

Em 2017, após o incêndio da boate Kiss, entrou em vigor a Lei n. 13.425, mais conhecida como “Lei Kiss”, que estabelece diretrizes gerais e ações complementares sobre prevenção e combate a incêndio e desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público:

O planejamento urbano a cargo dos Municípios deverá observar normas especiais de prevenção e combate a incêndio e a desastres para locais de grande concentração e circulação de pessoas, editadas pelo poder público municipal, respeitada a legislação estadual pertinente ao tema. As normas especiais previstas no caput deste artigo abrangem estabelecimentos, edificações de comércio e serviços e áreas de reunião de público, cobertos ou descobertos, cercados ou não, com ocupação simultânea potencial igual ou superior a cem pessoas. Mesmo que a ocupação simultânea potencial seja inferior a cem pessoas, as normas especiais previstas no caput deste

artigo serão estendidas aos estabelecimentos, edificações de comércio e serviços e áreas de reunião de público que, pela sua destinação sejam ocupados predominantemente por idosos, crianças ou pessoas com dificuldade de locomoção; ou contenham em seu interior grande quantidade de material de alta inflamabilidade (BRASIL, 2017, p.1).

Em Minas Gerais, o Decreto Estadual 44.746, de 2008, autoriza o Corpo de Bombeiros Militar a tomar providências para garantir a segurança nas edificações:

As exigências das medidas de segurança contra incêndio e pânico das edificações e áreas de risco devem ser cumpridas visando atender aos seguintes objetivos: I – proporcionar condições de segurança contra incêndio e pânico aos ocupantes das edificações e áreas de risco, possibilitando o abandono seguro; II – minimizar os riscos de eventual propagação do fogo para edificações e áreas adjacentes, reduzindo danos ao meio ambiente e patrimônio; III – proporcionar meios de controle e extinção do incêndio e pânico; IV – dar condições de acesso para as operações do Corpo de Bombeiros Militar; e V – garantir as intervenções de socorros de urgência.(CBMMG, 2008)

Segundo o Censo Escolar da Educação Básica realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) em 2017, o Brasil possuía 184,1 mil escolas de educação básica, públicas e privadas, que abrangem pré-escola, ensino fundamental e ensino médio. Exige a legislação dos direitos humanos que as escolas apresentem uma infraestrutura adequada e um ambiente seguro para abrigar os alunos. A infraestrutura e segurança das escolas envolve o projeto arquitetônico, as instalações elétricas, as hidrossanitárias e tecnológicas, ambientes adequados, acessibilidade, implantação, projeto de prevenção contra incêndio e preparo dos profissionais atuantes. O Censo não cita o quantitativo de escolas que possuem um adequado projeto de instalações de prevenção contra incêndio (DIAS, 2018).

Conforme Brentano (2015, p.32):

A cultura de segurança das edificações está longe de ser uma exigência espontânea de quem projeta e constrói, salvo exceções, principalmente, nas grandes cidades do Brasil. Isso, muitas vezes, mais por exigências legais e de fiscalização, que são mais visíveis e próximas nestas cidades, do que por vontade própria do empreendedor.

As escolas de ensino básico são edificações peculiares pelas suas características e pelos seus usuários. Normalmente, as escolas guardam materiais combustíveis, como papel, móveis e gás de cozinha. Os ocupantes são grande quantidade de crianças e adolescentes, que, devido à idade e limitações físicas, possuem uma dependência maior dos adultos, tornando mais complexo um processo de evacuação do edifício.

As escolas públicas quase sempre ocupam espaços antigos, feitos com outra finalidade. Por isso, apresentam deficiências na manutenção das instalações e infraestrutura precária para

novos aparelhos (computadores, por exemplo), aumentando os riscos de curtos-circuitos e acidentes.

O Brasil não possui uma estimativa da quantidade de incêndios em instituições de ensino, mas sabe-se que os poucos números que se contabilizam demonstram uma situação preocupante. Incêndios em escolas, por causas naturais ou criminosas, não são ocorrências incomuns, trazem perdas materiais e humanas. Diante da necessidade de reduzir os riscos de incêndio nas instituições de ensino, prevenindo perdas humanas, patrimoniais e de continuidade do processo produtivo escolar, é necessário modificar o pensamento das pessoas no que tange à prevenção, para que também se responsabilizem e cuidem da escola de seu bairro.

Em edificações, seja qual for seu porte, a proteção contra incêndios deve ser vista como obrigação e um dever indeclinável de proteger vidas humanas e os patrimônios envolvidos. Portanto, os meios e equipamentos que constituem o combate e prevenção de incêndio em edificações não devem ser negligenciados em virtude de custos, uma vez que suas consequências podem causar danos irreversíveis e irreparáveis.

3.2 Segurança contra Incêndio (SCI)

Segundo Claret-Gouveia (2017), na concepção e elaboração de projetos para uma edificação, a SCI tem uma posição acessória no projeto arquitetônico. Profissionais elaboram desde o estudo preliminar até o projeto executivo, sem considerar as regulamentações de incêndio para o uso da edificação. Após a finalização deste, é feita a contratação de projeto complementar de segurança de incêndio. Ressalta-se que as normas brasileiras ratificam a condição secundária da segurança contra incêndio, considerando-a parte das instalações prediais. A NBR 12.722 (1992), por exemplo, ao listar os tipos de projetos necessários às construções, entre eles o projeto arquitetônico, o projeto geotécnico e o projeto estrutural, classifica o sistema de proteção contra incêndio como “outras instalações especiais”.

A segurança contra incêndio não deve ser reduzida à confiabilidade do auxílio exterior. As especificações e medidas construtivas devem ser baseadas no comportamento dos elementos estruturais, dos materiais de revestimento e acabamento e nas instalações frente ao fogo, que, aliados à setorização e à compartimentação com dimensões adequadas, principalmente das vias de evacuações, conduzirão os usuários com mais tranquilidade em uma situação de emergência. Estas medidas tornam-se mais eficazes se incorporadas no projeto na fase de elaboração e não como forma de minimizar danos em edificações já construídas.

Para que o abandono de uma edificação ocorra da melhor forma possível, devem ser satisfeitas as seguintes condições (VALENTIN, 2008):

- as pessoas devem ser avisadas sobre a emergência e a necessidade de abandonar a edificação;
- deve existir sinalização que oriente as pessoas, principalmente quando estas não estiverem familiarizadas com o local;
- os caminhos a serem percorridos devem estar perfeitamente visíveis (iluminados e desobstruídos) e dimensionados de forma a evitar congestionamentos;
- as pessoas devem estar protegidas do calor e dos gases tóxicos decorrentes do incêndio (medidas de proteção como compartimentação, barreiras contra fumaça, limitação na distância de caminamento).

Segundo Seito et al. (2008), a proporção de incêndios pode estar associada a medidas de segurança insuficientes ou por falta de manutenção. É possível observar que, muitas vezes, o sistema existe, mas não funciona porque depende de variáveis de seus componentes em série, ou por falhas nos projetos.

A segurança de uma edificação não é somente da responsabilidade do Corpo de Bombeiros. Ela começa na concepção de uma edificação. Durante a fase de projeto, devem ser previstas as medidas de proteção passivas para que os incêndios sejam evitados. Porém, se ocorrerem, as consequências devem ser mínimas. As medidas de segurança contra incêndio introduzem um custo adicional à edificação, tanto em sua construção quanto durante seu uso. Contudo, incorporando essas medidas já na concepção do projeto, é possível torná-las mais efetivas a um menor custo (ONO, 2007).

Com o intuito de estimar o tempo de abandono das edificações e estudar o comportamento do fogo, alguns países têm usado softwares para fazer simulações e evitar gastos. Muitos programas de simulação de evacuação podem não representar adequadamente uma realidade, pois devem levar em consideração as diferenças culturais e sociais do local, o aumento do risco de ignição com a introdução de mais automação (aparelhos), produtos tóxicos, acúmulo de lixo e de material de decoração etc. (SEITO et al., 2008).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na NBR 9077 (2001), caracteriza saída de emergência como o caminho protegido por portas, corredores, halls, escadas, rampas ou outros dispositivos de saída, que deverá ser percorrido pelo usuário em caso de uma emergência, em qualquer local da edificação, até que se atinja a via pública ou espaço aberto protegido, em comunicação com o logradouro.

Os meios de circulação são projetados para que haja o escoamento das pessoas em situações normais e de emergência. Devem proporcionar conforto (largura mínima, degraus uniformes, desobstruções) e segurança (corrimãos, iluminação adequada, sinalização de emergência) aos seus usuários.

De acordo com a IT 08 (CBMMG, 2017), podem ser consideradas saídas de emergência: acesso, rotas de saídas horizontais (quando houver) e respectivas portas ou ao espaço livre exterior nas edificações térreas, escadas ou rampas, descarga, elevadores de emergência. Deve-se estimar o número de pessoas que normalmente vão ocupar o local para se fazer o dimensionamento da rota de fuga no projeto e garantir a saída segura e rápida dos ocupantes em situações emergenciais até um local seguro.

Um projeto adequado deve permitir que todos abandonem as áreas de risco num período mínimo. Quanto maior o risco, mais fácil deve ser o acesso até uma saída, pois, dependendo do tipo de construção, das características dos ocupantes e dos sistemas de proteção, o fogo e/ou a fumaça podem impedir rapidamente sua utilização (ONO, 2007).

A Instrução Técnica 08 estabelece que os acessos devem satisfazer às seguintes condições:

- permitir o escoamento fácil de todos os ocupantes da edificação;
- permanecer desobstruídos em todos os pavimentos;
- ter as larguras mínimas estabelecidas;
- ter pé direito mínimo de 2,50 m, com exceção de obstáculos representados por vigas, vergas de portas, e outros, cuja altura mínima livre deve ser de 2,0 m;
- ser sinalizados e iluminados com indicação claro do sentido da saída;
- permanecer livres de quaisquer obstáculos, como móveis, divisórias, expositores, etc.

As características normais de um ambiente com incêndio podem ser significativamente alteradas. Relatam Seito et al. (2008) que a fumaça desenvolvida no incêndio afeta a segurança das pessoas das seguintes maneiras:

- a) tira a visibilidade das rotas de fuga;
- b) provoca lacrimejamento, tosse e sufocação;
- c) aumenta a palpitação devido à presença de gás carbônico;
- d) provoca o pânico por ocupar grande volume do ambiente;
- e) debilita a movimentação das pessoas pelo efeito tóxico de seus componentes;
- f) tem grande mobilidade, podendo atingir ambientes distantes em poucos minutos.

Apesar de as normas e regulamentações estabelecerem alguns critérios para o dimensionamento das rotas de fuga, não consideram as adversidades do comportamento humano durante uma evacuação em casos de incêndio. O tempo é um fator crucial, pois com o recebimento tardio da informação sobre o incêndio, conseqüentemente o fogo e a fumaça estarão mais severos, diminuindo o tempo de busca por uma resposta (ONO, 2007).

3.3 Segurança contra Incêndios em Escolas

Incêndios em escolas não são raros, principalmente considerando o estado da maioria das escolas públicas do país. São construções sem itens básicos de segurança como extintores com carga dentro da validade, iluminação de emergência, sinalização e saídas de emergência adequadas.

Mendes (2014) cita as adequações básicas que uma escola deve ter:

- a) saídas de emergência: instalar corrimãos, guarda-corpos, fitas antiderrapantes nos degraus das escadas e barras antipânico nas portas de saída;
- b) brigada de incêndio: formar, implantar e treinar brigadas escolares de emergência com objetivo de orientar os ocupantes das edificações para a correta desocupação em caso de emergência e ainda para iniciar o combate inicial aos princípios de incêndio;
- c) iluminação de emergência: instalar blocos autônomos de iluminação de emergência em todas as rotas de fuga com distanciamento não superior a 15 metros, garantindo um nível mínimo de iluminação nos locais planos e em locais com desníveis (escadas e rampas);
- d) sinalização de emergência: instalar placas fotoluminescentes de sinalização de emergência com o objetivo de orientar as ações de combate e facilitar a localização dos equipamentos e das rotas de saída para abandono seguro da edificação;
- e) extintores de incêndio: instalar extintores de incêndio em número e capacidade adequados em pontos estratégicos, possibilitando o combate inicial aos princípios de incêndio pelos integrantes da brigada.

Figura 3-1: Incêndio na Escola Maria de Nazaré Lima (Cruzeiro do Sul- Acre)



Fonte: www.google.com.br

Figura 3-2: Incêndio em escola pública de Atibaia, em 2019



Fonte: www.google.com.br

3.4 Softwares: Tecnologia para SCI

Grandes aliados da SCI são os modelos físico-matemáticos implementados em softwares, devido à possibilidade de criação de projetos e até mesmo de simulações capazes de demonstrar o comportamento do fogo em caso de incêndio. Nesses softwares são consideradas as características das edificações, como materiais utilizados na execução da estrutura, acabamentos, dimensões de aberturas e vãos e dispositivos de segurança. Assim, obtêm-se grandezas como estimativa do tempo para escape, a curva da temperatura do fogo e a trajetória de propagação do fogo, em valores próximos dos reais.

Essas simulações são utilizadas em estudos de cenários de incêndios na fase de projeto de uma edificação, para que os efeitos de um possível incêndio sejam evitados. Podem-se especificar materiais mais resistentes e com melhor desempenho, criar *layouts* mais dinâmicos e eficientes, buscando soluções viáveis e com custo-benefício incorporado para excluir eventuais falhas.

O *Fire Dynamics Simulator* (FDS) é um software de fluidodinâmica computacional (*Computational Fluid Dynamics* (CFD)) e resolve numericamente as equações de Navier-Stokes, adequada para fluxo de baixa velocidade movido termicamente, com ênfase no transporte de fumaça e calor provocados pelo incêndio. É o software de simulação mais utilizado em pesquisas acadêmicas e técnicas. A versão mais recente é a 6.5.3, e está disponível para os sistemas operacionais Windows, Linux e Mac OS X. Seu pacote de instalação inclui o programa *Smokeview* (SMV), também desenvolvido pelo NIST, criado para reproduzir animações da propagação de fogo, concentrações de gás e de crescimento, movimento da fumaça em toda a estrutura. Ambos os softwares são disponibilizados gratuitamente no site do desenvolvedor.

O FDS representa o comportamento de incêndios reais por meio de distribuição espacial de temperaturas, movimentação de fumaça e concentração de oxigênio no ambiente simulado, reproduzindo modelos de abandono, simulando a desocupação de uma edificação com base no *layout* arquitetônico e nas características físicas, biológicas e emocionais dos usuários. Essas simulações permitem mudanças arquitetônicas que otimizam as saídas de emergência projetadas antes da construção do edifício. É um método eficaz, que, aliado à educação de cada um, garante maior segurança (TABACZENSKI et al.,2017).

A segurança contra incêndio deve ser considerada um dos principais objetivos dos projetos arquitetônicos. Muitos profissionais não consideram a especificação de materiais sob

essa perspectiva, tendo em conta o uso da edificação e elaboração de layouts funcionais de acordo com cenários de incêndios simulados, e isso pode comprometer a estabilidade da edificação e as vidas dos usuários em caso de um acidente.

De acordo com Ono (2007), crianças e jovens são usuários pertencentes a um grupo de alto risco com relação a incêndio, devido às suas habilidades limitadas para compreender os perigos intrínsecos ao fogo e, também, por serem dependentes física e psicologicamente de outras pessoas, o que os torna mais vulneráveis em situações de emergência. Os maiores de 65 anos e as crianças com idade inferior a 5 são vítimas mais frequentes dos incêndios, respectivamente 40% e 20%. Os cuidados de segurança com estes grupos devem ser redobrados.

A segurança nas edificações é um campo de estudo da engenharia que tem por objetivo limitar, a níveis aceitáveis, a probabilidade de morte, ferimento e perdas materiais em um incêndio. Deve ser considerada, principalmente, na fase de projeto (concepção e elaboração), quando os problemas podem ser resolvidos (ROSEMANN, 2011, p. 7).

A SCI em edificações visa principalmente preservar a vida das pessoas. De acordo com as estatísticas internacionais, a cada dez minutos uma pessoa morre em decorrência de exposição à fumaça tóxica de incêndio. Assim, a segurança da vida depende exclusivamente da boa concepção do projeto, que permite a rápida desocupação dos ambientes atingidos pelas chamas. (SILVA et al., 2010).

Entende-se a SCI como um conjunto de medidas para prevenção, detecção e combate de incêndio e sua conseqüente contensão ou extinção. O primeiro passo na gestão da SCI nas edificações é o detalhamento de todos os riscos da edificação, o que inclui sua ocupação, estrutura, vedações, materiais de revestimento e acabamento, instalações, carga de incêndio, etc.

Claret-Gouveia (2017) cita algumas medidas de segurança que podem estar envolvidas no desenvolvimento do incêndio:

- Caracterização do usuário da edificação quanto à idade, estado de atenção, estado de saúde, estudo do usuário em pânico, determinação da velocidade de escape, para a elaboração de um programa de estratégias de escape.
- Revisão qualitativa do projeto arquitetônico para identificar características do projeto que possam levar a estrutura da edificação a desempenho inadequado em incêndios.
- Estudo da carga de incêndio para determinar a sua densidade, a melhor distribuição espacial e suas características como combustível, inflamável e tóxico.

- Modelagem do início do incêndio, visando identificar seus principais cenários e como controlar as fontes de ignição.

De acordo com Ono (2007), a segurança de uma edificação não pode ser definida em apenas um único sistema, mas também com um conjunto de subsistemas. Caso um seja removido, o pacote inteiro irá colapsar e os ocupantes da edificação irão enfrentar riscos inaceitáveis durante o incêndio.

Classificam-se como subsistemas:

- o treinamento para ocupantes
- os meios de abandonar a edificação
- o potencial de ignição do incêndio
- a carga de incêndio
- os sistemas de combate a incêndio
- o detector de fogo, alarme e sistemas de comunicação
- a compartimentação e resistência estrutural contra o fogo
- os sistemas para controle de fumaça
- o trabalho dos bombeiros

Segundo Ono (2007), as medidas de SCI podem ser de prevenção e de proteção. As de prevenção são aquelas que se destinam a evitar o início do incêndio; já as de proteção são destinadas a resguardar do incêndio a integridade da vida e dos bens materiais. As medidas de SCI são ainda passivas quando englobam a proteção das estruturas de uma edificação, pré-concebida em projeto, a avaliação dos materiais utilizados, o planejamento das rotas de escape, entre outros. Já as medidas ativas são as que identificam um incêndio e os dispositivos de alarme e de extinção do fogo.

Silva et al. (2010) citam como medidas passivas o controle de materiais combustíveis, o distanciamento necessário entre as edificações, a resistência ao fogo, o planejamento de rotas de escape eficientes, a disponibilização de dispositivos que auxiliam na extinção do fogo, a manutenção periódica desses dispositivos, a sinalização, o controle das possíveis fontes de incêndios, as compartimentações adequadas, o treinamento dos ocupantes da edificação e das equipes de resgate.

Segundo Rosemann (2011) as medidas passivas tomadas ainda na fase de projeto: o uso de revestimentos que resistam ao fogo, a sinalização correta dos corredores e saídas, o posicionamento das escadas e das portas corta-fogo, dos *sprinklers* e dos extintores, dos alarmes em locais recomendados pelas normas de segurança. Medidas ativas, segundo o autor,

correspondem ao controle do fogo por alguma ação de uma pessoa ou por dispositivo automático.

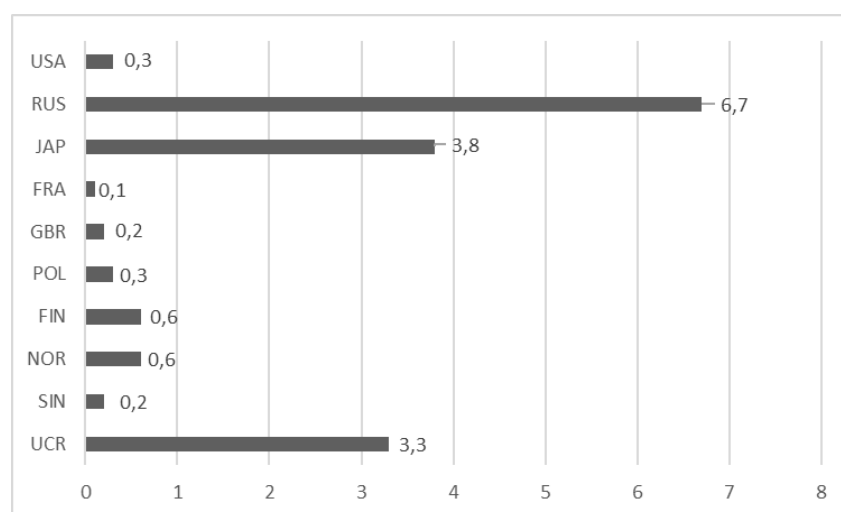
Uma manutenção correta dos equipamentos, dos extintores principalmente, é essencial para que a segurança contra incêndios seja efetuada, ou seja, para que os civis saibam como controlar o fogo e auxiliar na evacuação correta das pessoas. O sistema de proteção ativa é essencialmente constituído de instalações prediais para detecção e alarme do incêndio.

Medidas mitigadoras podem ser tomadas ainda em projeto: controle da natureza e da quantidade de materiais constituintes e contidos no edifício; dimensionamento da compartimentação interna, da proteção e da resistência ao fogo da estrutura do edifício, de equipamentos que possam compor o sistema de detecção e combate (como alarmes de incêndio e sistema de chuveiros automáticos), das rotas de escape e dos dispositivos para controle do movimento da fumaça, das fontes de ignição e dos riscos de incêndio; acesso para os equipamentos de combate a incêndio; distanciamento entre edifícios; resistência dos elementos que constituem a compartimentação ao fogo; treinamento de pessoal para combater um princípio de incêndio; e coordenar o abandono seguro da população de um edifício; controle de danos ao meio ambiente decorrente de um incêndio.

O tempo necessário para escape, conforme Gouveia e Etrusco (2002), decorre com certo atraso em relação à ignição e leva em conta o tempo de reação ao alarme de incêndio.

Todas essas medidas visam atender aos objetivos da SCI, garantindo a segurança da vida dos ocupantes de um edifício em caso de incêndio, a prevenção da conflagração e propagação do incêndio para o entorno da edificação, a proteção do conteúdo e da estrutura do edifício, minimizando os danos materiais.

Figura 3-3: Média de mortos em vários países em 2014 (M/100i)



Fonte: Gráfico da autora com base em Claret-Gouveia, 2017.

Segundo Pereira et al. (2006), no Brasil existem normas técnicas, instruções técnicas e legislações relacionadas à segurança contra incêndios em grande parte originárias da *National Fire Protection Association* (NFPA) dos Estados Unidos (organismo de estudos e normatização de assuntos relacionados a incêndios).

No projeto da edificação, podem-se reduzir as chances de um início de ignição, todavia não é possível zerá-la. Segundo Claret-Gouveia (2017), há edificações em que a probabilidade de um início de ignição é muito alta, devido à má qualidade das instalações elétricas, das instalações de gás e de ar condicionado e à falta de manutenção delas, mas isso significa “risco elevado de início de ignição” e não necessariamente risco elevado de incêndio e muito menos é certeza de um início de ignição. Alguns incêndios ocorrem a partir de problemas nas instalações das edificações e/ou de materiais de construção inflamáveis em locais de grande aglomeração. Percebe-se a importância de projetos específicos e conceituais abrangendo a segurança contra incêndios (SCI), bem como a aplicação e a utilização de normas técnicas e legislação (Tabela 3.1).

Tabela 3-1:Maiores Incêndios ocorridos no Brasil

MAIORES INCÊNDIOS NO BRASIL					
ACIDENTE	DATA	LOCAL	CAUSA	VITIMAS FATAIS	VITIMAS FERIDAS
Gran Circo Norte Americano	Dezembro /1961	Niterói/ RJ	Crimonoso	503	800
Lojas Rener	Abril/1967	Porto Alegre	descarte irregular deposito	41	60
Edifício Andraus	Fevereiro/1972	São Paulo/SP	Curto-Circuito	16	330
Edifício Joelma	Fevereiro/1974	São Paulo/SP	Aparelho de Ar Condicionado	191	300
Edifício grande Avenida	Janeiro / 1981	São Paulo/SP	Curto-Circuito	17	53
Favela Vila Socó	Fevereiro/1984	Cubatão / SP	Falta de Manutenção na tub.Petrobras	508	3000 desabrigados
Edifício Andorinhas	Fevereiro/1986	Rio de Janeiro / RJ	Aquecimento de tomada	21	50
Creche Casinha da Emília	Junho/2000	Uruguaiana/RS	Curto no aquecedor	12	
Canecão Mineiro	Novembro/2001	Belo Horizonte/MG	Uso inadequado de sinalizador externo	7	190
Boate Kiss	Janeiro / 2013	Santa Maria / RS	Uso inadequado de sinalizador externo	242	680
Ultracargo de Santos	Abril/2015	Santos/SP	Erro tubulação de sucção	9 ton de peixes	
Creche Gente Inocente	Outubro /2017	Janaúba/MG	Vigia da Creche- Massacre	12	
Museu Nacional	Setembro/2018	Rio de Janeiro / RJ	Curto-Circuito e ar condicionado	Acervo histórico e científico	
Alojamento do Flamengo	Fevereiro/2019	Rio de Janeiro / RJ	Curto-Circuito ar condicionado	10	3
Edifício Wilton P. de Almeida	Maio /2018	São Paulo/SP	Curto-circuito tomada	7	2 desaparecidos

Fonte: A autora, 2021.

A primeira legislação nacional de proteção contra incêndios brasileira foi a NR 23, que estabeleceu os requisitos básicos referentes à proteção básica contra incêndios em edificações: saídas de emergência, equipamentos necessários fixos ou móveis, e treinamento adequado aos

ocupantes. Cada Estado brasileiro possui uma legislação específica, portanto, para a elaboração do Projeto de Prevenção Contra Incêndio (PPCI), o profissional deve consultá-la. Vale ressaltar também as normas brasileiras: NBR 15219 - Plano de Emergência, NBR 14276 - Brigadas de Incêndio e Emergência, assim como textos de referência para o melhor dimensionamento de recursos e preparação para resposta a incêndios.

A Comissão Tripartite de Negociação do Setor Elétrico do Estado de São Paulo (CPNSP, 2021, p.240) aponta alguns cuidados necessários para que a prevenção contra incêndios seja efetiva:

- Respeitar as proibições de fumar no ambiente de trabalho (Lei Estadual n. 11.54).
- Não acender fósforos, nem isqueiros ou ligar aparelhos celulares em locais sinalizados.
- Colocar os materiais de limpeza em recipientes próprios e identificados.
- Manter desobstruídas as áreas de escape e não deixar, mesmo que provisoriamente, materiais nas escadas e corredores.
- Não deixar os equipamentos elétricos ligados após sua utilização.
- Não improvisar instalações elétricas, nem efetuar consertos em tomadas e interruptores, sem que esteja familiarizado.
- Não sobrecarregar as instalações elétricas com a utilização do PLUG T, pois há risco de curto-circuito.
- Verificar antes de sair se há algum equipamento elétrico ligado.
- Observar as normas de segurança ao manipular produtos inflamáveis ou explosivos.
- Manter os materiais inflamáveis em local resguardado e à prova de fogo.
- Não cobrir fios elétricos com o tapete.
- Ao utilizar materiais inflamáveis, faça-o em quantidades mínimas, armazenando-os sempre na posição vertical e na embalagem.
- Não utilizar chama ou aparelho de solda perto de materiais inflamáveis.

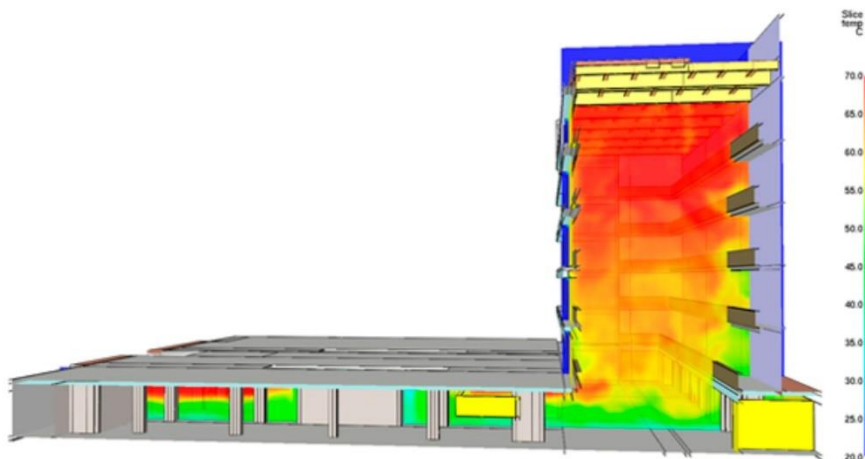
4 METODOLOGIA

4.1 Utilização dos Softwares FDS, PyroSim e SMV

Por meio de softwares, são feitas modelagens com as características das edificações, (materiais utilizados para execução e acabamento, dimensões de aberturas e vãos, dispositivos de segurança, etc.). Dessas modelagens resultam a estimativa do tempo para escape, a curva da temperatura do fogo, a trajetória de propagação do fogo, etc. Assim, são estudados cenários de incêndios que são utilizados na fase de projeto de uma edificação qualquer, para que os efeitos de um possível incêndio sejam evitados ou, pelo menos, minorados.

Para essas simulações de incêndio utiliza-se o *Fire Dynamics Simulator* (FDS), um programa desenvolvido pelo *National Institute of Standard and Technology* (NIST), que possibilita o estudo da segurança contra incêndio (SCI), considerado um método eficaz de modelagem. Em conjunto com o FDS, utiliza-se o *Smokeview*, desenvolvido pelo NIST, que é uma ferramenta para visualização das simulações, garantindo um ótimo resultado ao usuário (Figura 4.1).

Figura 4-1: Simulação feita utilizando software (FDS)



Fonte: google.com/imagens

No Brasil, há poucas pesquisas envolvendo modelos de evacuação apesar da importância do tema. A utilização de programas computacionais para simulação de escape é de grande

importância para se identificarem soluções aceitáveis de segurança contra incêndio em situações diversas.

Geralmente estudos na área de segurança contra incêndio são voltados para a análise comportamental da estrutura da edificação diante de incêndio, com submissão do sistema construtivo a altas temperaturas isoladamente. Porém, tais análises não são capazes de representar o desenvolvimento de incêndio, pois esse fenômeno possui inúmeras variáveis, responsáveis por tornar cada evento único devido a suas características.

Arquitetos já desenvolvem projetos com uma visão tridimensional, utilizando softwares como o AutoCAD, que possibilita uma visão bidimensional (2D) nas plantas, nos cortes e nas fachadas. A visualização em 3D facilita a compreensão dos projetos na execução e na correção de possíveis erros que em 2D não são facilmente detectados. A simulação computacional pode relacionar vários programas de evacuação de pessoas e movimentação de fumaça por acontecerem simultaneamente no edifício. Além disso, há liberação de fumaça e gases tóxicos, que se tornam determinantes para a sobrevivência humana, as maiores causas imediatas de mortes (SEITO et al., 2008).

O estudo do comportamento de incêndios reais é uma vertente da SCI extremamente útil e eficaz, pois permite numerosas investigações da influência de cada variável. Os modelos computacionais de evacuação são ferramentas de uso crescente. Valentin (2008) coloca-os nas categorias de movimento (simula o deslocamento do ocupante de um ponto no interior da edificação para uma saída ou área segura), de comportamento parcial (movimentos pouco complexos como o de ultrapassagem), e comportamental.

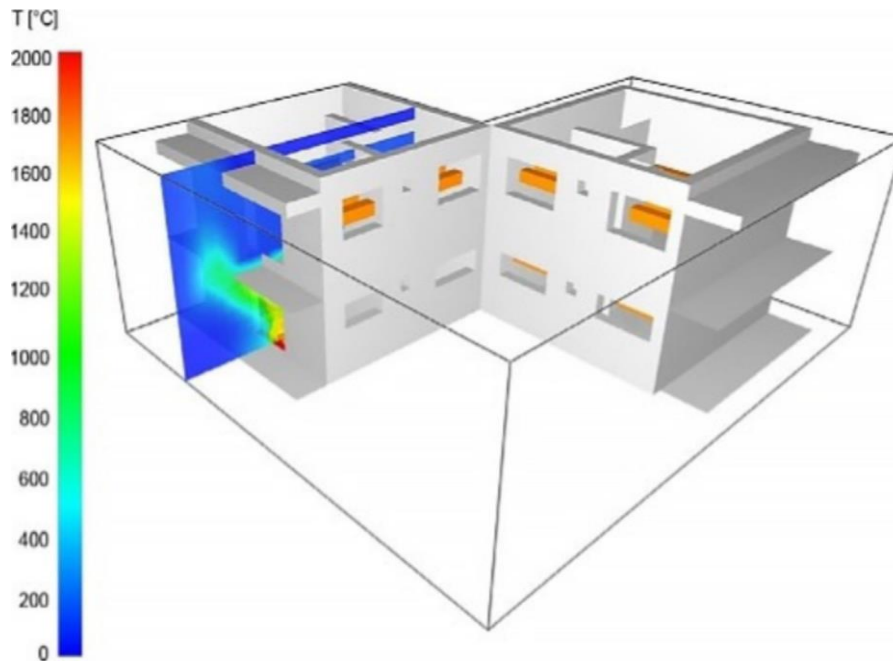
Os modelos comportamentais do fogo podem incorporar a tomada de decisão ou ações devidas às condições ambientais. Entretanto, os riscos e o alto custo dos equipamentos e das instalações para a realização de experimentos tornam esse tipo de pesquisa escassa no mundo e praticamente inexistente no Brasil.

Os softwares são um conjunto de instruções programáveis que realizam uma tarefa desejada. Podem ser aliados à SCI porque permitem a criação de projetos e até mesmo simulações do comportamento do fogo em caso de incêndio. São gerados dados probabilísticos que devem ser considerados na fase de projeto de uma edificação qualquer para evitar incêndio, como *layouts* mais dinâmicos e baixo custo-benefício para excluir eventuais falhas.

O *Smokeview* é um software responsável por gerar a interface gráfica da simulação feita no FDS, também desenvolvido pelo NIST. É uma ferramenta para visualização das simulações, utilizado em conjunto com o FDS. O *PyroSim* é um software desenvolvido pela *Thunderhead*

Engeneering, capaz de gerar simulações de incêndio, garantindo um ótimo resultado ao usuário (Figura 4.2).

Figura 4-2: Simulação FDS/SMV



Fonte: google.com/imagens

O FDS tem como base para as simulações uma sequência de ações previamente especificadas como parâmetros (tempo de execução, cores, materiais, dispositivos instalados, reações), sendo necessário então a criação de um arquivo de entrada, que pode ser uma nota, por exemplo, para fins de parametragem.

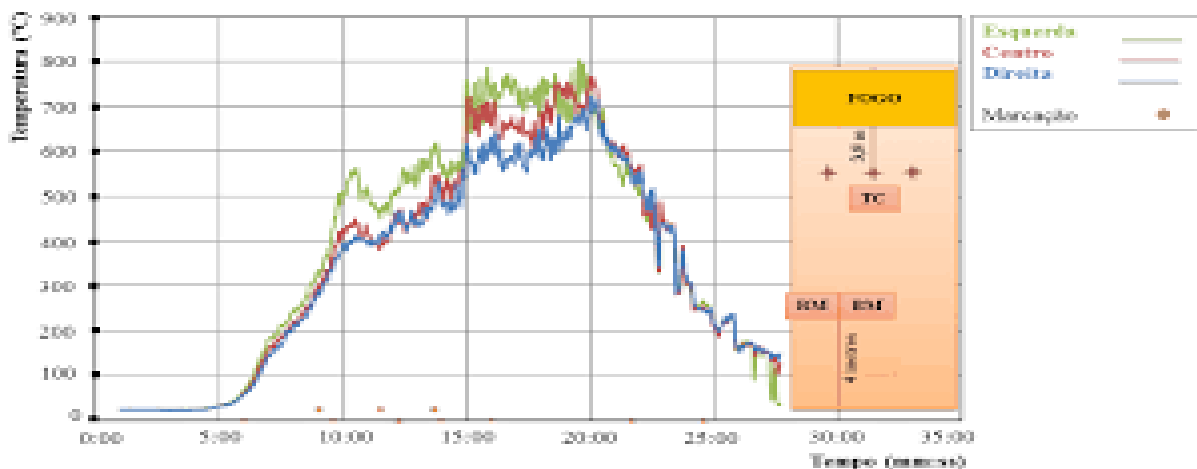
Como o software não dispõe de interface gráfica, os dados de entrada são inseridos pelo usuário através de linhas de comando em um único arquivo de entrada, por meio de um editor de texto que deve conter todas as informações do modelo, como: título da simulação, dimensões do domínio computacional, divisões da malha, tempo de simulação, condições iniciais do ambiente, propriedades dos materiais combustíveis e incombustíveis, condições de combustão, *outputs* desejados, etc. O programa entende como comando os caracteres escritos entre os símbolos “&” e “/”. Os dados necessários para a análise são especificados no arquivo de entrada usando uma lista de comandos com formatos pré-definidos em sua programação (*namelist*) (TABACZENSKI et al., 2017).

A partir desse arquivo de entrada, o programa faz as simulações, e, em conjunto com o software SMV, a interface gráfica é criada, permitindo então a visualização da simulação. O

FDS por si só não possui ferramenta para visualização. São criados também arquivos de saída pelo software de diferentes tipos, que apresentam cálculos feitos pela aplicação no decorrer da simulação.

Ao final, podem-se obter gráficos de HRRPUA (Heat Release Rate Per Unit Area), ou taxa de liberação de calor por unidade de área (Figura 4.3). Podem-se visualizar a fumaça e o fogo gerado dentro da edificação, o comportamento deles e dos dispositivos, como os *sprinklers*, e a concentração de oxigênio.

Figura 4-3: Gráfico Heat Release Rate Per Unit Area (HRRPUA)



Fonte: <https://bit.ly/2ZBEoz9>. Acesso em 20 set.2020

O SMV (*visão de fumaça* em português) é a ferramenta que, aliada ao FDS, permite a visualização das simulações de incêndio. Por meio de cálculos, o FDS gera os dados da simulação, de acordo com o arquivo de entrada. O SMV mostra os resultados obtidos pelo FDS, por isso é essencial para as simulações prognósticas.

O SMV também permite a visualização de resultados obtidos em um outro programa - o CFAST (*Consolidated Model of Fire and Smoke Transport*), também desenvolvido pelo NIST. Ele é utilizado nesses softwares porque é capaz de apresentar animações em 3D, coloridas, fornecendo dados como concentração de gás, fumaça e temperatura em vários pontos durante a simulação.

O *PyroSim* foi desenvolvido pela empresa *Thunderhead Engineering* para auxiliar na simulação de incêndio utilizando diversos elementos, podendo criar e gerenciar situações de incêndio de várias formas e formatos. Este software é uma interface gráfica para o usuário dos softwares FDS e do *Smokeview*, que são gratuitos. Além disso, o *Pyrosim* permite a importação

e exportação de arquivos de outro software muito utilizado, que é o AutoCAD, nos formatos DXF e CMD (BORGES, 2018).

4.2 Instalação dos Softwares FDS e Smokeview

Depois de serem realizadas pesquisas e análises nos programas FDS e SMV, foi então elaborado o seguinte passo- a- passo para sua instalação:

Figura 4-4: Passo 1 de Instalação FDS e SMV



FDS-SMV
Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV)

Installation Instructions | FDS Release Notes | Smokeview Release Notes

Download FDS-SMV Bundles
Current release version: FDS 6.7.4, SMV 6.7.14

- FDS-SMV for Windows (64-bit)
- FDS-SMV for Mac OS X (64-bit)
- FDS-SMV for Linux (64-bit)

SHA1 hashes: Windows, OS X, Linux

Download Smokeview Only
Current release version: SMV 6.7.14

- Smokeview for Windows (64-bit)
- Smokeview for Mac OS X (64-bit)

Instalação do FDS e SMV

1. Baixar o software no site <https://pages.nist.gov/fds-smv/downloads.html> (em Download FDS-SMV bundles) de acordo com o sistema operacional de seu dispositivo (Windows, Mac, Linux).

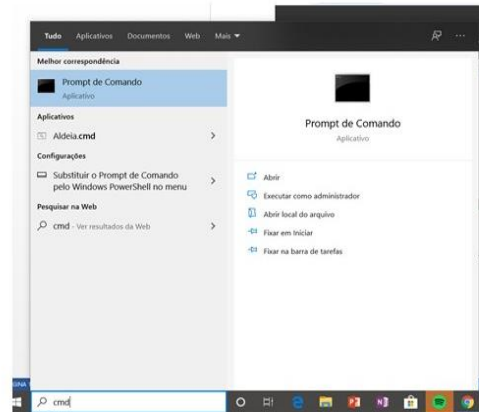
Fonte: O autor

Fonte: A autora, 2021

Figura 4-5: Passos 2 e 3 de Instalação do FDS e SMV (Windows)

Instalação do FDS e SMV (Windows)

2. Abrir e descompactar arquivo do download de acordo com as instruções de sua máquina. Reiniciar o computador em seguida.
3. Verificar existência da pasta "FDS6". Para isso, pesquisar no computador por "cmd" e abrir o prompt de comando.



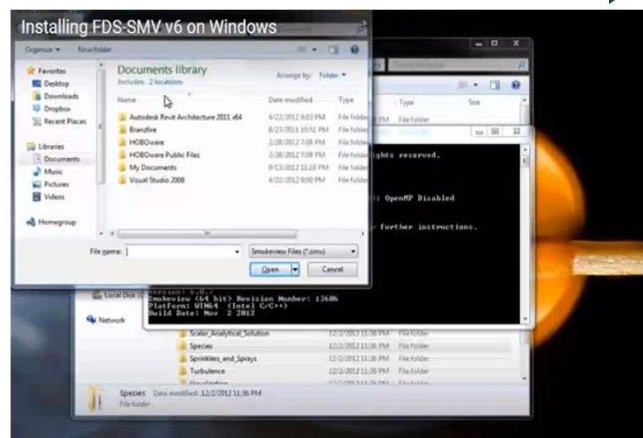
Fonte: O autor

Fonte: A autora, 2021

Figura 4-6: Passos 4 e 5 de Instalação do FDS e SMV (Windows)

Instalação do FDS e SMV (Windows)

4. Digitar no prompt FDS e dar enter.
5. Digitar smokeview e dar enter.



Fonte: YouTube, 2012

Fonte: A autora, 2021

Figura 4-7: Passos 6 e 7 de Instalação do FDS e SMV (Windows)

Instalação do FDS e SMV (Windows)

6. Verificada a existência, fechar janela que abrirá.
7. Localizar “activate vents” em: FDS > FDS6 > Examples > Controls e copiar (Ctrl C).



Fonte: YouTube, 2012

Fonte: A autora, 2021

Figura 4-8: Passos 8 e 9 de Instalação do FDS e SMV (Windows)

Instalação do FDS e SMV (Windows)

8. Criar uma pasta na área de trabalho com o nome “activate_vents”.
9. Copiar o arquivo encontrado anteriormente (passo 7) para a nova pasta.



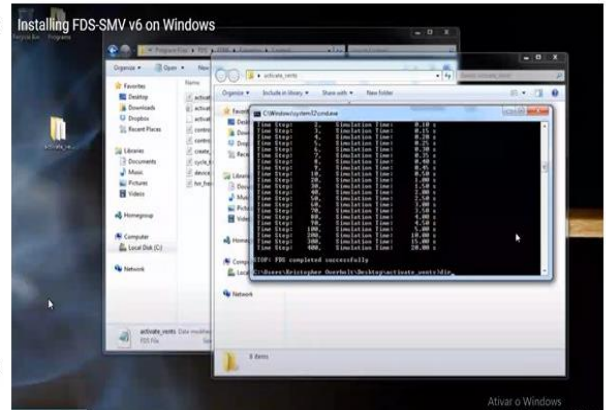
Fonte: Google imagens

Fonte: A autora, 2021

Figura 4-9: Passos 10 a 15 de Instalação do FDS e SMV (Windows)

Instalação do FDS e SMV (Windows)

10. Voltar para o prompt de comando e digitar "cd Desktop" e dar enter.
11. Escrever "dir" e dar enter.
12. Digitar "cd activate_vents" e dar enter.
13. Digitar "dir" e dar enter.
14. Digitar "fds activate_vents.fds".
15. Se tudo der certo, irá carregar o programa conforme a imagem ao lado.



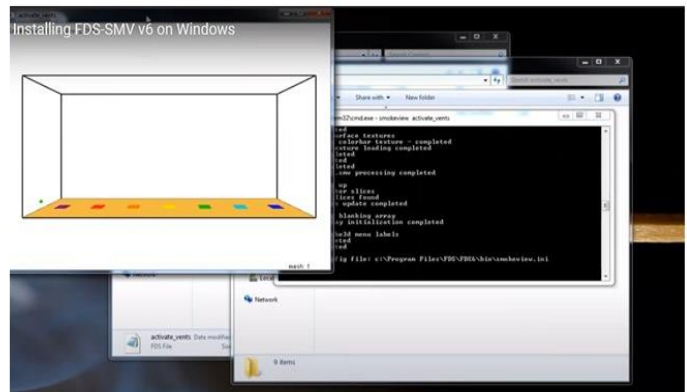
Fonte: YouTube, 2012

Fonte: A autora, 2021

Figura 4-10: Passos 16 a 18 de Instalação do FDS e SMV (Windows)

Instalação do FDS e SMV (Windows)

16. Digitar no prompt "dir" e dar enter.
17. Digitar "smokeview activate_vents" e dar enter.
18. O computador vai processar e abrir a seguinte janela:



Fonte: YouTube, 2012

Fonte: A autora, 2021

Figura 4-11: Checkout de Instalação



Fonte: A autora, 2021

Alguns comandos essenciais do software FDS:

- 1- Abrir *prompt* de comando e digitar “*cd Desktop*”.
- 2- Digitar “*cd activate_vents*” e dar *enter*.
- 3- Digitar “*fds activate_vents.fds*” e dar *enter*.
- 4- Abrirá a janela do SMV (*smokeview*).

Para o funcionamento do FDS, o arquivo de entrada necessário para a criação da simulação deve conter alguns parâmetros necessários. Alguns deles são:

```
&HEAD CHID='room', TITLE='room fire model' /
```

O comando HEAD CHID refere-se aos nomes que serão destinados aos arquivos de saída (arquivos criados a partir do *Input File* =arquivo com os dados da simulação). Esse não pode ter pontos nem espaços. Deve ser escrito entre aspas simples, como no exemplo anterior.

Para salvar o *Input file* no FDS 5, colocar o nome e acrescentar “. fds” Ex: *simulationX.fds* e salvar em formato “todos os arquivos”. No FDS 6 não é necessário, deve ser salvo em arquivo de texto (txt) e sem acrescentar *fds*.

** Salvar o *Input file* em uma pasta na área de trabalho.

TITLE descreve a simulação de acordo com a preferência.

```
&MESH IJK=50,80,27, XB=0,5,0,8,0,2.7 /
```

Todos os comandos são executados em um domínio composto por volumes retilíneos denominados “Meshes” (“massas”). Cada malha é dividida em células retangulares para determinar uma resolução adequada.

XB é composto de 6 números, como no exemplo. Podem ser analisados em “grupos” de dois números cada, para melhor entendimento. Os dois primeiros números (grupo 1) referem-se a dimensão X (*length*), o 3º e 4º número (grupo 2) a dimensão Y (*width*) e os dois últimos (grupo 3) a dimensão Z (*height*).

O primeiro número de cada grupo indica a origem. Como no exemplo anterior, a origem da malha é 0 e ela possui 4m de comprimento X 4m de largura X 2.4m de altura (Todos os valores são expressos em metros, como é em inglês, as vírgulas são substituídas por pontos nas medidas).

MESH IJK significa o número de divisões nas dimensões X, Y e Z, respectivamente (*grid cells*). Se, por exemplo, nos pré-requisitos de uma simulação está especificado células (*grid cells*) de 10 centímetros cada, devem-se dividir os valores XB (somente o segundo de cada grupo) por 0,1 (em m) e então obtêm-se os valores 40, 40 e 24, colocados posteriormente após MESH IJK.

```
&TIME T_END=900. /
```

Indica o tempo de duração de uma simulação (em segundos). Neste caso a simulação dura até 15 minutos. (900/60=15)

```
&OBST XB=1,3,1,3,0,1, COLOR='MAGENTA' /
```

```
&OBST XB=0,5,0,0.15,0,2.7, COLOR='GRAY' /
```

```
&OBST XB=4.85,5,0,8,0,2.7, COLOR='GREEN' /
```

```
&OBST XB=0,0.15,0,8,0,2.7, COLOR='CYAN' /
```

```
&OBST XB=0.15,4.85,7.85,8,0,2.7, /
```

Cada linha refere-se a uma obstrução colocada nas coordenadas exemplificadas antes. Funciona no mesmo sistema de coordenadas explicado anteriormente no comando XB, com origem e dimensões X, Y e Z respectivamente nos “grupos” de números. Pode representar qualquer coisa, como um móvel, por exemplo.

```
&SURF ID='fire', HRRPUA=125 /
```

Esse comando significa que irá ter uma queima na simulação, com um HRRPUA. Unidades em KW/m².

```
&MATL ID = 'CONCRETE'  
COLOR = 'BLACK'  
DENSITY = 2200.  
CONDUCTIVITY = 1.2  
SPECIFIC_HEAT = 0.88 /
```

Especifica o tipo de material utilizado na edificação: cor, densidade, condutividade e calor específico, respectivamente.

```
&VENT XB=1,3,1,3,1,1, SURF_ID='fire' /
```

Indica que a queima se iniciará nessas coordenadas, em cima da obstrução.

```
&REAC ID='methane', C=1., H=4. /
```

No FDS 6, contrário ao FDS 5, é obrigatório descrever, por meio desse comando, o tipo de reação, nesse caso com gás metano e estar entre aspas. A fórmula (CH₄), assim como qualquer outra fórmula de reação de combustão, deve ser descrita como no exemplo anterior, com uma vírgula separando do nome.

```
&VENT MB='XMIN', SURF_ID='OPEN' /  
&VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN' /  
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='OPEN' /  
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN' /  
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN' /
```

Indica ventilações e tipos de superfícies (abertas ou fechadas).

```
&SLCF PBX=2.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /
```

```
&SLCF PBY=2.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /
```

No *slice file output* (?) =2.0 no eixo X e Y deve apresentar a temperatura para visualização.

```
&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE' /
```

```
&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX' /
```

```
&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX' /
```

Especificação no *Boundary File* para apresentar a temperatura da parede, fluxo de calor e fluxo de calor radiativo, respectivamente para visualização.

```
&HOLE XB=0,0,0,0,0,0 /
```

Indica uma abertura como uma porta e janela; deve vir abaixo do comando HOLE

Nota-se que toda linha de comando começa com “&” e termina com espaço e “/”. Isso é essencial para que não ocorra erros durante a execução do programa. Após o fim de cada comando, dar um espaço e colocar uma barra (/). Saltar uma linha após mudar o nome do comando. Para vários comandos de mesmo nome, não saltar linha.

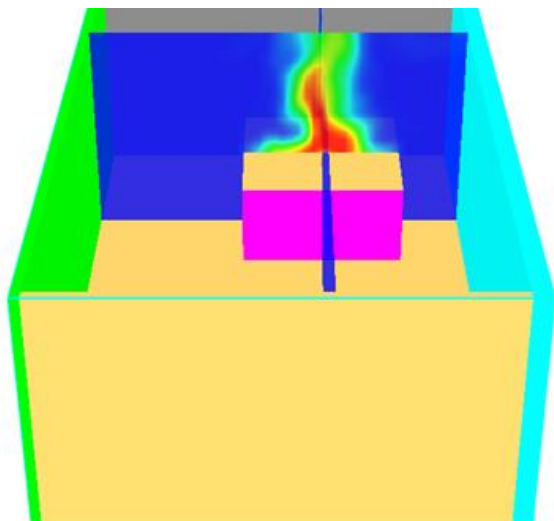
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do desenvolvimento do trabalho, foram feitas 6 simulações de incêndio, para verificar as funcionalidades dos softwares e aprimorar suas habilidades. A partir dos resultados das análises comparativas, pode-se obter outras variáveis também para comparação. Nesses testes foram feitas variações no pé direito, nas áreas de aberturas, mudança nos materiais da edificação a ser representada, inserção ou não de obstáculos, como forma de obter dados satisfatórios para análise.

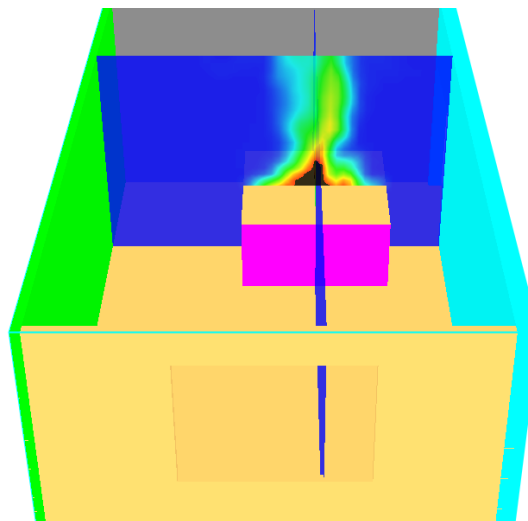
De acordo com a proposta deste trabalho, foram feitas duas simulações de incêndio em um mesmo ambiente de 2x8 m, utilizando o mesmo material, o concreto, variando as aberturas, o pé direito e deixando todos os ambientes com uma obstrução no centro.

Na primeira simulação, utilizou-se um pé direito de 2,7 m e o ambiente sem aberturas; na segunda adotou-se um pé direito de 3 m e o ambiente com duas aberturas (uma porta e uma janela), conforme mostram as figuras 5.1 e 5.2. O tempo utilizado nas simulações foi de 5 segundos.

Figura 5-1: Simulação 1- ambiente sem aberturas Figura 5-2: Simulação 2- Ambiente com 2 aberturas



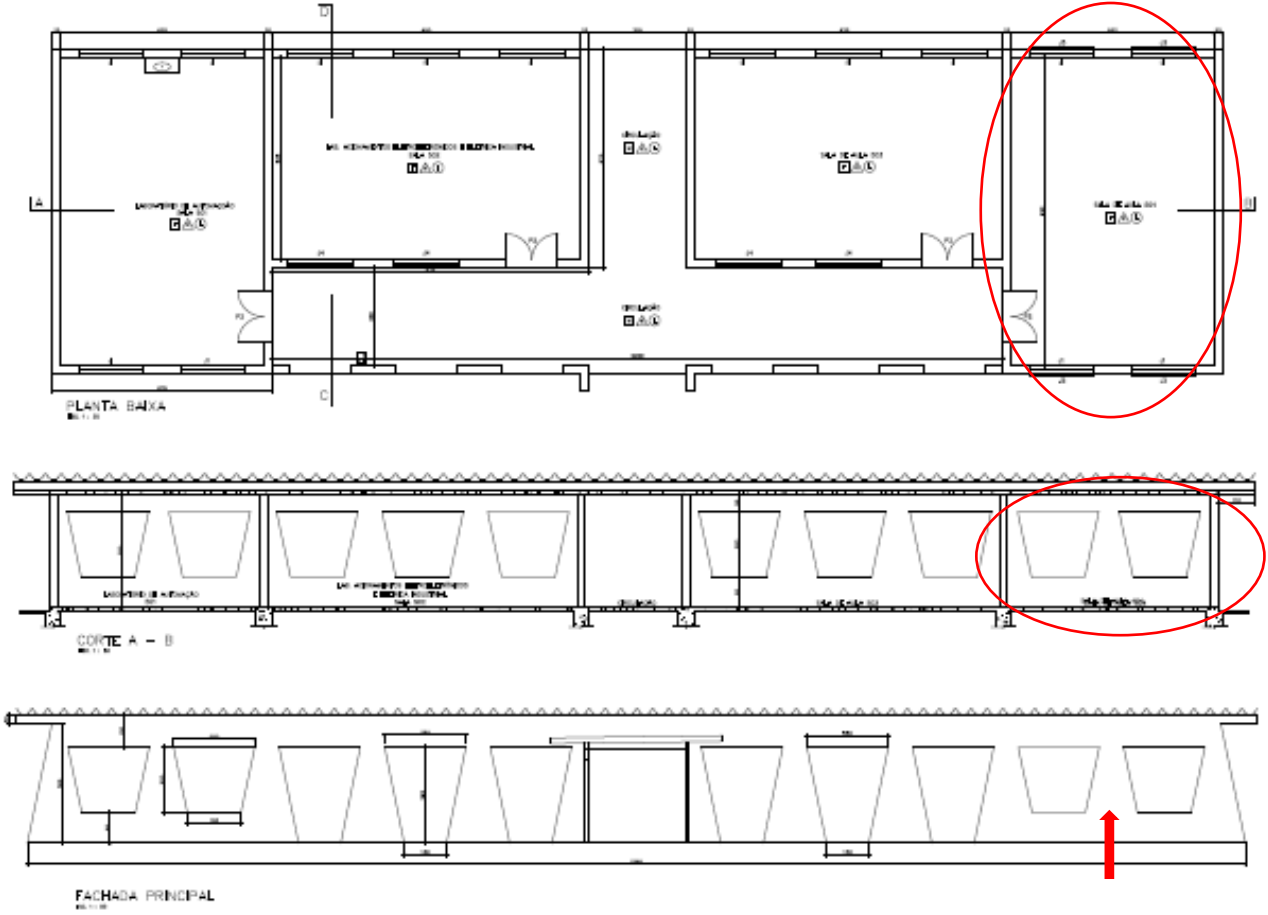
Fonte: A autora, 2021



Fonte: A autora, 2021

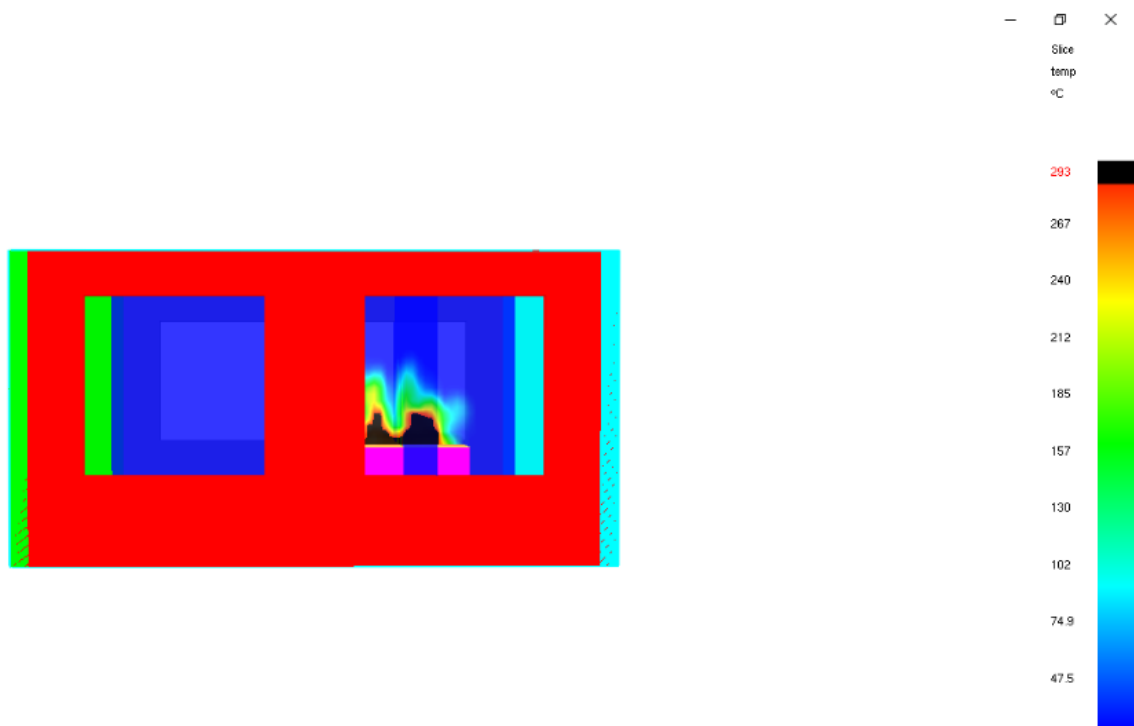
De acordo com as simulações realizadas, constatou-se que a simulação 2 (com as aberturas) atingiu uma temperatura maior, devido ao oxigênio presente em maior quantidade. Na simulação 1, o fogo atingiu temperaturas menores. Assim, percebeu-se que as temperaturas se elevam consideravelmente quando as portas e janelas estão fechadas. Quando essas estão abertas, o fluxo de calor gerado é menor e há maior dissipação da fumaça e do fogo.

Figura 5-3: Planta baixa sala de aula CEFET - S/Escala



Fonte: A autora, 2021

Figura 5-4: Simulação de sala de aula CEFET – Software FDS



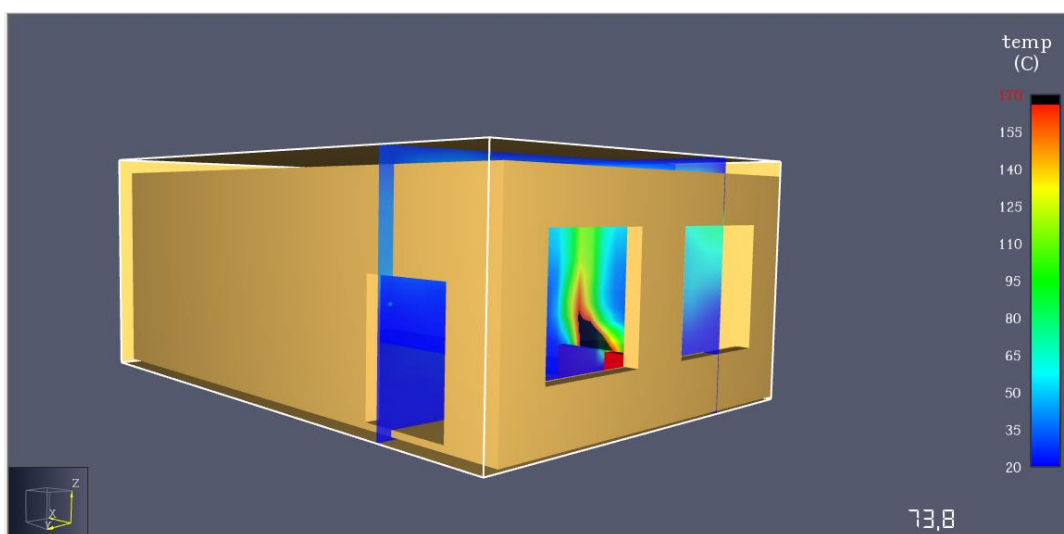
Fonte: A autora, 2021

O modelo 3D na figura 5-4 é referente à simulação realizada por meio do software FDS, a partir de um modelo de sala de aula real do CEFET/MG – Unidade Araxá, com dimensões de 6,25x9,50m, com área total de 59,37 m², paredes com espessura de 25cm, estrutura de concreto armado e a alvenaria de tijolo cerâmico maciço. O ambiente possui 4 janelas de estrutura metálica com fechamento em vidro comum (165 x 250 cm) e 1 porta de duas folhas em madeira e pintura com tinta esmalte (160 x 210 cm). Nesta simulação, foram analisados as variáveis de temperatura, o fluxo de calor, o tempo de simulação, o comportamento da fumaça e a visibilidade .

5.1 Simulação do *PyroSim* em ambiente real: Sala de aula do CEFET-Araxá

Para comparação de softwares, foi feita uma simulação prognóstica de incêndio a partir do software *PyroSim*, desenvolvido pela *Thunderhead Engineering*. Esta simulação contém as mesmas características e variáveis da simulação realizada com o software FDS.

Figura 5-5: Simulação Sala de Aula CEFET – Software *PyroSim*



Fonte: A autora, 2021

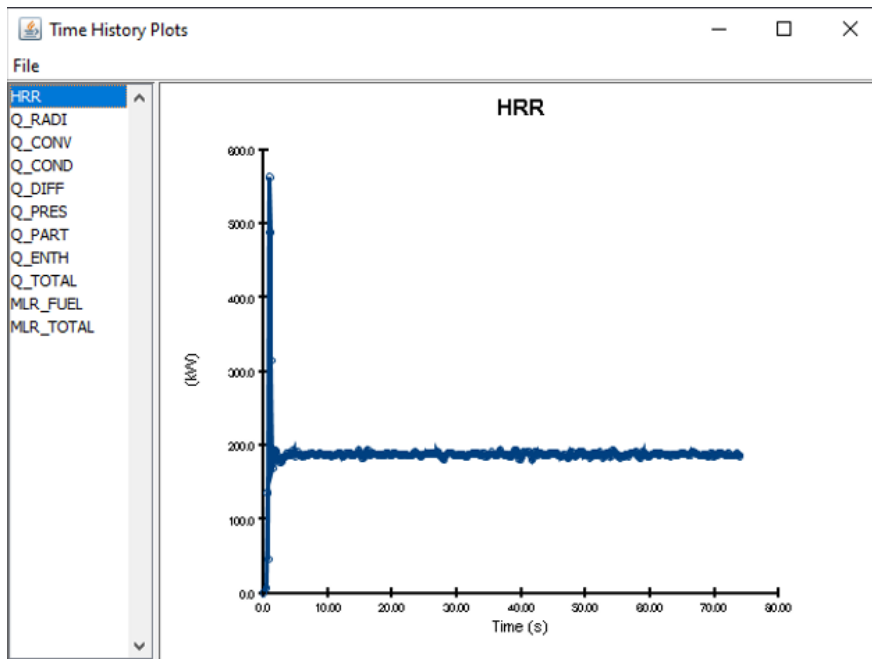
Analisando a figura, pode-se constatar que no tempo 73,8s de simulação o fogo atinge altas temperaturas (até 170°C no estado mais crítico). Percebe-se que as variadas cores na simulação representam as temperaturas que o fogo atinge (os valores estão expostos ao lado direito, em °C). Quanto mais perto da fonte do fogo, menor é a visibilidade e maiores são as temperaturas.

Neste trabalho foram desenvolvidas simulações com a finalidade de teste e estas foram extremamente úteis para o estudo das variáveis, e como essas simulações se comportam quando mudamos as variáveis, por exemplo, modificamos o tamanho do pé direito da edificação, o tamanho e quantidade de aberturas do ambiente estudado. Neste contexto, percebeu-se que as temperaturas se elevam consideravelmente quando as portas e janelas estão fechadas. Quando essas estão abertas o fluxo de calor gerado é menor e há uma maior dissipação da fumaça e do fogo.

Com a utilização do software FDS, aliado ao SMV, obteve-se sucesso na realização de simulações de incêndios, sendo uma delas baseada em um ambiente real, uma sala de aula do CEFET/MG- Unidade Araxá e, a partir das simulações realizadas, foi possível observar como a fumaça se comporta, os níveis de calor, como os *layouts* influenciam na propagação do incêndio.

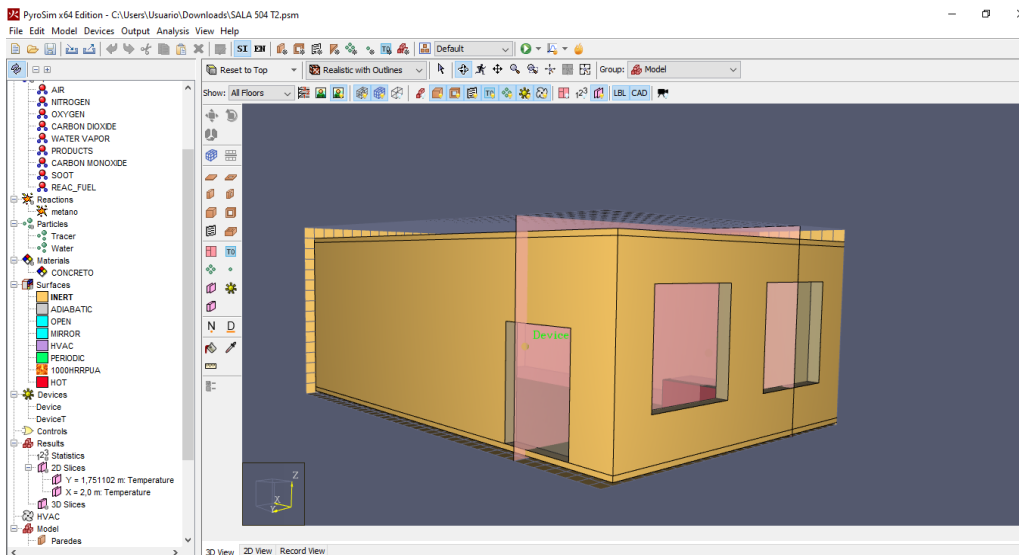
Fazendo-se uma simulação do mesmo ambiente com a utilização do software *PyroSim*, foi gerado o gráfico de tempo por fluxo de calor, entre outros gráficos, conforme a Figura 5.6:

Figura 5-6: Gráfico HRRPUA (Heat Release Rate Per Unit Area)



Fonte: A autora, 2021

Figura 5-7: Simulação de sala de aula -CEFET/MG com o software *PyroSim*



Fonte: A autora, 2021

Figura 5-8: CMD Windows- Simulação sala de aula - CEFET/MG com o software FDS

```
FDS
01/04/2020 22:02 34.033 room_0005.png
01/04/2020 22:02 35.346 room_0006.png
01/04/2020 22:02 36.025 room_0007.png
01/04/2020 22:02 38.546 room_0008.png
01/04/2020 22:02 38.527 room_0009.png
01/04/2020 22:02 41.022 room_0010.png
01/04/2020 22:02 43.707 room_0011.png
01/04/2020 22:02 43.711 room_0012.png
01/04/2020 22:02 36.715 room_0013.png
01/04/2020 20:13 133.266 room_01.bf
01/04/2020 20:13 301 room_01.bf.bnd
01/04/2020 20:13 7.516 room_01.s3d
01/04/2020 20:13 798 room_01.s3d.sz
01/04/2020 20:13 57.826 room_01.sf
01/04/2020 20:13 002 room_01.sf.bnd
01/04/2020 20:13 133.266 room_02.bf
01/04/2020 20:13 301 room_02.bf.bnd
01/04/2020 20:13 39.005 room_02.s3d
01/04/2020 20:13 798 room_02.s3d.sz
01/04/2020 20:13 57.826 room_02.sf
01/04/2020 20:13 002 room_02.sf.bnd
01/04/2020 20:13 133.266 room_03.bf
01/04/2020 20:13 301 room_03.bf.bnd
01/04/2020 20:13 121.601 room_03.s3d
01/04/2020 20:13 798 room_03.s3d.sz
01/04/2020 20:13 136.595 room_04.s3d
01/04/2020 20:13 798 room_04.s3d.sz
01/04/2020 20:10 31 room_git.txt
01/04/2020 20:13 2.828 room_hrr.csv
01/04/2020 20:13 1.566 room_steps.csv
41 arquivo(s) 1.340.596 bytes
2 pasta(s) 369.537.134.592 bytes disponíveis
C:\Users\Usuario\Desktop\Room\FDS room.txt
```

Fonte: A autora, 2021

As figuras 5.7 e 5.8 referem-se ao processo de criação de simulações utilizando-se os softwares *PyroSim* e a mesma simulação pelo FDS-SMV. Pode-se observar que o *PyroSim* é extremamente mais simples de ser utilizado, porque existem ícones, que permitem mudar detalhes da simulação, de maneira mais intuitiva. Já o software FDS concebe as simulações a partir de um arquivo de texto único, com todas as especificações e se inicia por meio do *Prompt* de comando da máquina, o que requer maior conhecimento e habilidade na área da computação.

Os resultados entre esses softwares são os mesmos uma vez que o *PyroSim* utiliza o mesmo método de cálculo do FDS. A diferença está na interface, como citado anteriormente, isto é, o *PyroSim* apresenta resultados mais completos, com melhor visualização das perspectivas 3D das simulações, além da opção de obter gráficos resultantes das simulações. Todavia, os dois programas, quando bem utilizados, são fortes aliados na Segurança e Prevenção contra Incêndios (SCI).

6 CONCLUSÕES

Com a evolução da tecnologia, novas possibilidades surgiram para auxiliar consideravelmente na segurança de uma edificação quando se trata de incêndio. Por meio de simulações com softwares, pode-se verificar a possibilidade de incêndio e fazer mudanças no projeto, a fim de garantir a segurança e evitar danos futuros.

Com as simulações realizadas nesta pesquisa, ficou claro que a aplicação do software *Fire Dynamics Simulator* (FDS) no âmbito do estudo da segurança contra incêndio (SCI) é um tema de extrema importância, especialmente no Brasil, onde os estudos envolvendo incêndio ainda são recentes.

Constatou-se, por meio das simulações, que, à medida que os vãos das edificações são maiores, o fogo ganha maior proporção em tempo menor, quando comparado aos vãos menores, ou na falta deles.

Alguns materiais de construção têm a capacidade de apresentar mais resistência ao fogo do que outros, devido a suas propriedades químicas. Isso evidencia a necessidade de se ter na construção um profissional qualificado para a escolha dos materiais adequados, a adoção de *layouts* mais dinâmicos e o cumprimento das normas brasileiras pré-estabelecidas para que incêndios sejam evitados.

Os resultados das simulações feitas com os dois programas (*PyroSim* e *FDS*) foram iguais no que se trata de números (por exemplo nível de fumaça), e HRRPUA (Heat Release Rate Per Unit Area). Com o FDS, a simulação é mais trabalhosa pelo fato de necessitar de um arquivo de entrada com todas as informações, em formato de texto, que é criado pelo usuário; a execução é feita pelo *Prompt* de comando do Windows. Se esse arquivo apresentar algum erro, a simulação simplesmente não é executada. J

Com o *PyroSim*, as simulações de incêndio são mais simples e eficazes; os resultados são mais completos, dando a possibilidade de criar gráficos que apresentam o HRRPUA, com a visualização do fluxo de calor durante cada período da simulação.

Assim, conclui-se que o software FDS é um grande aliado para a concretização da segurança contra incêndio em edificações, impedindo e minimizando futuros danos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, ABNT, 2001. 40p.

_____. **NBR 14276**: Brigadas de incêndio e emergência – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, ABNT, 2020. 38p.

_____. **NBR 12722**: Discriminação de serviços para construção de edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.14p.

BORGES, G. de O. **Simulação de incêndio utilizando o software *Fire Dynamics Simulator (FDS)***. Disponível em <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13969/1/21395537.pdf>
Acesso em 22 set.2021

BRASIL. **Decreto Federal Nº 5.296**, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.org.br>_Acesso em set. 2021

BRASIL. **Lei Nº 13.425, de 30 de março de 2017**. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público. Disponível em: <www.planalto.gov.br>_Acesso em set 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. Série Saúde & Tecnologia. **Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde - Condições de Segurança Contra Incêndio** -- Brasília, 1995.

BRASIL. **NR-23**: Proteção contra Incêndio. Aprovada pela Portaria MTb n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, alterada pela Portaria n.º 221, de 6 de maio de 2011.

BRENTANO, Telmo. **A Proteção Contra Incêndio no Projeto de Edificações**. 3. ed. Porto Alegre: Edição do autor, 2015.

COMISSÃO TRIPARTITE PERMANENTE DE NEGOCIAÇÃO DO SETOR ELETRICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CPNSP). São Paulo, 2005. 240 p. Disponível em:<<http://www.sqc.goias.gov.br/upload/arquivos/201703/manualcombateincendio.pdf>>
Acesso em: set 2021

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. IT 08- Emergências em edificações. 2017. Disponível em <www.bombeiros.mg.gov.br> Acesso em out. 2021.

DIAS, Thais P. P. **Prevenção contra incêndio em instituição de ensino básico: estudo de caso.** Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

GOUVEIA, A. M. Claret de; ETRUSCO, P. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil. **Revista Escola de Minas**, v. 55, n.4, out/dez 2002.

GOUVEIA, A. M. Claret de. **Introdução à Engenharia de Incêndio** - para estudantes, arquitetos, engenheiros, administradores e bombeiros. Belo Horizonte: 3i editora, 2017.230p.

INSTITUTO SPRINKLER DO BRASIL (ISB). Estatísticas 2021. Disponível em <www.sprinklerbrasil.org.br> Acesso em março de 2022.

MENDES, Celina M. R. A. **Percepção do risco de incêndio em escolas municipais de Campo Magro/PR.** 2014. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

ONO, R. **Parâmetros para a garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos.** 1. ed. Porto Alegre: Ambiente Construído, 2007.

PEREIRA, A. G.; DE ARAUJO JUNIOR, C. F. **Ensino de ciências e matemática para o exercício das atividades de segurança contra incêndios.**2006. Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao596/Art_Construcao-civil.pdf> Acesso em: 22 de junho de 2021.

ROSEMANN, F. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico.** 2011. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SEITO, Alexandre I.; GILL, Alfonso A.; ONO, Rosária; PANNONI, Fábio D.; SILVA, Sílvio B.; DEL CARLO, Ualfrido; SILVA, Valdir P. **A segurança contra incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SILVA, et al. **Manual de construção em aço: prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura.**1. ed. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Construção em Aço, 2010. 72 p. *Simulator.* 2018.

Disponível em:< <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13969/1/21395537>>
Acesso em: out 2021

TABACZENSKI, R.; CORRÊA, C.; SANTOS, Marina M.L. dos; PIRES, Tiago A. de C.; José J. R.. Simulação computacional de um incêndio natural compartimentado: validação com um estudo experimental. In: **CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO SOBRE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS, 4 - CILASCI**, Recife. 2017.

VALENTIN, M. V. **Saídas de emergência em edifícios escolares**. 2008. 362 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2008.