



Centro Universitário de Brasília – UniCEUB

Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas- FATECS

IGOR DA SILVA GOMES

**ANÁLISE DE EVACUAÇÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO
UTILIZANDO O SOFTWARE PATHFINDER**

BRASÍLIA

2019

IGOR DA SILVA GOMES

**ANÁLISE DE EVACUAÇÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO
UTILIZANDO O SOFTWARE PATHFINDER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário de Brasília como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Honório Assis Filho Crispim.

BRASÍLIA

2019

IGOR DA SILVA GOMES

**ANÁLISE DE EVACUAÇÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO
UTILIZANDO O SOFTWARE PATHFINDER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário de Brasília como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Honório Assis Filho Crispim.

Brasília, 26 de julho de 2019

Banca Examinadora

Eng^o. Civil: Dr. Honório Assis Filho Crispim
Orientador

Coordenadora: Erika Castro
Examinador Interno

Eng^o. Civil: Calvin Mariano
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre está comigo em todas as horas e mesmo sabendo das minhas dificuldades proporciona o conforto e força de acreditar no amanhã para melhorar um pouco a cada dia.

A minha família que sem ela eu não teria o devido suporte para concluir o curso com tranquilidade tendo expectativa de trabalho e conforto emocional.

Ao UniCEUB - Centro Universitário de Brasília – que, durante toda a trajetória de curso, possibilitou-me oportunidades de almejar um futuro promissor e ter oportunidades em um horizonte chamado mercado de trabalho.

E ao meu professor orientador por ter me fornecido material para estudo, assim como a disponibilidade para discussão do tema, oferecendo com excelência o devido suporte para a realização de um trabalho que gere orgulho para quem o realize.

“A inocência não se envergonha de nada.”
(Jean-Jacques Rousseau)

RESUMO

Na atualidade, para ter-se um projeto de edificação aprovado, é aconselhável fazer simulações em software, seja na sua estrutura ou em outro elemento com importância não só técnica, mas como usual. Assim sendo, o software é a maneira mais barata para projetar situações nas quais é possível adequar as estruturas, verificando o comportamento das estruturas e das pessoas de tal forma que os agentes, ocupantes do imóvel, poderão se comportar, e o computador poderá gerar algoritmos, logo é viável alcançar de maneira simples a melhor situação para diversos problemas e acontecimentos.

No entanto, para que se alcancem todos os resultados possíveis, é necessário que se tenham várias circunstâncias com várias adversidades diferentes, necessitando assim que o software seja trabalhado nas ocorrências solicitadas que dependera da experiência do projetista, tendo base as possíveis situações de incêndio para que cada vez afine o sistema e se alcance o objetivo desejado.

Utilizou-se para simulação de evacuação um software denominado Pathfinder que apresenta algumas formas de simulação, como também dicas para os iniciantes. Segundo o manual Pathfinder o programa além de contar com a possibilidade de se ter a portabilidade com outros programas, assim como AutoCAD. Apresentando as simulações com dados importantes, tanto para o mundo acadêmico quanto para as situações reais de vida. Como exemplo, um dos dados sobre o coeficiente de pessoas por área desejada em um sistema que simula situações complexas, quanto a do incêndio.

Palavras-chave: Simulação de Incêndios, Software Pathfinder, Estrutura, Evacuação.

ABSTRACT

Nowadays, in order to have an approved building project, it is advisable to make software simulations, either in its structure or in another element that is not only technical, but as usual. Therefore, software is the cheapest way to design situations in which it is possible to adapt structures, verifying the behavior of structures and people in such a way that agents, occupants of the property, can behave, and the computer can generate algorithms. It is therefore feasible to simply reach the best situation for various problems and events.

However, in order to achieve all the possible results, it is necessary to have several circumstances with several different adversities, thus requiring the software to be worked on the requested occurrences that would depend on the designer's experience, based on the possible fire situations so that each time tune the system and achieve the desired goal.

Evacuation simulation was used a software called Pathfinder that presents some forms of simulation, as well as tips for beginners. According to the Pathfinder manual, the program also has the possibility of having portability with other programs, such as AutoCAD. Presenting simulations with important data for both the academic world and real life situations. As an example, one of the data on the coefficient of people per desired area in a system that simulates complex situations, such as fire.

LISTA DE IMAGENS

IMAGEM 1 - INCÊNDIO GRAN CIRCO NORTE-AMERICANO.....	14
IMAGEM 2 - INCÊNDIO NA INDÚSTRIA VOLKSWAGEN.....	15
IMAGEM 3 - INCÊNDIO EDIFÍCIO JOELMA.....	15
IMAGEM 4 - INCÊNDIO BOATE KISS.....	16
IMAGEM 5 - TRIÂNGULO DO FOGO.....	20
IMAGEM 6 - TETRAEDRO DO FOGO.....	21
IMAGEM 7 - SIMBOLOGIA DAS CLASSES DE INCÊNDIOS.....	25
IMAGEM 8 - COMPORTAMENTO DAS PESSOAS DURANTE UM INCÊNDIO	27
IMAGEM 9 - SIMULAÇÃO DE MOVIMENTO FLEXÍVEL.....	34
IMAGEM 10 - OPÇÕES DE IMPORTAÇÃO ROBUSTAS.....	35
IMAGEM 11 - MALHA DE MOVIMENTO CONTÍNUO.....	36
IMAGEM 12 - VÁRIOS MODOS DE SIMULAÇÃO.....	37
IMAGEM 13 - MOVIMENTO DOS OCUPANTES PARA AS SAÍDAS.....	38
IMAGEM 14 - VISUALIZAÇÃO 3D DE ALTA QUALIDADE.....	38
IMAGEM 15 - FÁCIL DE ENTENDER TRAÇADOS E CONTORNO.....	39
IMAGEM 16 - ESCADAS, ESCADAS ROLANTES, PASSARELAS E RAMPAS	40
IMAGEM 17 - POPULAÇÕES CUSTOMIZÁVEIS.....	41
IMAGEM 18 - PERFIS DE DENSIDADE DE VELOCIDADE.....	41
IMAGEM 19 - INÍCIO DA EVACUAÇÃO.....	47
IMAGEM 20 - MOVIMENTAÇÃO DAS PESSOAS RUMO AS ESCADAS.....	47
IMAGEM 21 - ACÚMULO DE PESSOAS NO INÍCIO DAS ESCADAS.....	48
IMAGEM 22 - MUDANÇA NA FORMA DE OBSERVAR O EDIFÍCIO.....	48
IMAGEM 23 - MUDANÇA NAS CARACTERÍSTICAS PARA OBSERVAR OUTROS ASPECTOS.....	49
IMAGEM 24 - TEMPO DE EVACUAÇÃO E VELOCIDADE.....	49
IMAGEM 25 - TEMPO DE EVACUAÇÃO E PONTOS DE EVACUAÇÃO.....	50
IMAGEM 26 - TEMPO DE EVACUAÇÃO E FIM DA EVACUAÇÃO.....	50

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBMDF - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

DXF - *Drawing Exchange Format*

DWG - Design Web Format

FDS - *Fire Dynamics Simulator*

GIF - Graphics Interchange Format

IFSTA - Associação Internacional para o Treinamento de Bombeiros/EUA

JPG - Joint Photographic Group

NBR / NB - Normas Técnicas

NFPA - Associação Nacional de Proteção a Incêndios/EUA

NR - Norma Regulamentadora

PNE - Portador de Necessidades Especiais

PNG - *Portable Network Graphics*

RS - Rio Grande do Sul

SFPE - *Society of Fire Protection Engineers*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	13
	2.1 Objetivo geral.....	13
	2.2 Objetivos específicos.....	13
3	Revisão Bibliográfica.....	14
	3.1 Os incêndios no Brasil.....	14
	3.2 Medidas adotadas após os grandes incêndios.....	16
	3.3 Normas aplicadas contra incêndios.....	17
	3.4 Conceitos básicos sobre o Fogo e o Incêndio.....	19
	3.4.1 Definição de Fogo.....	19
	3.4.2 Definição de Incêndio.....	21
	3.5 O Comportamento de Pessoas em Situações de Incêndio.....	25
	3.6 A Interferência da Fumaça no Deslocamento de Pessoas.....	27
	3.7 A Influência dos Portadores de Necessidades Especiais na Evacuação.....	28
	3.8 Definição de Evacuação.....	29
	3.8.1 Princípios Gerais de Deslocamento de Pessoas.....	29
	3.8.2 Movimentação das Pessoas na Evacuação.....	30
	3.8.3 Tempo de Evacuação Admissível.....	31
	3.9 Simulação Computacional de Evacuação.....	32
	3.9.1 Modelo Pathfinder.....	33
4	METODOLOGIA.....	43
	4.1 Apresentação.....	43
	4.2 Quanto à Finalidade.....	43
	4.3 Quanto a Forma de Abordagem.....	43
	4.4 Quanto ao Objetivo Geral.....	44

4.5 Procedimentos Técnicos e Obtenção de Dados	44
5 ESTUDO DE CASO	45
6 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	46
7 CONCLUSÃO	53
8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

No Brasil ainda é embrionária a questão do preparo das pessoas no quesito evacuação de incêndio. Muitas delas nunca viram o mapa de risco do edifício no qual elas moram ou até mesmo do local no qual trabalham. O mapa de risco possibilita o direcionamento adequado das pessoas quando está em sintonia com o sistema de sinalização.

O Pathfinder é um software que possibilita simulações de incêndios nos edifícios, tendo como benefícios mudanças nos projetos de forma previa como, por exemplo, localização de escadas e elevadores, assim, logo, poupam-se recursos financeiros. Outro benefício é o fato do sistema facilitar o mapeamento de risco, auxiliando também na questão de simulações referentes as questões de segurança em casos de acidentes reais.

O fogo, além de gerar calor, em regra, emite fumaça tóxica e quente que, em pouco tempo pode ocasionar queimaduras nas vias áreas. Caso o indivíduo não consiga se afastar rapidamente, umas das consequências seria a perda da consciência e conseqüentemente a diminuição das chances de escapar.

Na atualidade não existe um sistema que considere com exatidão o quanto é prejudicial a fumaça dos incêndios, pois ela é a maior causa de mortes. Sendo assim, a busca por simuladores que apresentem resultados reais está cada dia mais visado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Apresentar a simulação de evacuação em caso de incêndio e apresentar o software Pathfinder como uma ferramenta adequada a esses estudos.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão geral dos principais conceitos que envolvem o fogo, e consequentemente o incêndio;
- Descrever as reações das pessoas em situações de incêndio;
- Sintetizar a teoria aplicada ao estudo da evacuação;
- Analisa o software Pathfinder utilizando o modelo default.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Os incêndios no Brasil

No início do século XX, o poder social encontrava-se concentrado nas mãos dos detentores de grandes plantações voltadas para cultivos destinados aos mercados internacionais, sendo responsáveis por mais de 85% das exportações brasileiras.

Com a crise no setor rural, a concentração de pessoas sofre uma inversão de espaço físico, onde se concentrava a maior parte da sociedade passa a ser a menor por causa da migração em massa para as metrópoles, tais como São Paulo e Rio Janeiro. Com o crescimento da população, a falta de controle e fiscalização nas construções e edificações no Brasil foram se tornando constantes.

O Brasil leva em sua história vários casos de grandes incêndios que infelizmente foram ocasionados de forma dolosa.

Segundo SEITO et al. (2008), um dos casos a ser citado é o do circo Gran Circo Norte-Americano, marcado como o maior incêndio com perda de vidas no Brasil em casos de circos. Em menos de três minutos, o toldo em chamas caiu sobre os dois mil e quinhentos espectadores, resultando em duzentos e cinquenta mortos e quatrocentos feridos. Na Imagem 1 é possível imaginar o resultado do incêndio.

Imagem 1 - Incêndio Gran Circo Norte-Americano



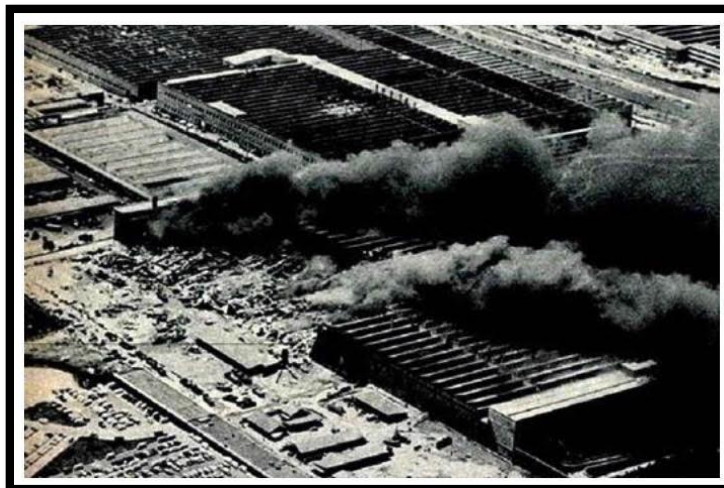
Fonte: (SEITO et al. 2008).

Até dezembro de 1970, foi constatado que nenhum grande incêndio em edificações havia impactado o Brasil, até que, na manhã do dia 18 de dezembro do

próprio ano, cinco dias antes das férias coletivas de Natal de uma Indústria no Brasil conhecida como Volkswagen, um incêndio teve início.

SEITO et al. (2008), relata em seu que o incêndio ocorreu na Ala 13 da montadora de automóveis Volkswagen, em São Bernardo do Campo. Constatou-se a perda total do prédio da produção (Ala 13) com uma vítima fatal, conforme imagem 2.

Imagem 2 - Incêndio na Indústria Volkswagen



Fonte: (Seito et al. 2008)

Outro caso a ser destacado é um incêndio ocorrido em São Paulo no Edifício Joelma no ano de 1974, que possuía 23 andares de estacionamento e escritórios. SEITO et al. (2008) descreve que pessoas se projetaram pela fachada do prédio, gerando imagens fortes e de grande comoção, ocasionando a morte de cento e setenta e nove pessoas e trezentos e vinte feridos. Na imagem 3 pode-se ver o nível do incêndio.

Imagem 3 - Incêndio Edifício Joelma



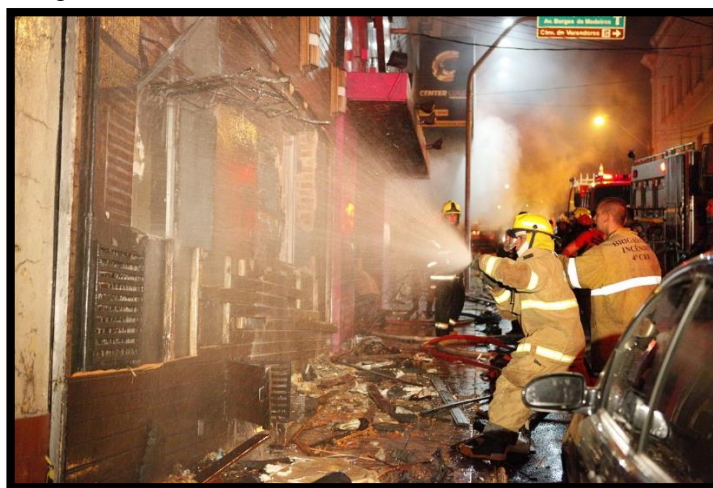
Fonte: (SEITO et al. 2008).

Pode-se ilustrar um caso de imprudência, negligência e imperícia, ao se relatar sobre a falta de segurança e preparo para o combate a incêndio ocasionado pela inexistência de cumprimento das normas.

Um caso notório que jamais será esquecido pela população da cidade de Santa Maria (RS) foi o que ocorreu na Boate Kiss. Infelizmente o local não possuía saída de emergência adequada para uma boate nem tão pouco detectores de fumaça, pois o fato gerador foi um show de pirotecnia que acontecia em um ambiente fechado e que acabou ocasionando 242 vítimas.

Conforme relato de Noronha (2019), este fato criou um alerta para as autoridades em relação aos estados em que as boates estavam funcionando. Desde setembro de 2017, o Brasil conta com a Lei Federal nº 13.425, a Lei Kiss, que estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião pública. Na imagem 4 podemos ver mais detalhes do combate ao incêndio.

Imagem 4 - Incêndio Boate Kiss



Fonte: (Noronha, 2013).

3.2 Medidas adotadas após os grandes incêndios

Após os estudos sobre os grandes incêndios, pode-se destacar que os Estados identificaram a necessidade de rever os métodos utilizados no controle contra incêndios no Brasil.

A respeito disso, SEITO et al. (2008) afirma que a Prefeitura de São Paulo, uma semana depois do incêndio no Edifício Joelma, edita o Decreto Municipal nº 10.878 que “institui normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observadas na elaboração de projetos, na execução, bem como no equipamento e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário”.

Em todo o território brasileiro, os responsáveis principais pela segurança de toda a sociedade começaram a retificar as normas e decretos que regulamentava os procedimentos básicos para manter a segurança em ambientes com aglomeração de pessoas.

Outro aspecto, levantado por SEITO et al. (2008), foi em relação às seguintes normas, em que outros órgãos também responsáveis pela segurança sofreram alterações, tais como a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que, por meio do Comitê Brasileiro da Construção Civil, publicou a NB 208 – Saídas de Emergência em Edifícios Altos. O Ministério do Trabalho editou a Norma Regulamentadora 23 (NR-23) – Proteção Contra Incêndios, dispondo regras de proteção contra incêndios com relação a parte da reestruturação na segurança do trabalho.

3.3 Normas aplicadas contra incêndios

As normas contra incêndios são de grande importância para a regulamentação de medidas de segurança de pessoas em locais diversos. Assim, inicialmente pode-se apontar a Norma Regulamentadora NR 23, que é a norma do Ministério do Trabalho que rege atividades que visam proteger pessoas contra incêndios.

A primeira parte da NR 23 apresenta as disposições gerais, que irão nortear as tratativas do assunto. Elas estabelecem que todas as empresas devem possuir:

- a) proteção contra incêndio;
- b) saídas suficientes para a rápida retirada do pessoal em serviço, em caso de incêndio;
- c) equipamentos suficientes para combater o fogo em seu início;
- d) pessoas adestradas no uso correto desses equipamentos.

Esta norma se relaciona intensamente com outros dispositivos legais e normativos, como normas brasileiras NBR (Normas Técnicas), legislações federais e locais e instruções normativas do Corpo de Bombeiros, que apesar de serem muito

semelhantes, apresentam algumas diferenças conforme o Estado onde a instalação está localizada.

Considerando a proteção à vida como um dos maiores bens, podemos destacar os principais sistemas de proteção, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- ✓ NBR – 5419: Sistema de proteção contra descargas atmosféricas para-raios;
- ✓ NBR – 5667: Hidrantes urbanos de incêndio;
- ✓ NBR – 9441: Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio;
- ✓ NBR – 10897: Proteção contra incêndio por chuveiro Automático;
- ✓ NBR – 10898: Sistema de iluminação de emergência;
- ✓ NBR – 11715: Extintores de incêndio com carga d'água;
- ✓ NBR – 11742: Porta corta-fogo para saída de emergência;
- ✓ NBR – 11861: Mangueira de incêndio – Requisitos e métodos de ensaio
- ✓ NBR – 12693: Sistemas de proteção por extintores de incêndio;
- ✓ NBR – 12779: Mangueiras de incêndio – Inspeção, manutenção e cuidados;
- ✓ NBR – 13434: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico;
- ✓ NBR – 13714: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio;
- ✓ NBR – 13848: Acionador manual para utilização em sistemas de detecção e alarme de incêndio;
- ✓ NBR – 14276: Programa de brigada de incêndio;

Para a elaboração dos projetos de prevenção e combate a incêndio deve-se seguir a legislação decretada pelo CBMDF (Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal), que, em síntese, são:

- DECRETO nº 23.015, de 11 de junho de 2002;
- DECRETO nº 21.361, de 20 de julho de 2000 - Regulamento de Segurança Contra Incêndio do DF;
- LEI Nº 2.747, de 20 de julho de 2001;
- DECRETO Nº 23.154, de 09 de agosto de 2002;
- NT nº 01/2015 Medidas de Segurança Contra Incêndio no Distrito Federal;
- NT nº 02/2015 Risco de Incêndio e Carga de Incêndio;
- NT nº 03/2015 Sistema de Proteção por Extintores de Incêndio;
- NT nº 04/2015 Sistema de Proteção por Hidrantes;
- NT nº 05/2015 Central Predial de GLP;
- NT nº 06/2015 Emissão de Certificado de Credenciamento;
- NT nº 07/2015 Brigada de Incêndio;
- NT nº 08/2015 Fogos de Artifício;

- NT nº 09/2015 Atividades Eventuais;
- NT nº 10/2015 Saídas de Emergência;
- NT nº 11/2015 Acesso de Viaturas;
- NT nº 12/2015 Padronização Gráfica de Projetos;
- NT nº 18/2015 Extintores de Incêndio;
- NT nº 19/2015 Cadastramento de Empresa de Fabricação;
- NT nº 20/2015 Apreensão de Equipamentos de Segurança Contra Incêndio e Pânico;
- NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- NR 20 - Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis;
- NR 26 - Sinalização de Segurança.

O atendimento a essas normas, juntamente com as instruções técnicas dos corpos de bombeiros estaduais, são os recursos indicados para assegurar que, inicialmente, a concepção e elaboração de projetos de edificações.

3.4 Conceitos básicos sobre o Fogo e o Incêndio

O incêndio é uma ocorrência de fogo não controlada, que pode ser extremamente perigosa para os seres vivos e para as estruturas. Em muitos casos, pode ser fatal e até acarretar na destruição total de uma estrutura predial.

3.4.1 Definição de Fogo

O fogo está presente em nossas vidas há muitos anos, pois foi a maior conquista na Pré-história e é uma das principais fontes de energia na atualidade. Mesmo com tantos estudos e experiências com o fogo, ainda não há um consenso mundial para definir o fogo, todavia, segundo a NBR 13860 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT), fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz.

Junior (1999) afirma que

O fogo é um processo químico de transformação, também chamando combustão, dos materiais combustíveis e inflamáveis, que, se forem sólidos ou líquidos, serão primeiramente transformados em gases, para se combinarem com o comburente (geralmente oxigênio), e, ativados por uma fonte de calor, iniciarem a transformação química, gerando mais calor e desenvolvendo uma reação em cadeia.

Segundo Gomes (1998), a importância de cada um dos elementos no processo da combustão, pois não pode ser avaliada individualmente, isto é, em separado, já que nenhum deles, por si só, dá origem à queima ou combustão.

A combustão, normalmente, é representada pelo conhecido *Triângulo do Fogo*, mostrado abaixo, decorre da ação simultânea dos elementos Calor, Oxigênio e Combustível. Conforme imagem 5.

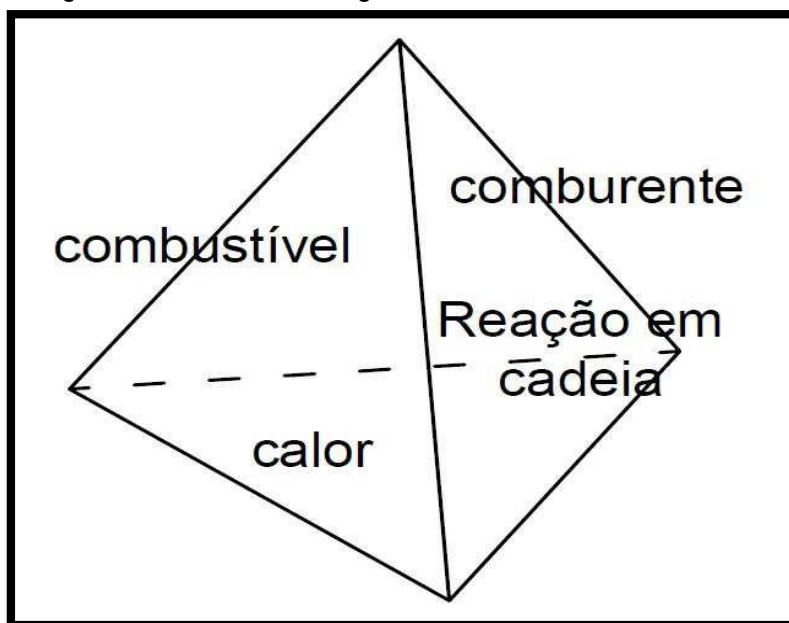
Imagem 5 – Triângulo do Fogo



Fonte: (Gomes, 1998)

Posteriormente com a descoberta do agente extintor “halon”, fez-se necessário mudar a teoria, a qual atualmente é conhecida como *Tetraedro do Fogo*. A imagem 6 geométrica espacial é interpretada da seguinte forma: cada face do tetraedro representa um elemento do fogo, sendo o combustível, comburente, calor e reação em cadeia, devendo coexistir ligados para que o fogo se mantenha (SEITO et al. 2008).

Imagem 6 – Tetraedro do Fogo



Fonte: (SEITO et al. 2008)

Este aspecto também é comentado por Junior (1999), o qual afirma que, para que haja fogo, é necessário existir um combustível que, atingindo seus pontos de fulgor e combustão, gere gases inflamáveis, os quais, misturados com um comburente (oxigênio), precisem apenas de uma fonte de calor para inflamar e começar a reação em cadeia.

Outro aspecto levantado por Junior (1999) são as características dos elementos na função no fenômeno químico do fogo, tais como:

- ✓ Combustível: elemento que alimenta o fogo e que serve como campo para sua propagação.
- ✓ Comburente: elemento ativador do fogo, o comburente dá vida às chamas.
- ✓ Calor: elemento que dá início ao fogo; é ele que faz o fogo se propagar pelo combustível.
- ✓ Reação em cadeia: os combustíveis, após iniciarem a combustão, geram mais calor. Esse calor provocará o desprendimento de mais gases ou vapores combustíveis, desenvolvendo uma transformação em cadeia.

3.4.2 Definição de Incêndio

O incêndio é um terrível e temível antagonista do ser humano. Por tão justas e importantes razões, o incêndio vem sendo considerado um mal que deve ser evitado a todo custo, eis que seu combate, em via de regra, ocorre em condições muito desfavoráveis à sua rápida propagação.

Conforme a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a NBR 13860 define incêndio como sendo o fogo fora de controle.

De início é interessante destacar o artigo em que Gomes (1998) enfatiza a importância da *Prevenção Contra Incêndio*, por ser o único pelo qual se pode assegurar que um foco de fogo não se transforme em um incêndio.

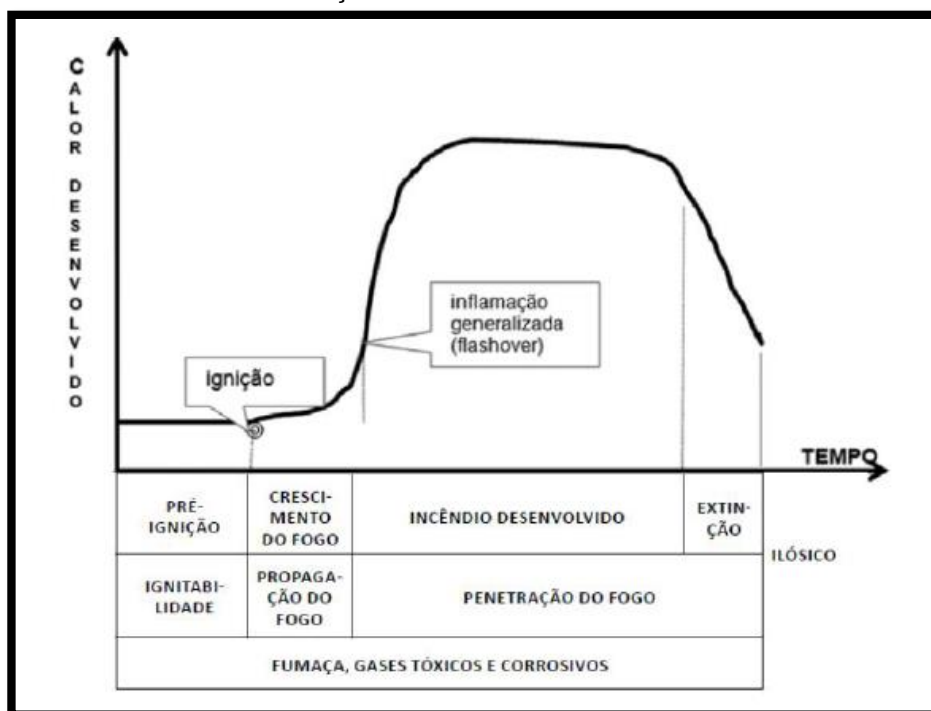
Como faz notar Dias (2015), que além da prevenção contra incêndio, os métodos de segurança devem ser conscientemente analisados pelo projetista, em conjunto com o proprietário, visando a incontestável necessidade de preservação da vida humana. Os meios de combate e proteção contra o fogo podem ser:

- Prevenção:
 - ✓ Uso de materiais não-inflamáveis;
 - ✓ Projeto de instalações respeitando as normas técnicas.
- Rápida extinção:
 - ✓ Rede de hidrantes;
 - ✓ Equipamentos de detecção e extinção do fogo (chuveiros automáticos, extintores);
 - ✓ Dispositivos de alerta e sinalização;
 - ✓ Brigada particular contra incêndio.
- Compartimentação:
 - ✓ Barreiras que evitem a propagação de fumaça;
 - ✓ Portas corta-fogo.
- Rápida evacuação das pessoas:
 - ✓ Sistemas de fácil exaustão de fumaça;
 - ✓ Rotas de fuga bem sinalizadas e protegidas;
 - ✓ Escadas de segurança.
 - ✓ A fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
 - ✓ A segurança das operações de combate ao incêndio;
 - ✓ A redução ao mínimo dos danos a edificações adjacentes e à infraestrutura pública ou particular.

Outro aspecto, levantado por Dias (2015), é a ação térmica que ocorre em uma estrutura em consequência da diferença de temperatura entre os gases do ambiente em chamas e os componentes da estrutura das edificações.

O incêndio é caracterizado por três fases sendo a fase da ignição, fase de aquecimento e fase de resfriamento (SEITO et al. 2008). Essas fases constituem em uma curva de evolução de um incêndio, onde fornece a temperatura dos gases em relação ao tempo de incêndio, cada incêndio possui uma representação gráfica particular, mas pode-se definir o comportamento padrão do incêndio conforme imagem ilustrativa abaixo.

Gráfico 1 – Curva de evolução do incêndio celulósico



Fonte: (SEITO et al. 2008)

3.4.2.1 Classificação dos Incêndios e Agentes Extintores

A classificação dos incêndios e de seus agentes extintores foi elaborada pela NFPA - Associação Nacional de Proteção a Incêndios/EUA, e adotada pelas seguintes instituições: IFSTA - Associação Internacional para o Treinamento de Bombeiros/EUA; ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas/BR; e Corpos de Bombeiros/BR.

Os incêndios são classificados de acordo com os materiais neles envolvidos, bem como a situação em que se encontram. Essa classificação determina a necessidade do agente extintor adequado.

Junior (1999) identifica que quanto ao material que se queima existe uma classificação clássica relacionada aos tipos de incêndio, sendo elas:

- Classe “A”: fogo em combustíveis sólidos como, por exemplo, madeiras, papel, tecido, borracha, etc. É caracterizado pelas cinzas e brasas que deixa como resíduos, sendo que a queima acontece na superfície e em profundidade. A melhor forma de extinção é o resfriamento por água ou espuma que contenha água.
- Classe “B”: fogo em líquidos inflamáveis, graxas e gases combustíveis, como, por exemplo, gasolina, óleo, querosene, etc. É caracterizado por não deixar resíduos e queimar apenas na superfície exposta. Os métodos de extinção são abafamento e o rompimento da cadeia iônica.
- Classe “C”: fogo em materiais e equipamentos energizados, como, por exemplo, motores, transformadores, geradores, etc. É caracterizado pelo risco de vida que oferece, seu método de extinção só pode ser realizado com agente extintor não-condutor de eletricidade.
- Classe “D”: fogo em metais combustíveis, como, por exemplo, magnésio, selênio, antimônio, lítio, potássio, alumínio fragmentado, zinco, titânio, sódio e zircônio, etc. É caracterizado pela queima em altas temperaturas e por reagir com agentes extintores comuns, principalmente se contem água. Neste tipo de incêndio, deve-se utilizar o método de extinção de resfriamento.

Na imagem 7 pode-se demonstrar a simbologia utilizada para cada classe de incêndio.

Imagem 7 - Simbologia das classes de incêndios



Fonte: (Brigada, 2015)

Isto vem ao encontro de Dias (2015) que concluiu que, além das medidas para prevenção e extinção de incêndio, é fundamental prever a rápida evacuação dos ambientes em chamas.

3.5 O Comportamento de Pessoas em Situações de Incêndio

Sendo o incêndio por vezes inevitável, o estudo do comportamento das pessoas em situações de pânico e fuga se tornou necessário para que se possa tornar as estruturas mais seguras.

De início é interessante enfatizar o que SEITO et al. (2008) destaca em relação ao comportamento das pessoas.

SEITO et al. (2008) afirma que

O estudo do comportamento das pessoas em incêndios é importantíssimo para a escolha dos procedimentos, do que fazer em caso de incêndio e o caminho a seguir até a rota de fuga e a saída em segurança.

Outro aspecto levantado por SEITO et al. (2008) é que no incêndio do Edifício Joelma as pessoas que estavam nas ruas improvisaram faixas com mensagem para acalmar as vítimas que ainda estavam dentro do edifício, informando que o incêndio já tinha sido controlado, mesmo assim várias pessoas pularam.

As edificações devem ser projetadas e construídas de modo a garantir a proteção das vidas humanas contra os efeitos fatais oriundos do fogo.

Coelho (2010), menciona que um incêndio a partir do qual advenha uma situação de emergência pode ter as mais variadas fontes, porém uma evacuação não pode ser só considerada em caso de incêndio havendo várias situações que originem tal acontecimento. Embora não haja grandes estudos científicos acerca das reações das pessoas em situações de emergência, é possível enquadrar o comportamento das pessoas em dois padrões distintos. O comportamento das pessoas em caso de emergência apesar de em grande parte das situações ser um comportamento adaptado pode sofrer alterações originando a ocorrência de comportamentos desadaptados.

Para Coelho (2010), “o pânico é a forma extrema de comportamento desadaptado à emergências, mas que felizmente é pouco comum”.

Contudo, além do pânico, existem outras formas, menos graves, de comportamento desadaptado ao incêndio, e que se podem traduzir, por exemplo, em não fechar a porta do compartimento onde se deu a eclosão do incêndio, permitindo deste modo uma mais fácil propagação do mesmo. Basicamente, um comportamento desadaptado pode ser caracterizado pela não observância de um conjunto de ações que podem prejudicar a evacuação de outras pessoas.

De acordo com Coelho (2010),

O pânico é a forma extrema de comportamento desadaptado à situação de emergência, mas que felizmente é pouco comum. Contudo, a probabilidade de este tipo de comportamento ocorrer aumenta se não forem consideradas determinadas medidas de segurança contra incêndio, das quais se destacam as seguintes:

- Concepção correta dos caminhos de evacuação (visibilidade das saídas, larguras suficientes, adequada relação entre largura e altura dos degraus das escadas, existência de corrimão nas escadas, etc.);
- Ausência de passagens estreitas ou estrangulamentos nos caminhos de evacuação;
- Existência de sinalização de segurança;
- Existência de iluminação de emergência;
- Detecção atempada do incêndio e adequados sistemas de alarme;
- Existência de lugares de refúgio e sistema de intercomunicação com os ocupantes (edifícios muito altos);
- Sistemas adequados de controlo de fumo.

Um aspecto relevante é a reentrada no edifício sem motivo real aparente dificultando deste modo o próprio combate ao incêndio. Analisando a imagem 8 pode-

se concluir que o motivo que leva as pessoas a reentrarem no interior do edifício é, em grande parte, aquilo que se assemelha a um comportamento desadaptado pois verifica-se que muitas das justificações apresentadas para a reentrada no edifício são simplesmente desnecessárias e sem objetivo aparente.

Imagem 8 – Comportamento das pessoas durante um incêndio

SEXO	SAÍDA E REENTRADA PELO MESMO LOCAL	SAÍDA E REENTRADA POR LOCAIS DIFERENTES	MOTIVO
M	1	–	Desligar fogão
M	1	1	Alertar as pessoas
M	3	1	Auxílio não especificado
M	1	–	Procurar familiar
M	2	5	Ajudar combate ao incêndio
M+1F	–	5	Sem motivo real

Fonte: (Coelho, 2010)

Outro aspecto, levantado por Coelho (2010), são as principais razões que motivaram a reentrada das pessoas em edifício prendem-se aos seguintes motivos:

- ✓ Combater o incêndio;
- ✓ Tentar salvar bens pessoais;
- ✓ Observar o incêndio;
- ✓ Avisar terceiros.

Normalmente às pessoas que reentraram no edifício não tinham nenhum vínculo familiar com as pessoas que estavam no local afetado.

3.6 A Interferência da Fumaça no Deslocamento de Pessoas

A fumaça é um processo de combustão que pode ser caracterizado pelo aparecimento de chamas ou não.

Coelho (2010) afirma que a movimentação e o comportamento das pessoas estão implícitos na diminuição da visibilidade causada pela fumaça em situação de emergência. Consequência dessa situação são a diminuição da velocidade de

deslocamento, o aumento da instabilidade emocional, a interrupção do movimento e, possivelmente, o pânico.

Este aspecto é também comentado por SEITO et al. (2008) que, identifica que quando as pessoas se encontram em situações de emergência aonde há ocorrência de muito fogo e fumaça, o comportamento destas e frequentemente de tensão nervosa ou estresses, causando demora no processamento da informação do que de fato está ocorrendo.

Coelho (2010) afirma que

Como conclusão fundamental resulta a constatação de que a redução da visibilidade acarreta uma perturbação do movimento, que pode ser mais ou menos grave a depender da situação em que a pessoas está passando.

Contudo podemos notar que existem outros aspectos importantes no movimento de pessoas em situações de visibilidade reduzida, que não foram considerados, como, por exemplo, a familiarização dos ocupantes com os caminhos a percorrer até a saída total da situação de risco.

3.7 A Influência dos Portadores de Necessidades Especiais na Evacuação

A preocupação com a saúde e o bem-estar de pessoas com algum tipo de PNE (Portador de Necessidades Especiais) é relativamente alta em comparação há alguns anos. Toda a sociedade passou a observar de forma diferente as pessoas que precisam de qualquer atenção a mais em qualquer tipo de situação.

As pessoas com necessidades deverão ter as mesmas oportunidades em situação de incêndio que as demais, indicando algumas estratégias alternativas de evacuação com, no mínimo, o mesmo nível de segurança, como, por exemplo alarmes visuais e sonoros, áreas de refúgio ou elevadores de segurança (SEITO, et al. 2008).

Para Coelho (2010) a existência de Portadores de Necessidades Especiais e de idosos em determinados tipos de ocupações pode ter implicações significativas na forma como se vai desenvolver a evacuação. Essa medida faz-se necessária para estabelecer uma distinção entre, por um lado, casas de saúde, hospitais, lares de idosos e, por outro, os restantes das edificações.

No primeiro cenário, é necessário levar em consideração que grande parte das pessoas tem dificuldades de mobilidade sendo que se deve limitar as distâncias a percorrer pelos ocupantes até às saídas para o exterior e dotar os caminhos de evacuação de dimensões mais benevolentes. Relativamente aos outros edifícios entre os quais os edifícios de habitação, a existência de incapacitados e de pessoas idosas não é normalmente um aspecto preocupante salvo situações pontuais.

Contudo, para Coelho (2010), o movimento ascendente e descendente de vias verticais e de rampas de evacuação de pessoas com deficiência é a maior preocupação. Nomeadamente, quanto à velocidade média de deslocamento, é em pessoas com deficiência que não a de deslocamento, como com deficiências ao nível da visão e audição. A velocidade de deslocamento é ligeiramente superior no movimento decrescente em rampas enquanto em escadas a subida é mais rápida.

Contudo, para Coelho (2010), cada vez mais é preciso que sejam estudadas medidas de evacuação, pois a existência em número significativo de incapacitados permanentes ou temporários, e de pessoas idosas tem implicações no desenvolvimento de uma operação de evacuação rápida e eficiente.

3.8 Definição de Evacuação

Conforme contido na NP 3874-2 de 1993 (Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 2: Proteção estrutural contra incêndio) e na NP 3874-6 de 1997 (Segurança contra incêndio. Terminologia. Parte 6: Meios de Evacuação e Salvamento) podemos definir evacuação como sendo movimento disciplinado, atempado e seguro de pessoas para uma zona de segurança em caso de incêndio ou de outros sinistros.

3.8.1 Princípios Gerais de Deslocamento de Pessoas

Do ponto de vista de Coelho (2010), a aglomeração de pessoas que se movem em várias direções ou livres, em que as condições são tais que o indivíduo possa variar a sua velocidade e a direção de deslocamento, é caracterizado como movimento caótico. Caracteriza-se o movimento de um conjunto de pessoas com as seguintes definições:

- **Densidade (D):** é a medida do número de pessoas por unidade de área útil de um compartimento. É expressa, na maioria das situações em pessoa por área, normalmente pessoa por metro quadrado (p/m^2), embora surja na literatura por vezes como o seu inverso, área por pessoa.
- **Velocidade (V):** representa o espaço percorrido pelo ocupante por unidade de tempo. É expressa em metros por segundo (m/s).
- **Fluxo:** o fluxo subdivide-se em dois:
 - Fluxo específico (F_e): corresponde ao fluxo de pessoas que passam em uma determinada seção por unidade de tempo e por unidade de largura eficaz. É expresso em pessoas por segundo e por metro de largura eficaz (p/s.m);
 - Fluxo total (F_t): traduz o número de pessoas que passam numa determinada seção por unidade de tempo (p/s):

$$F_e = D \times V \quad (\text{Eq. 01})$$

Considerando a largura do caminho de evacuação (L), a relação entre fluxo específico e fluxo total é dada pela equação:

$$F_t = F_e \times L \quad (\text{Eq. 02})$$

Seito et al. (2008), esclarecem que o movimento ideal de pessoas em vias horizontais é determinado pela velocidade a ser desenvolvida pela massa humana no momento da evacuação, ou seja, uma cadência ideal para as pessoas é de 76 metros por minutos, propiciando conforto e segurança. Quando essa dimensão diminui para aproximadamente 45 metros por minutos e quando ocorrem os contatos físicos.

3.8.2 Movimentação das Pessoas na Evacuação

Coelho (2010) afirma que a existência de pequenos obstáculos, esquinas e curvas, ao longo do caminho de evacuação, não influencia significativamente o movimento de pessoas porque à entrada das curvas existentes, ao longo do caminho de evacuação, bem como a velocidade diminuem ao aumentar a densidade, e à saída

sucedo o inverso. A presença de objetos que impeçam o livre movimento dos ocupantes nas vias de evacuação não é aconselhada pela regulamentação sendo a largura efetiva de um caminho de evacuação calculada também em função da existência dos obstáculos.

Outro aspecto levantado por Coelho (2010) se refere, sem indicar valores, que a existência de rampas nos caminhos de evacuação provoca algumas alterações no movimento, verificando que existe uma pequena mudança na amplitude do passo e que, para rampas pouco inclinadas em movimento descendente. A velocidade tende a aumentar em função do declive até atingir uma velocidade máxima (para aproximadamente 7% de inclinação) e a partir desse ponto a velocidade tende a diminuir.

Em outro modelo, Coelho (2010) apresenta o movimento ao longo das escadas como tendo sua forma semelhante a verificada nos corredores, ou seja, as escadas são conjuntamente com as zonas de transição o elemento do caminho de evacuação que limita o fluxo. Os vãos, com ou sem porta, juntamente com as escadas, são os elementos dos caminhos de comunicação que condicionam normalmente o movimento das pessoas.

Procurar-se obedecer a largura mínima exigida de 500 ou 600mm para passagem de uma fila única de pessoas que deverão procurar o mais rápido possível a zona de segurança que é um local que em regra deve estar separado antecipadamente pelo projetista.

3.8.3 Tempo de Evacuação Admissível

O tempo de evacuação dos ocupantes de um edifício em uma situação de emergência e determinada por dois fatores distintos, sendo as características físicas dos edifícios e dos ocupantes, e o segundo está ligado com o comportamento das pessoas (COELHO, 2010).

Para Coelho (2010), o cálculo do tempo de evacuação em edifícios é o somatório de movimentos distintos até ao local seguro, sendo os dois últimos os que mais influenciam o tempo de evacuação, o movimento em percursos horizontais, como compartimentos e corredores, movimento descendente em rampas, movimento

em vias verticais (escadas) e movimento em pontos de transição (passagem de portas e pontos de convergência e divergência de fluxos).

Assim sendo, podemos demonstrar duas fórmulas diferentes apresentadas por autores, mas que possuem a mesma finalidade, sendo elas:

Coelho (2010):

Tr – Tempo real de evacuação

T – Tempo de percurso dado por um método de cálculo

Ef – Eficiência de evacuação

Então: **$Tr = T \times Ef$** (Eq. 03)

Seito et al. (2008):

T.S. = Tempo de saída em segundos

N = número de pessoas (localizadas no ponto mais desfavorável)

A = largura das saídas (unidade de passagem) em metros

K = constante experimental; 1,3 pessoas por metro por segundo

D = distancia total a percorrer em metros

V = velocidade de deslocamento: 0,6 metros/segundo

Então: **$T.S. = N + D$** (Eq. 04)

$A \times K \quad V$

Assim podemos verificar o resultado teórico no qual determina-se o tempo de saída (segundos) de pessoas localizadas no ponto mais desfavorável ou distante da edificação até a rua (ponto seguro).

Mediante o conteúdo apresentado, não se pode se limitar somente a fórmulas e a teorias, precisamos aprimorar os modelos de sistemas existente no mercado que simulem com mais clareza e precisão os diferentes fatores que influenciam na evacuação de edifícios (COELHO, 2010).

3.9 Simulação Computacional de Evacuação

Na tentativa de determinar a origem de um incêndio, frequentemente se faz necessária a realização de testes e ensaios que permitam determinar o cenário mais provável.

Conforme Seito et al. (2008), salienta que a simulação computacional de evacuação é uma ferramenta importante e muito atual, pelo qual se busca comparar o evento real com a simulação de várias causas e cenários diferentes. Obviamente, a simulação não traz em si todas as respostas sobre o incidente, pois é apenas mais uma ferramenta, mas a sua utilização pelo investigador, em conjunto com o seu conhecimento em engenharia de proteção contra incêndio e do método científico de investigação de incêndio, faz com que possam ser obtidos resultados bem consolidados.

Embora todo o embasamento físico e matemático das leis de conservação que governam a transferência de calor, dinâmica de fluidos e combustão já serem conhecidas há mais de um século, foi apenas recentemente que o modelamento numérico de incêndio começou a ser possível. Foi criada, então, uma nova realidade na área de investigação de incêndio, fazendo com que fosse possível simular situações que poderiam ter realmente ocorrido, em comparação com as evidências físicas encontradas no incêndio real.

3.9.1 Modelo Pathfinder

Coelho (2010) afirma que, o modelo Pathfinder foi desenvolvido no final da década de 90, com o objetivo de determinar o tempo de evacuação de qualquer edifício.

O software Pathfinder foi desenvolvido pela empresa Thunderhead Engineering, baseado em uma interface gráfica para o usuário do software Fire Dynamics Simulator (FDS) e do Smokeview, que são gratuitos. Além disto o Pathfinder permite a importação e exportação de arquivos de outro software muito utilizado como o AutoCAD.

O Pathfinder faz uma análise individual dos ocupantes, mas não incorpora qualquer aspecto comportamental. O movimento dos ocupantes é feito a uma velocidade que depende da densidade dos locais, embora seja considerada toda a área para a sua determinação, mesmo quando os espaços em causa só estão

parcialmente ocupados e a escolha do caminho que percorrem é feita com base no “conhecimento” que têm do edifício.

Uma outra característica do Pathfinder consiste na possibilidade de importar dados, relativos ao edifício, de programas de desenho assistido por computador, fato que tem duas implicações extremamente importantes:

- Representação rigorosa do edifício e de todos os eventuais obstáculos;
- Redução significativa do tempo gasto pelo utilizador para fazer a entrada de dados.

O Pathfinder é um simulador de saída de emergência que inclui uma interface de usuário integrada e de resultados 3D animados, permite produzir gráficos mais realistas do que com outros simuladores, juntamente com modelos de evacuação mais rapidamente. O Pathfinder caracteriza-se por um poderoso mecanismo de simulação com controle flexível sobre população e comportamento para oferecer melhores resultados, conforme imagem 9.

Imagem 9 – Simulação de Movimento Flexível



Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

O software Pathfinder oferece suporte para a importação de arquivos DXF (Drawing Exchange Format) e DWG (Design Web Format) no formato AutoCAD. A ferramenta de extração de piso do Pathfinder possibilita o uso rápido da geometria importada para definir o espaço de ocupação do ocupante para o modelo de

evacuação. Os modelos PyroSim ou Fire Dynamics Simulator (FDS) também podem ser usados para extrair o espaço para caminhar.

O sistema permite a importação no formato GIF (Graphics Interchange Format), JPG (Joint Photographic Gruo) ou PNG (Portable Network Graphics) e usado como plano de fundo para ajudá-lo a desenhar rapidamente seu modelo diretamente sobre a imagem. Na imagem 10 pode-se verificar como essa opção é visualizada no software.

Imagem 10 – Opções de importação robustas

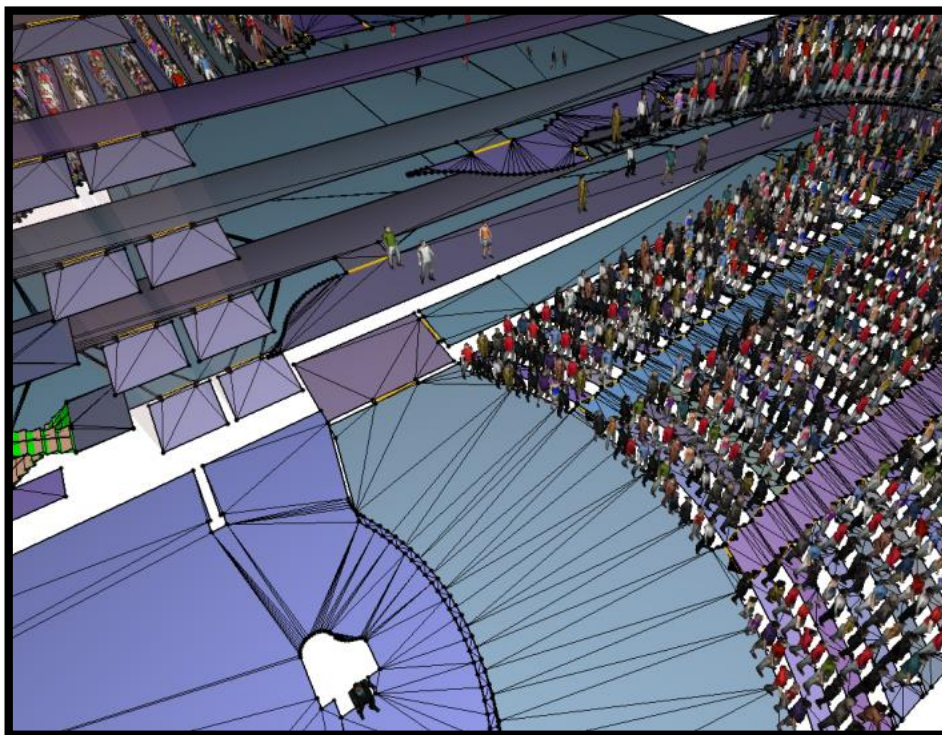


Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

O Pathfinder oferece uma malha 3D triangulada para representar a geometria do modelo. Como resultado, o Pathfinder pode representar com precisão detalhes geométricos e curvas.

A triangulação também facilita o movimento contínuo de pessoas em todo o modelo, em comparação com outros simuladores que subdividem o espaço em células que podem restringir artificialmente o movimento dos ocupantes, conforme a imagem 11.

Imagem 11 – Malha de movimento contínuo

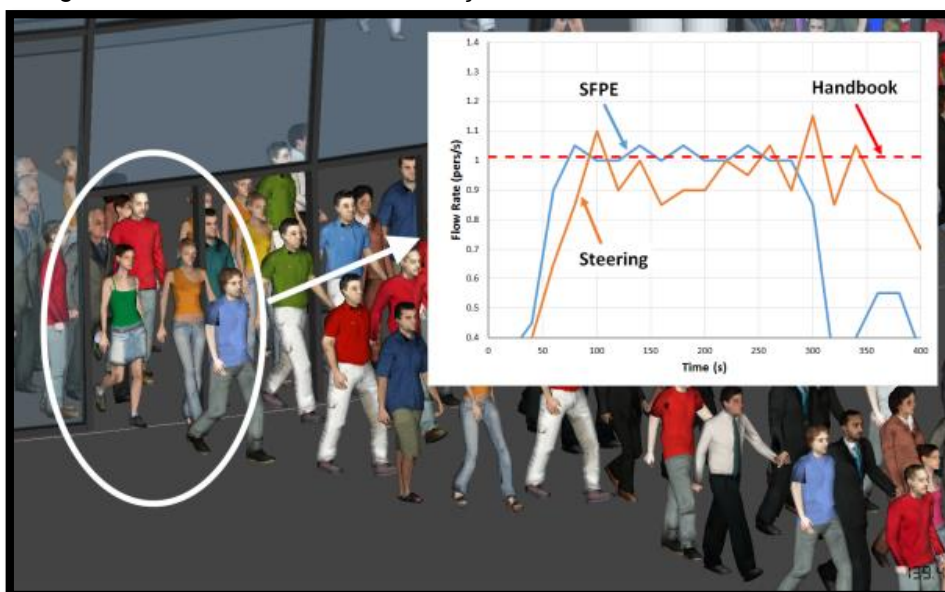


Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

O software Pathfinder suporta dois modos de simulação, sendo no modo de direção, os agentes seguem independentemente para o seu objetivo, enquanto evitam outros ocupantes e obstáculos. As taxas de fluxo da porta não são especificadas, mas resultam da interação dos ocupantes entre si e com os limites. No modo SFPE (Society of Fire Protection Engineers - Sociedade de Engenheiros de Proteção contra Incêndios), os agentes usam comportamentos que seguem as diretrizes do SFPE, com velocidades de deslocamento dependentes da densidade e limites de fluxo para portas. O SFPE não impede que várias pessoas ocupem o mesmo espaço, fornecendo uma linha de base útil para comparação com outros resultados.

Aleatoriamente, o Pathfinder permite que você especifique as taxas de fluxo da porta no modo de direção para obter uma visualização superior em um modelo restrito. Podendo alternar livremente entre os modos na interface do usuário do Pathfinder, conforme imagem 12.

Imagem 12 – Vários modos de simulação

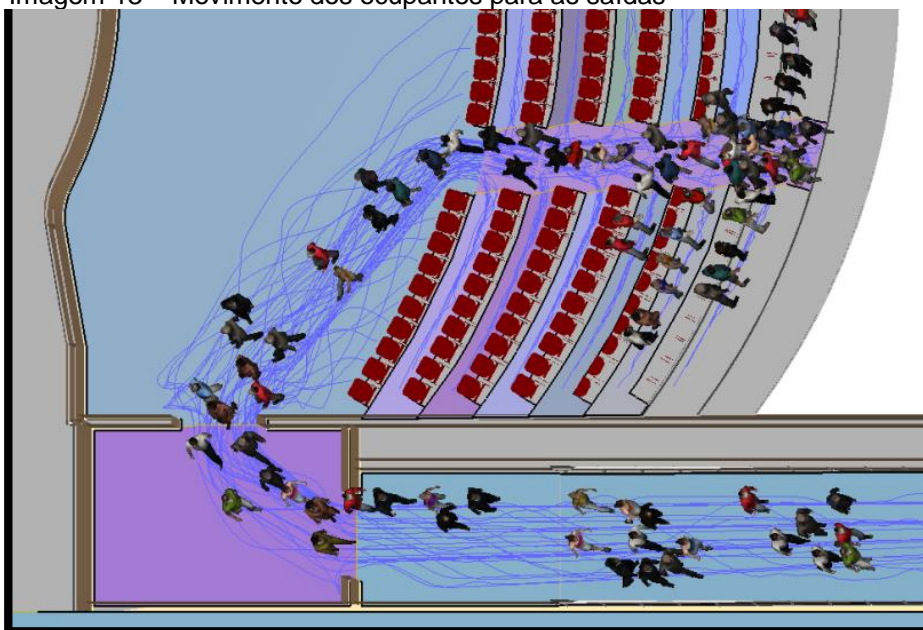


Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

Por exemplo, cada ocupante usa uma combinação de parâmetros para selecionar seu caminho atual para uma saída. Tais parâmetros incluem os tempos de fila para cada porta da sala atual, o tempo para viajar até cada porta da sala atual, o tempo estimado de cada porta até a saída e a distância já percorrida na sala. O ocupante responde dinamicamente à mudança de filas, aberturas / fechamentos de portas e mudanças nas restrições de velocidade da sala (simulando fumaça e detritos). O usuário pode modificar os pesos do parâmetro padrão para alterar o comportamento. Como referência, os ocupantes podem negligenciar as filas e procurar apenas a saída mais próxima.

Como possibilidade, os ocupantes podem receber metas específicas (como ir a um local e esperar) ou saídas específicas. Por exemplo, a maioria dos ocupantes dos andares inferiores pode ser designada para usar escadas, enquanto a maioria dos ocupantes dos andares mais altos pode ser designada para usar elevadores. Na imagem 13 pode-se analisar esse modelo de simulação.

Imagem 13 – Movimento dos ocupantes para as saídas



Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

O Pathfinder inclui modelos humanos que representam uma variedade de culturas, idades, vestuário e atendentes de emergência, possibilitando representar de maneira realista o grupo populacional de interesse. Pode usar em níveis de detalhes dinâmico para exibir os modelos, o Pathfinder pode animar dezenas de milhares de pessoas em tempo real usando uma placa gráfica padrão, conforme imagem 14.

Imagem 14 – Visualização 3D de alta qualidade

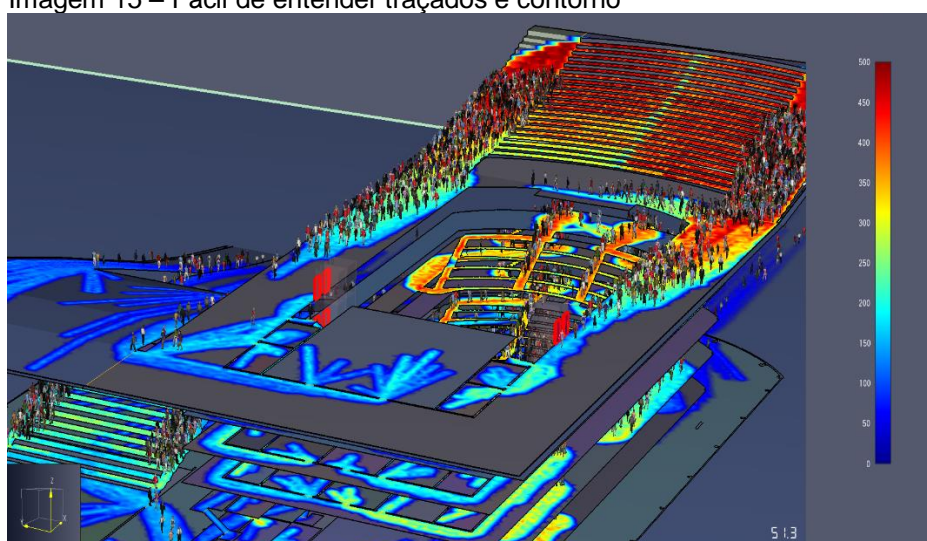


Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

Os gráficos de contorno colore o piso do modelo para que as áreas de ocupação com o maior tempo de viagem sejam rapidamente identificáveis. Isso permite uma avaliação fácil em relação aos critérios de capacidade de manutenção, a fim de garantir um fator de segurança adequado.

Os gráficos disponíveis incluem densidade, uso, nível de serviço e outros. Cada um deles pode ser personalizado, modificando opções como o número de depósitos, intervalos de valores, sombreamento de cores e difusão. Na imagem 15 é possível analisar essas particularidades.

Imagem 15 – Fácil de entender traçados e contorno



Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

Escadas e rampas são criadas usando simples cliques do mouse em pousos. Opcionalmente, escadas e rampas podem ser usadas para representar escadas rolantes e passarelas móveis (inclinadas ou planas).

Cada indivíduo atua como um agente com seu próprio perfil (como tamanho e velocidade de caminhada) e seu próprio comportamento (como saídas, esperas e pontos de passagem) conforme a imagem 16.

Imagem 16 – Escadas, escadas rolantes, passarelas e rampas



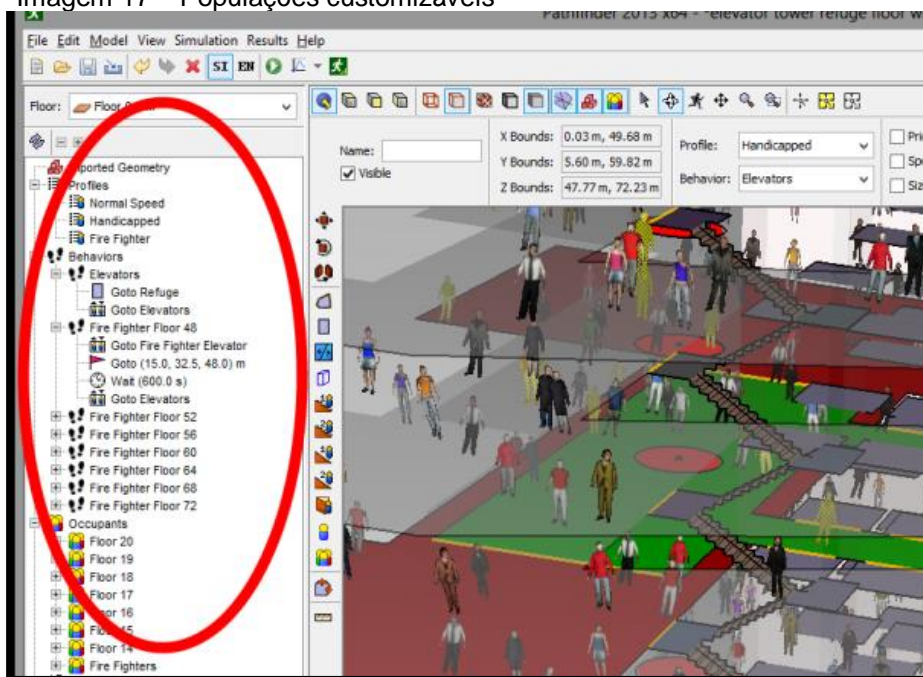
Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

Baseado em suas características, cada pessoa usa seu ambiente local para tomar decisões sobre os caminhos de saída. Por exemplo, as pessoas podem evitar dinamicamente longas filas ou responder ao fechamento de portas. Criando assim, vários perfis e atribuídos a diferentes populações.

Podem ser descritos em cada perfil os parâmetros das distribuições constantes, uniformes, normalmente padrão ou log normal. Por exemplo, perfis representando crianças e adultos podem ser criados e, em seguida, a população pode ser atribuída a 80% de adultos e 20% de crianças.

Da mesma forma, vários comportamentos diferentes podem ser criados e atribuídos a populações. As pessoas podem ter metas de saída diferentes e podem seguir para pontos de referência ou aguardar antes de prosseguir. Podendo assim, modificar os comportamentos para mudar com o tempo, conforme a imagem 17 demonstra essas opções em seu lado esquerdo.

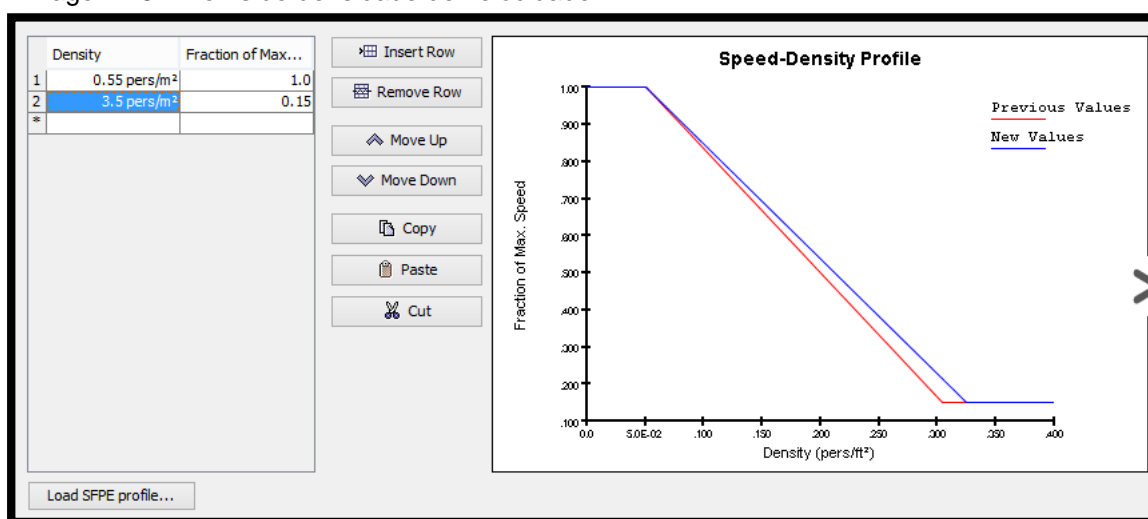
Imagem 17 – Populações customizáveis



Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

Por exemplo, o Pathfinder usa o diagrama fundamental do SFPE para fornecer ao usuário uma relação de velocidade-densidade que tenha ampla aceitação e estimativas conservadoras. Contudo, existem outros diagramas fundamentais propostos. Com os pontos de dados apropriados de um determinado diagrama, um perfil de agente Pathfinder pode ser configurado para modelar qualquer curva de densidade de velocidade, sendo possível verificar na imagem 18.

Imagem 18 – Perfis de densidade de velocidade



Fonte: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

A flexibilidade fornecida pelo Pathfinder pode ser usada para simular situações de fluxo relativamente complexas. Por exemplo, combinando portas que tenham taxas de fluxo especificadas, pontos de rota e tempos de espera, o Pathfinder pode simular filas e continuar através de catracas.

Os socorristas de emergência podem ser orientados a subir uma escada (contra o fluxo de evacuação) para um local especificado e esperar antes de prosseguir para outro local.

Portas e modificadores de velocidade de sala podem ser programados para ativar ou desativar em horários prescritos, simulando um ambiente em mudança durante uma evacuação.

Os ocupantes com necessidades especiais de mobilidade podem ser modelados com cadeiras de rodas e leitos hospitalares para serem evacuados por assistentes designados, demonstrando assim modelos incluem animação completa para resultados realistas.

4 METODOLOGIA

4.1 Apresentação

No ponto de vista de Prodanov e Freitas (2013), pesquisa é um “conjunto de procedimentos, propostas para encontrar a solução para um determinado problema, e aquelas têm por base procedimentos racionais e sistemáticos”.

Ao abordar o tema, apresentando texto de sua obra, Gil (2008), deixa grafado que:

A pesquisa tem um caráter pragmático, é um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos.

Desta forma, a presente pesquisa científica, objetiva-se apresentar diversos conceitos originários de uma revisão de literatura sobre o tema estudado em livros, artigos científicos e revistas especializadas relacionadas à simulação computacional de incêndio, com a finalidade de embasamento teórico.

4.2 Quanto à Finalidade

Visando o alcance do objetivo apresentado, no qual seja o de analisar via computador um incêndio, por meio de um software Pathfinder, o presente trabalho se insere no conceito de pesquisa aplicada, considerando a aplicação prática dos resultados na solução de um problema real.

Por tempestivo, (Gil, 2008) salienta que “a pesquisa aplicada, por sua vez, tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos”. Tendo finalidade prática, buscando resolver um problema concreto.

4.3 Quanto a Forma de Abordagem

Segundo Marconi e Lakatos (2010), a finalidade do método dedutivo é o propósito de explicar o conteúdo das premissas, ou seja, caracteriza-se pela conexão

descendente entre a teoria e a ocorrência dos fenômenos, partindo das leis e teorias para a busca das constatações práticas.

Desse modo, o método orienta o raciocínio do pesquisador que parte da premissa do geral para o particular, sendo forma básica desse estudo.

4.4 Quanto ao Objetivo Geral

Quanto à natureza dos objetivos, a pesquisa será em parte descritiva e em parte explicativa.

Segundo Gil (2008), pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Assumindo, assim, na maioria das vezes, forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

Seguindo a metodologia do autor Gil (2008), pesquisa descritiva tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno, demonstrando os resultados experimentais (simulações) notáveis quanto ao desempenho do sistema de software para evacuação em caso de incêndios.

4.5 Procedimentos Técnicos e Obtenção de Dados

Para a realização do experimento, foi utilizado o próprio tutorial contido no site que disponibiliza o software Pathfinder. Logo, os dados foram coletados de uma simulação disponível para o público em geral que pode ser baixado sendo está a forma adotada.

Ao analisar os resultados apresentados por uma simulação já existente na base de dados do sistema. Foi observado fatores como a densidade de pessoas e as camadas da estrutura no formato 3D, sendo possível ser alterado para melhor entendimento.

5 ESTUDO DE CASO

O presente estudo foi realizado a partir de uma simulação disponível na plataforma Thunderhead Engineering, que contém diversas simulações.

Essa plataforma apresenta um modelo default em que possível verificar as características existente em uma simulação de evacuação a partir de um software denominado Pathfinder.

Sendo identificada as ferramentas de simulação que visam melhor entendimento do sistema e das medidas necessárias para uma evacuação segura e sem prejuízos a vida.

6 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O edifício utilizado se encontra na própria plataforma do software sendo este escolhido por ser uma construção complexa que os criadores decidiram abordar, pois pode ser desde um centro comercial até um residencial. As áreas deste prédio são dívidas igualmente nos ambientes que poderiam ou não ser alteradas em configurações e piso, sabe-se que o experimento considerou que todos os materiais como impedimentos de passagens fossem constantes, assim como a velocidade dos ocupantes são iguais.

Um fator determinante a se destacar é que o software não determina a quantidade de luz que entra no edifício quando a fumaça está presente.

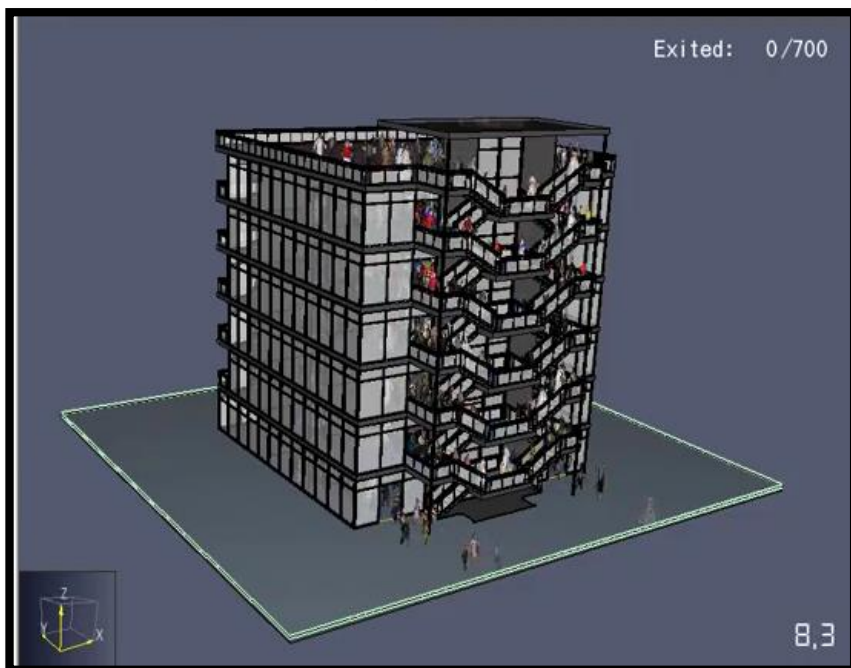
Considerou-se ainda a aplicação do modelo Pathfinder, uma ferramenta computacional que permite determinar o tempo estimado de evacuação do edifício, possibilitando ainda verificar quais os pontos críticos de acumulação de pessoas.

A imagens a seguir, representam como o software se comporta em camadas, podendo mudar a visualização, variando os andares ou espelhando. O cliente pode optar pela mais adequada e os pontos em vermelho correspondem aos pontos que tenham a densidade mais alta. Neste experimento a velocidade foi colocada constante, mas é possível colocar velocidade máxima ou variar a forma a densidade é medida em ocupantes por m².

Conforme imagens abaixo pode-se analisar os tipos de ferramentas disponíveis no software Pathfinder. As imagens são de uma simulação de evacuação de um edifício.

Na imagem 19 apresenta-se o início da simulação de evacuação, contendo 700 pessoas no edifício. A imagem apresenta-se a posição dos ocupantes 8,3 segundos após o início do abandono, neste momento 0 pessoas já saíram.

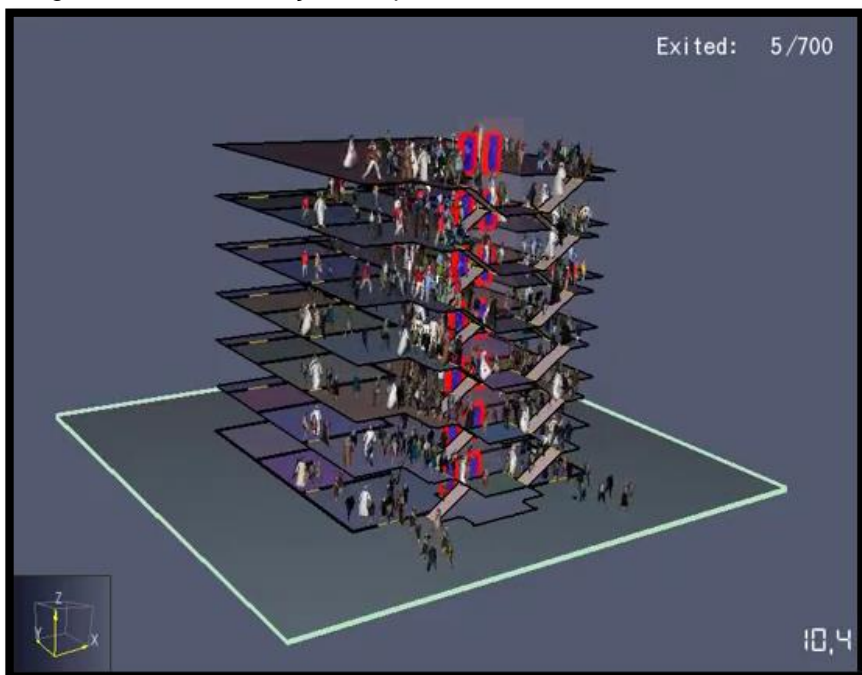
Imagem 19 - Início da evacuação



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUAz1gUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Na imagem 20 apresenta-se a movimentação das pessoas rumo as escadas, com 10,4 segundos após o início do abandono. Neste momento 5/700 pessoas já saíram.

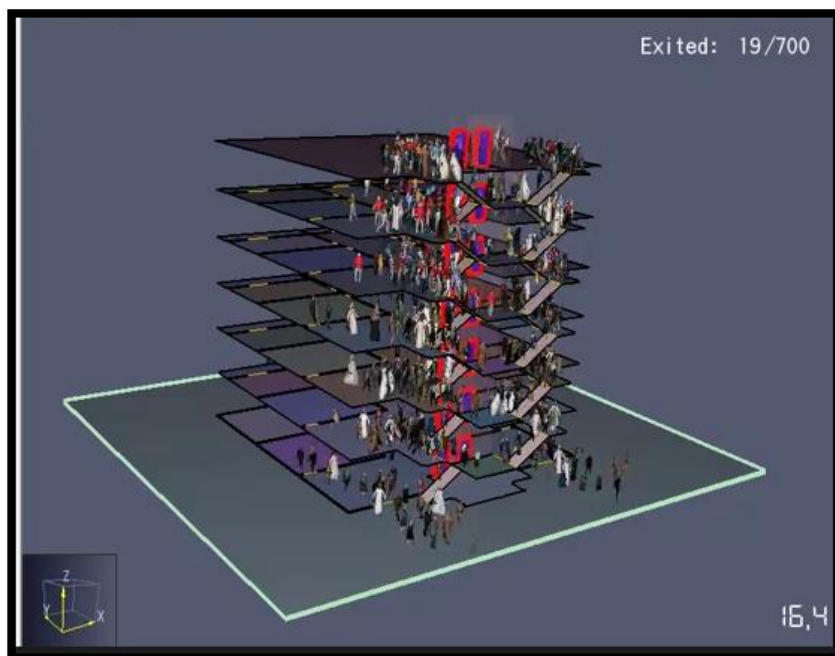
Imagem 20 - Movimentação das pessoas rumo as escadas



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUAz1gUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Na imagem 21 apresenta-se o acúmulo de pessoas no início das escadas, com 16,4 segundos após o início do abandono. Neste momento 19/700 pessoas já saíram.

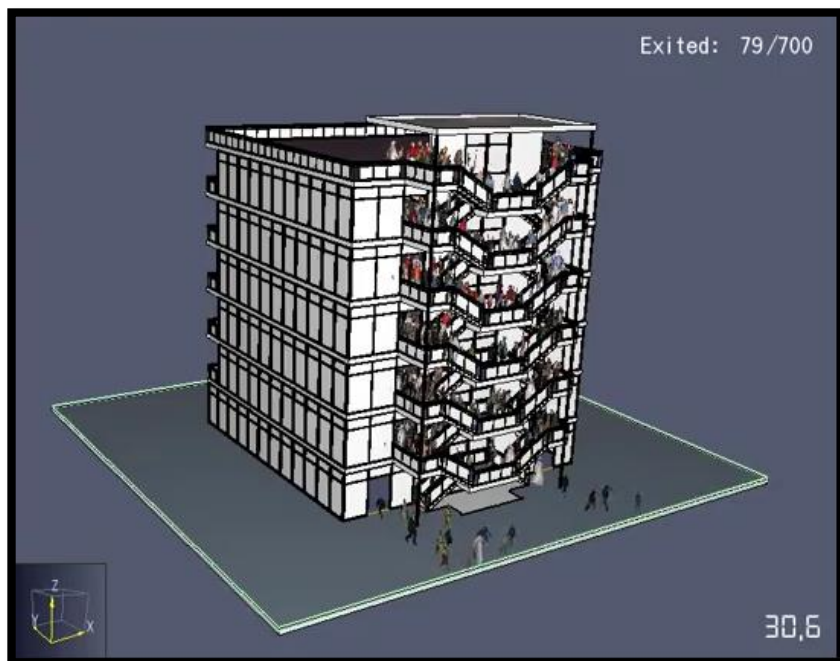
Imagem 21 - Acúmulo de pessoas no início das escadas



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUaz1qUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Na imagem 22 apresenta-se a mudança na forma (cor) de observar o edifício, com 30,6 segundos após o início do abandono. Neste momento 79/700 pessoas já saíram.

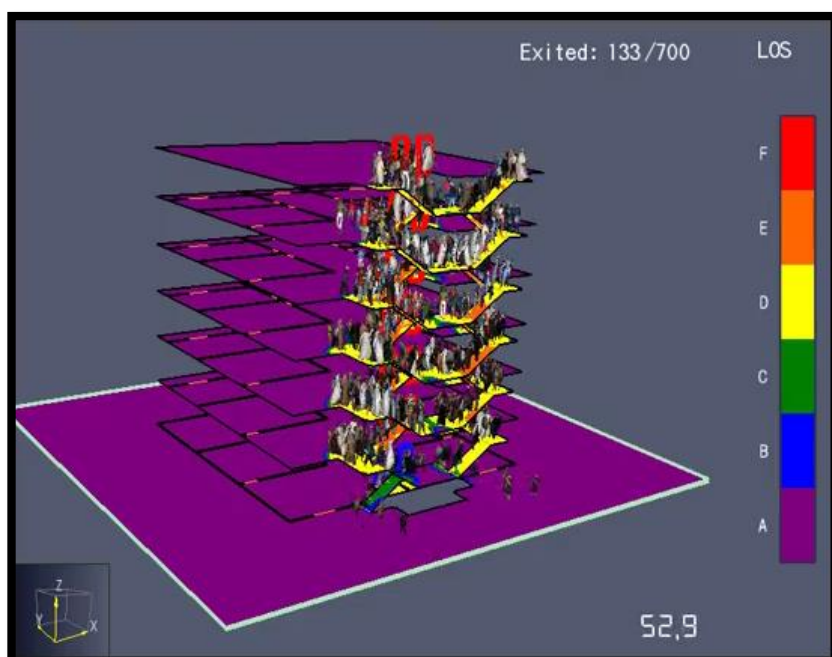
Imagem 22 – Mudança na forma de observar o edifício



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUAz1gUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Na imagem 23 apresenta-se a mudança na forma (cor) de observar o edifício, com 52,9 segundos após o início do abandono. Neste momento 133/700 pessoas já saíram.

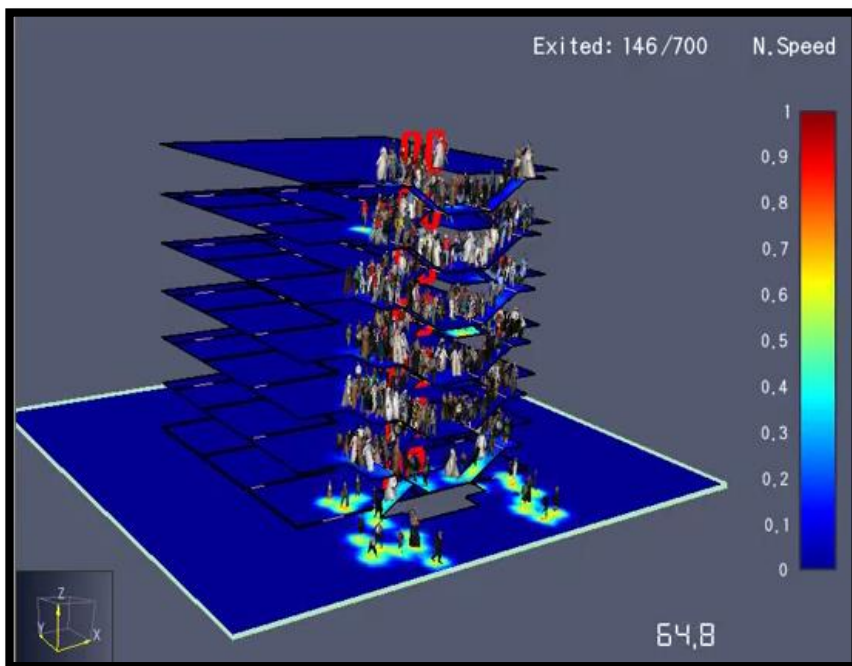
Imagem 23 – Mudança nas características para observar outros aspectos



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUAz1gUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Na imagem 24 apresenta-se o tempo de evacuação e velocidade do edifício, com 64,8 segundos após o início do abandono. Neste momento 146/700 pessoas já saíram.

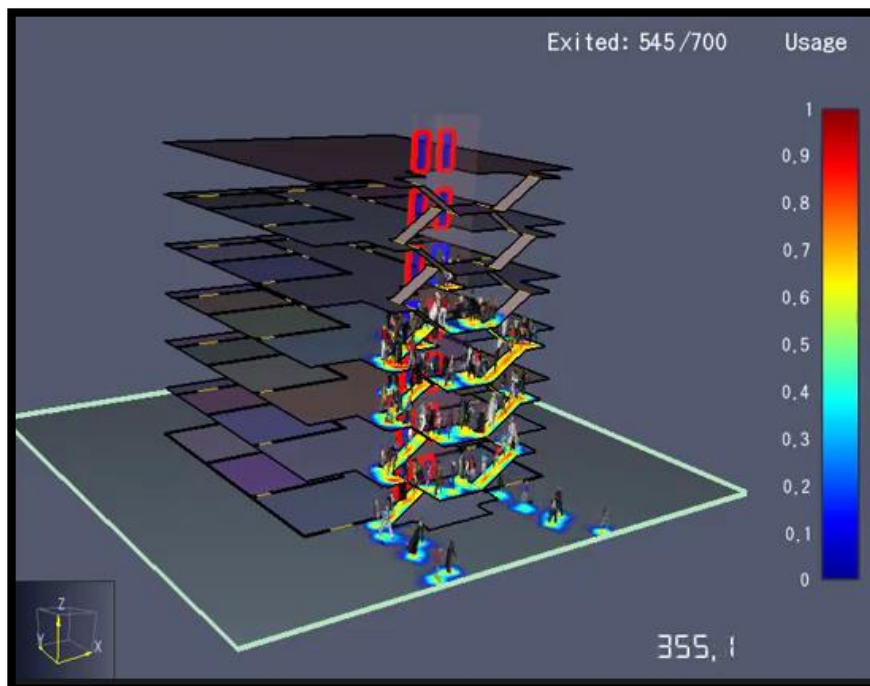
Imagem 24 – Tempo de evacuação e velocidade



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUAz1gUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Na imagem 25 apresenta-se o tempo de evacuação e pontos de evacuação do edifício, com 355,1 segundos após o início do abandono. Neste momento 545/700 pessoas já saíram.

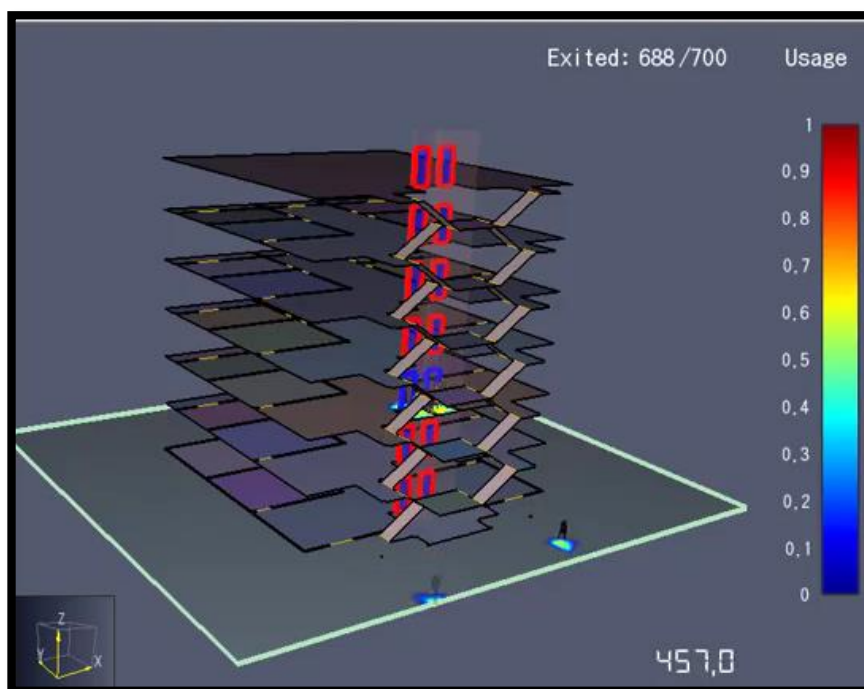
Imagem 25 – Tempo de evacuação e pontos de evacuação



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUaz1gUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Na imagem 26 apresenta-se o tempo de evacuação e o fim da evacuação do edifício, com 457,0 segundos após o início do abandono. Neste momento 688/700 pessoas já saíram.

Imagem 26 – Tempo de evacuação e fim da evacuação



Fonte: https://drive.google.com/file/d/1vO08fQj5Y94E0dl2VrIUaz1gUW25q_jx/view?ts=5d2be394

Conforme verificado na simulação de dados juntamente com o sistema Pathfinder identificou-se que, a evacuação de 700 pessoas com uma área de 3,8 por 7,6 metros, entende-se que a maior dificuldade é no campo dos elevadores que devem ser evitados, pois em regra a maioria deles não são preparados para situações de incêndio, já que a temperatura varia, assim como a própria previsão do engenheiro para essa situação no final da simulação todas as pessoas saíram com 498 segundos.

No caso em que as pessoas optaram pela evacuação por meio de escadas, houve um tempo de 457 segundos, assim, entende-se que este tempo, em uma situação real, provavelmente não sairiam com vidas as últimas pessoas. Logo seriam propostas mais portas para evacuação e também a ampliação das portas existentes.

A densidade máxima do experimento foi de 3 ocupantes por m² nas filas, passarelas, escadas cada um oferecendo um nível de serviço. Quanto menor a densidade utilizada, mais seguro é o edifício e o software utiliza um nível instantâneo, acumulado e o tempo para sair.

Segundo Coelho (2010), relata sobre uma análise realizada com 55 exercícios de simulação de incêndio realizados Van Bogaert em Los Angeles Fire Department, a qual conduziu às seguintes conclusões:

- ao fim de 210 s, em média, pelo menos num corredor ocorre uma densidade de fumo intolerável;
- ao fim de 390 s, em média, verifica-se uma densidade de fumaça intolerável em grande parte dos caminhos de evacuação;
- ao fim de 345 s, em média, verifica-se que a temperatura é intolerável em algumas partes dos caminhos de evacuação.

Assim sendo, entende-se que seria necessário novas saídas ou outras adequações aferidas por um engenheiro especializado, pois de acordo com o estudo de Van Bogaerd acredita-se que 390 s a fuma teria abrangido grande parte do edifício, conseqüentemente acarretando vítimas.

7 CONCLUSÃO

Em vista dos argumentos apresentados, entende-se que por meio do Pathfinder é possível determinar um mapa de risco para o edifício e pontos com maior densidade, bem como definir a densidade máxima e mínima desejada.

Por executar a partir do Windows 7, este software mostra ser de fácil acesso. Além de ser um programa em camadas, é bastante útil, pois para executar não é necessário um sistema muito avançado para se obter visualizações atuais, e principalmente para edifícios que estão em fase de projeto, é interessante que se tenha uma simulação de incêndio para que o engenheiro determine a forma mais adequada de evacuação como as portas utilizadas escadas entre outros.

Com a finalidade de garantir um abandono satisfatório, além das proteções passivas e ativas, faz-se necessário conhecer o comportamento e o movimento das pessoas em situações de incêndio.

Os modelos de evacuação são ferramentas que apresentaram dados muito próximos da realidade, podendo ser utilizados tanto para a avaliação dos projetos de edificações quanto nas simulações de eventos que já ocorreram. Porém, o projetista deve conhecer bem o cenário da edificação, especialmente na população e previsão de comportamento, para escolher qual dos softwares é o mais adequado.

As simulações de abandono poderão fornecer valiosas informações sobre o movimento de pessoas quando da evacuação de uma edificação, verificando-se pontos de estrangulamento e se as saídas estão bem posicionadas, fazendo com que elas sejam efetivamente utilizadas em um caso de emergência. Também podem fornecer dados comparativos com relação às normas prescritivas para uma melhor tomada de decisão. Além disso, podem ser utilizadas para na simulação de eventos que já ocorreram, podendo ser utilizada como ferramenta de investigação e gestão dos sistemas de segurança contra incêndio.

8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se destacar:

- 1) Visualizações de incêndio no formato FDS comunicando com Pathfinder;
- 2) Simulação de evacuação com dados de materiais mais ou menos tóxicos para se ter ideia da variação de tempo que uma pessoa tem em ambientes mais ou menos insalubres;
- 3) Diferença de evacuação em grandes alturas para evacuação em ambientes muito horizontais;
- 4) Estudo de evacuações com condicionantes de portadores de necessidades especiais e demais características que impliquem no atraso da evacuação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13860: **Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419: **Sistema de proteção contra descargas atmosféricas para-raios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5667: **Hidrantes urbanos de incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9441: **Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10897: **Proteção contra incêndio por chuveiro Automático**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10898: **Sistema de iluminação de emergência**. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11715: **Extintores de incêndio com carga d'água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11742: **Porta corta-fogo para saída de emergência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11861: **Mangueira de incêndio – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12693: **Sistemas de proteção por extintores de incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12779: **Mangueiras de incêndio – Inspeção, manutenção e cuidados**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13434: **Sinalização de segurança contra incêndio e pânico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13714: **Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13848: **Acionador manual para utilização em sistemas de detecção e alarme de incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14276: **Programa de brigada de incêndio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

COELHO, Antônio Leça. **Incêndios em Edifícios**. Editora ORION, outubro de 2010.
DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço – Conceitos, Técnicas e Linguagem**. Ed. Zigurate. 2015.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, Ary Gonçalves. **Sistemas de Prevenção Contra Incêndios**. São Paulo: Ed. Interciência LTDA, 1998.

JÚNIOR, Abel Batista Camillo. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios**. 2. Ed. SENAC. São Paulo. 1999.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

NORMA REGULAMENTADORA MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR - 23 - **Proteção Contra Incêndios**. 2009.

PATHFINDER TECHNICAL REFERENCE 2011. Disponível em:
<<http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-documentation/>> Acesso 22 julho. 2019.

PRODANOV, C.C; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª ed. Universidade Feevale – Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2013.

SEITO, Alexandre Itiu. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto editora, 2008.