

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FERNANDO VIANNA BLUME

SEGURANÇA AO INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS:
UMA PROPOSTA DE SISTEMA DE EVACUAÇÃO RÁPIDA

São Leopoldo

2021

Fernando Vianna Blume

**SEGURANÇA AO INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS:
UMA PROPOSTA DE SISTEMA DE EVACUAÇÃO RÁPIDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Longhi Bolina

São Leopoldo

2021

RESUMO

Um processo adequado de evacuação para edificações em um evento de incêndio, é requisito indispensável para proporcionar um escape seguro aos ocupantes. Esse processo deve ser obtido através de meios que possibilitem que o usuário faça sua evacuação em um tempo de escape seguro. Um projeto de edificação que não satisfaz essas premissas, pode comprometer o escape dos usuários, conseqüentemente, levando à um número de mortes significativo, constatados historicamente em alguns destes eventos de incêndio. Devido à essas tragédias passadas, as edificações passaram a deter portas do tipo corta-fogo, para dificultar a propagação do fogo, e os usuários poderem utilizar a escada de emergência para evacuar do prédio, sendo ela uma das únicas alternativas à ser utilizada para o escape. Portanto, este trabalho buscou avaliar um método alternativo mais rápido de evacuação para edificações de múltiplos pavimentos, sendo este um dispositivo de descida rápida semelhante à um escorregador, colocado ao longo da escada de emergência. O trabalho buscou identificar os parâmetros de evacuação e comparar o método rápido com a escada de emergência, avaliando criticamente a possibilidade de utilizar o dispositivo de escape rápido. As frentes de trabalho adotadas foram as definições das características do dispositivo de descida rápida, e a análise de evacuação de um prédio alto utilizando uma ferramenta de simulação computacional denominada *Pathfinder*. Esta simulação levou em conta uma planta baixa proposta e as características definidas do dispositivo de evacuação rápida. Notou-se que o emprego do dispositivo de descida rápida auxiliou no processo de evacuação de forma significativa, reduzindo este evento em pelo menos 15%, neste experimento utilizando a ferramenta de simulação computacional. O resultado trouxe expectativas positivas, que demonstram viabilidade para que sejam feitos experimentos práticos desta proposta de sistema de evacuação rápida, com perspectivas de resultados ainda mais sólidos que a ferramenta de simulação computacional foi capaz de fornecer.

Palavras-chave: incêndios; equipamento; evacuação; edificações; escada de emergência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico da ocorrência de Incêndios pelo mundo no ano de 2010	15
Figura 2 - Edificação Andraus em chamas	18
Figura 3 - Prédio Joelma em chamas	20
Figura 4 - Incêndio nas Lojas Renner	21
Figura 5 - Posicionamento do Elevador de Emergência	25
Figura 6 - Equação 1.....	25
Figura 7 - Escada de emergência	26
Figura 8 - Escape Chute System em operação.....	28
Figura 9 - Detalhes do Escape Chute System	29
Figura 10 - Modelo de Slide Escape	31
Figura 11 - Relação de acontecimentos e seu intervalo de tempo	33
Figura 12 - Equação 2.....	34
Figura 13 - Equação 3.....	35
Figura 14 - Equação 4.....	35
Figura 15 - Equação 5.....	36
Figura 16 - Equação 6.....	36
Figura 17 - Equação 7.....	37
Figura 18 - Equação 8.....	39
Figura 19 - Equação 9.....	39
Figura 20 - Equação 10.....	39
Figura 21 - Equação 11.....	40
Figura 22 - Equação 12.....	42
Figura 23 – Dispositivo de Evacuação	44
Figura 24 - Organograma Metodologia	45
Figura 25 - Planta Baixa Proposta	46
Figura 26 – Ponto de Interesse 1	47
Figura 27 – Ponto de Interesse 2	48
Figura 28 – DDR em Conjunto com a Escada de Emergência	49
Figura 29 – Esboço do DDR	50
Figura 30 – Detalhamento DDR Vista Frontal	51
Figura 30 – Detalhamento DDR em Corte	51
Figura 31 – Posicionamento dos Ocupantes.....	54

Figura 32 – Planta no Pathfinder	56
Figura 33 – Adaptações na Planta Baixa	57
Figura 34 - Relação Evacuação com o Projeto Arquitetônico	58
Figura 35 – Influência das Rotas de Fuga	59
Figura 36 – Encontro entre pavimentos	60
Figura 37 – Usuários Ordenados para o Dispositivo de Escape	61
Figura 38 – Problemas Referentes ao Projeto Arquitetônico Persistem	62
Figura 39 – Menor Número de Evacuados	63
Figura 40 – Escada de Emergência com Pouca Fluidez	64
Figura 41 – Ocupantes Perfilados	65
Figura 42 – Arqueamento Inicial	66
Figura 43 – Rotas de Fuga	67
Figura 44 – Preferência pelo Método Alternativo	68
Figura 45 – Método Alternativo Ganha Tração	69
Figura 46 – Utilização do DDR	70
Figura 47 – Número de Evacuados se Manteve Idêntico	71
Figura 48 – Número Maior de Evacuados	72
Figura 49 – Número de Evacuados Diminui	73
Figura 50 – Evacuação no Terceiro Pavimento	74
Figura 51 – Evacuação no Segundo Pavimento	75
Figura 52 – Evacuação no Primeiro Pavimento	76
Figura 53 – Análise Segunda Evacuação do Terceiro Pavimento	77
Figura 54 – Análise Segunda Evacuação do Segundo Pavimento	78
Figura 55 – Análise Segunda Evacuação do Primeiro Pavimento	79
Figura 56 – Primeiro Comparativo entre os Métodos de Evacuação	81
Figura 57 – Segundo Comparativo entre os Métodos	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico de Incêndios no Brasil	16
Tabela 2 - Tempo de pré Movimento	35
Tabela 3 - Parâmetros de Velocidade para Deslocamento em Escadas	36
Tabela 4 - Camada Limite	37
Tabela 5– Parâmetros Utilizados na Simulação do <i>Pathfinder</i>	55
Tabela 6 – Resumo Resultados	80
Tabela 7 – Resumo resultados Segunda Simulação	82

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ISB	Instituto Sprinkler Brasil
TDES	Tempo de Escape Seguro
IBGE	Índice Brasileiro de Geografia e Estatística
PMR	Pessoa com Mobilidade Reduzida
QOBM	Quadro de Oficiais Bombeiros Militares
FEMA	Federal Emergency Management Agency
DDR	Dispositivo de Descida Rápida
CBMGO	Corpo de Bombeiros Militares do Goiás
CTIF	Associação Internacional de incêndios e resgates
CBMRS	Corpo de Bombeiros Militares do Rio Grande do Sul
SFPE	Society of Fire Protection Engineers
CAD	Computer-Aided Design
NE	Não enclausurada
EP	Enclausurada e protegida
PF	Prova de fumaça
PFP	Prova de fumaça e pressurizada

LISTA DE SÍMBOLOS

t_d	Intervalo de tempo desde o primeiro instante referente ao início da ignição até detecção
t_a	Tempo de detecção da ignição até o que o sistema de alarme seja iniciado
t_p	Tempo do pré-movimento
t_e	Tempo de evacuação
D_{pop}	Densidade populacional em pisos nivelados
v_e	Velocidade de deslocamento nas escadas
G_n	Massa total de n usuários
n	Número de usuários no equipamento ou sobre alguma parte dele
m	Média de massa de um usuário dentro de uma determinada faixa etária
σ	Desvio padrão da faixa etária
L_{pr}	Longitude da projeção sobre o plano horizontal do elemento
C_{dyn}	Coefficiente que representa a carga ocasionada pelo movimento dos usuários
$F_{tot,v}$	Carga vertical total dos usuários sobre o equipamento
g	Aceleração da gravidade
$F_{tot,h}$	Carga horizontal dos usuários
v	Velocidade
d	Densidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA.....	12
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.3 PROBLEMA	12
1.4 OBJETIVO GERAL	13
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.6 JUSTIFICATIVA	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 HISTÓRICO DE INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES.....	15
2.2 PRINCIPAIS CAUSAS DE INCÊNDIOS.....	16
2.3 INCÊNDIOS RELEVANTES.....	17
2.3.1 Incêndios no Brasil	17
2.3.1.1 Edifício Andraus	18
2.3.1.2 Edifício Joelma	19
2.3.1.3 Incêndio Lojas Renner.....	20
2.4 COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO	21
2.5 MÉTODOS DE EVACUAÇÃO EM EDIFICAÇÕES	23
2.5.1 Elevadores	23
2.5.2 Escada de emergência	25
2.6 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE EVACUAÇÃO DE PRÉDIOS.....	28
2.6.1 <i>Escape Chute System</i>	28
2.6.2 <i>Evacuation slide</i>	30
2.7 TEMPO DISPONÍVEL PARA ESCAPE SEGURO (TDES).....	32
2.8 NORMA PARA ESCORREGADORES.....	37
2.9 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PELO <i>PATHFINDER</i>	41
2.9.1 Modos de Simulação	41
2.9.2 Representação do modelo	43
2.9.3 Definição da velocidade de escorregamento	44
3 METODOLOGIA	45
3.1 MODELO DE PLANTA BAIXA	45
3.2 PONTOS DE LEITURA	47
3.3 CARACTERÍSTICAS DO DISPOSITIVO DE DESCIDA RÁPIDA	48

3.3.1 Definição das dimensões	50
3.3.2 Definição do Material	52
3.4 FERRAMENTA COMPUTACIONAL ADOTADA	53
3.5 MODELO DE CÁLCULO DA SIMULAÇÃO	53
3.6 CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO NO <i>PATHFINDER</i>	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1 PRIMEIRA SIMULAÇÃO DE EVACUAÇÃO USANDO A ESCADA DE EMERGÊNCIA	59
4.1 Segunda Simulação de Evacuação Usando Escada de Emergência	62
4.2 SIMULAÇÃO DE EVACUAÇÃO PELO MÉTODO ALTERNATIVO	66
4.2 Segunda Simulação pelo Método Alternativo	71
4.3 PRIMEIRA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO POR PAVIMENTO	74
4.3 Segunda Análise de Evacuação por Pavimento	77
4.4 SÍNTESE DE RESULTADOS	81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

Para um processo de evacuação seguro, é importante que as pessoas conheçam as rotas de fuga.

Devido à isso, é importante que o processo de evacuação seja pensado desde a concepção do projeto, pois sua arquitetura influenciará nestes momentos de estresse, além de uma boa sinalização ser indispensável. (GOUVEIA, 2002).

As alternativas de evacuação costumeiramente encontradas se baseiam na escada de emergência e elevadores de emergência, como alternativas à estas, foram desenvolvidas opções de escape rápido como o *evacuation slide* e o *escape chute system*.

No Brasil, os primeiros alertas sobre este descaso com os dispositivos de segurança contra o incêndio, aconteceram em meados de 1970. Nesta época, ocorreram alguns desastres em edificações que causaram dezenas de mortes, apesar das causas dos incêndios terem sido de motivos distintos, o agravante para as situações foi o mesmo, a inexistência de portas do tipo corta-fogo.

Apesar das medidas adotadas ao longo dos anos visando a segurança dos habitantes nas edificações, este trabalho busca fazer um alerta através da exposição de que ainda há situações em que o plano de evacuação de pessoas se demonstra problemático. Existem questões que precisam ser esclarecidas pois podem sujeitar os habitantes de edificações de múltiplos pavimentos à problemas em sua evacuação rápida quando for necessário, mesmo estando estas edificações de acordo com a ABNT NBR 9077/2001 – Saídas de Emergência em edifícios.

1.1 TEMA

O comportamento humano em situações de estresse, como o incêndio, é difícil de se precisar, segundo Bayat (2018), nestes momentos de ansiedade, as pessoas são levadas a replicar o que outras pessoas estão fazendo.

Segundo Cordeiro (2016), os ocupantes do prédio que não conhecem com destreza o ambiente, costumeiramente optam por fazer seu escape pelo mesmo trajeto que utilizaram para entrar no prédio.

Além dessas questões, é necessário avaliar as alternativas de evacuação disponíveis, que devem obedecer à um tempo de escape seguro ao usuário. (GOUVEIA, 2002).

Desta forma, e relacionando esses argumentos aos acontecimentos de algumas décadas atrás, quando não foi dada a devida atenção para questões de segurança, sobretudo aos do perigo de incêndio e as alternativas de evacuação das pessoas que habitam a edificação. É de interesse deste estudo abordar essas condições de evacuação de edificações de múltiplos pavimentos, de forma a fazer uma análise crítica dos dispositivos de escape disponíveis atualmente, e propor uma alternativa que venha a agregar neste processo de evacuação.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A análise do tema se deu apenas através de dados teóricos, não foram realizados experimentos práticos, e para a avaliação da alternativa proposta, foi utilizado um *software* de simulação computacional.

A pesquisa foca no cenário nacional, sendo abordadas as normas utilizadas no Brasil, entretanto, o estudo pode ser considerado para outros países também, devido ao fato de que as alternativas e evacuação de edifícios de múltiplos pavimentos se apresentam semelhantes.

1.3 PROBLEMA

Com base nas atuais alternativas que os usuários de edifícios de múltiplos pavimentos possuem para uma eventual situação de incêndio, é questionável que os mesmos consigam exercer essa evacuação em um TDES (Tempo de escape

seguro). Essa preocupação se dá à medida que nem todas as pessoas possuem as mesmas condições físicas para percorrerem um longo trecho em escada, sendo assim, é uma questão que necessita ser abordada.

Desta maneira, é visto como necessário estudos que tratem este tema, ainda que nos últimos anos não tenham ocorridos eventos como os da década de 70 no Brasil, acredita-se que é importante que sejam pensadas novas alternativas de evacuação com o intuito de acompanhar o processo de verticalização das cidades.

Essas alternativas devem ser independentes da rede elétrica do prédio, de modo que não sofram interrupções caso a rede seja afetada durante o evento de incêndio. As mesmas não precisam necessariamente substituir os elementos de evacuação que possuímos atualmente, mas que agreguem em eficiência para que todos os ocupantes possam fazer um processo de escape seguro.

1.4 OBJETIVO GERAL

Avaliar um método alternativo de evacuação para edificações de múltiplos pavimentos, sendo este um equipamento de descida rápida semelhante à um escorregador, sendo colocado ao longo da escada de emergência.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar parâmetros de evacuação em edificações que estejam sujeitas a eventos de incêndio, e fazer uma simulação computacional, comparar um método de escape rápido com a escada de emergência, e avaliar criticamente a possibilidade de utilizar o escape rápido.

1.6 JUSTIFICATIVA

Segundo a Associação Internacional de Incêndios e Resgates (CTIF) (BRUSHLINSKY, 2017), cerca de 18400 pessoas vieram à óbito em 2017 decorrente de eventos de incêndio, sendo o Brasil o 3º colocado em número de incêndios nesta pesquisa que abrangeu 31 países. (BRASIL, 2015).

Constata-se ao analisar o histórico de incêndios em edificações, que foram tomadas algumas medidas aspirando a segurança dos usuários das edificações ao

longo dos anos. Entretanto, chama atenção que essas providências somente foram tomadas após eventos que marcaram negativamente a história mundial. Um dado importante de salientar é que elas não foram atualizadas na mesma proporção que a construção civil se moldou, com a verticalização urbana, sendo a última atualização realizada neste âmbito com a ABNT NBR 9077/2001.

Deste modo, no Brasil, os ocupantes de prédios atualmente possuem à sua disposição para um processo de evacuação, a mesma tecnologia e opções de escape que possuíam há cerca de 20 anos atrás. Esse fato demonstra que não foram tomadas medidas perceptíveis buscando otimizar o processo de evacuação desde então pela NBR 9077.

Entretanto, no exterior, foram desenvolvidas algumas alternativas de sistemas com o objetivo de tornar o escape de edificações mais rápido, como *evacuation slide* e o *escape chute system*.

O primeiro é baseado na alternativa que as companhias aéreas encontraram para fazer o desembarque de seus passageiros em condições anormais, quando não é possível a utilização de escadas ou pontes de embarque. No entanto, esse dispositivo somente pode ser utilizado para edifícios de até quatro pavimentos, o que impossibilita seu uso para prédios de múltiplos pavimentos. (Slide to Safety, 2021).

O *Escape chute system* por sua vez, permite a evacuação de pessoas para alturas de até 80 metros, pois se trata de um dispositivo de escape vertical. (GMBH, 2021). Entretanto, este equipamento possibilita um tráfego de aproximadamente apenas quatro à cinco pessoas por minuto. (GMBH, 2021).

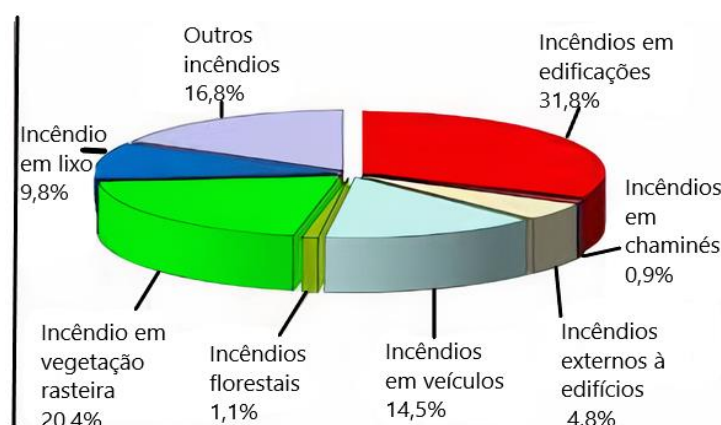
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica foi elaborada de forma à proporcionar dados para proposição da metodologia e interpretação dos resultados. Desta forma, são abordados conceitos sobre o comportamento humano em situações de incêndio, evacuação de pessoas com mobilidade reduzida, métodos comuns de evacuação de edificações, e os considerados alternativos, além do tempo de evacuação para um escape seguro. Ainda, um histórico sobre incêndios e os mais relevantes já acontecidos, de forma a trazer uma ambientação ao assunto e acompanhar o desenvolvimento de ações ao longo do tempo, buscando melhorar o processo de evacuação.

2.1 HISTÓRICO DE INCÊNDIOS EM EDIFICAÇÕES

De acordo com o (FEMA, 2021), um incêndio estrutural nada mais é que um evento de incêndio que envolva elementos estruturais de edifícios residenciais, comerciais ou industriais. Este tipo de incêndio ocorre com certa frequência em todo o mundo, e o processo de evacuação destas edificações também é realizado da mesma maneira nos diversos continentes, limitados à escada de emergência e ao elevador de emergência em sua maioria. Um estudo realizado em 2010 analisando trinta e dois países, contemplando América do Norte, Europa, Ásia e Oceania (IAFRS/CTIF,2012.p.35, apud FLAMMAE, 2016), levantou a informação de que, um terço de todas as ocorrências analisadas puderam ser classificadas como incêndio estrutural. A Figura 1 apresenta os dados deste estudo.

Figura 1 – Gráfico da Ocorrência de Incêndios pelo Mundo no ano de 2010



Fonte: Adaptada CTIF, 2012

Desde 2012, o Instituto Sprinkler Brasil (ISB) passou a monitorar diariamente os chamados incêndios estruturais no Brasil. São incêndios ocorridos em bibliotecas, hospitais, hotéis, instalações industriais e comerciais, além de prédios residenciais. Este estudo mostra o número de incêndios apurados a cada ano, útil para trazer clareza quanto ao cenário a nível federal e estimar a frequência de uso à qual os métodos de evacuação estão submetidos no Brasil. Em 2020, foram contabilizadas 1244 ocorrências de incêndios estruturais no Brasil, sendo estes anunciados pela imprensa brasileira em seus meios de comunicação. O instituto estima ainda, que este número representa cerca de apenas 3% da quantidade real de ocorrências. Assumindo este percentual como realidade, o Brasil teria tido 41466 possíveis incêndios estruturais no país, o. A Tabela 1 apresenta um histórico de incêndios apurados pelo ISB desde 2012.

Tabela 1 - Histórico de Incêndios no Brasil

Ocupação	2012	2013	2014	2015	2017	2018	2019	2020	Total
Comércio	184	342	342	373	200	190	215	255	2101
Depósito	200	216	259	194	83	114	187	220	1473
Educacional	33	101	103	124	44	27	43	38	3574
Indústria	175	185	246	225	137	85	112	192	1357
Local de reunião Pública	23	91	151	172	74	17	119	153	800
Edificação e Empresa Pública	46	46	45	60	30	47	24	30	2157
Serviço de Hospedagem	10	13	12	18	25	10	18	20	126
Serviço de Saúde e Institucional	28	28	56	60	22	17	36	96	343
Serviço Profissional	56	73	61	123	59	24	97	114	607
Outros	-	-	-	-	4	0	15	126	145
Total	755	1095	1275	1349	678	531	866	1244	7793

Fonte adaptada: ISB (2021)

2.2 PRINCIPAIS CAUSAS DE INCÊNDIOS

Os incêndios em edificações podem ser ocasionados de várias maneiras: criminosas, acidentais ou causas fortuitas. De acordo com DEL CARLO (2008), alguns dos motivos mais comuns destes eventos estão relacionados a vazamentos de gás de botijões, curto circuitos em instalações elétricas por excesso de carga, esquecimento de ferro de passar roupa e panelas em fogões, em instalações industriais e prédios residenciais.

Dependendo da maneira em que se dão os incêndios estruturais, a configuração estrutural da edificação tende a se modificar, o que pode influenciar nas soluções de evacuação, como no evento do *World Trade Center*, onde a escada de emergência teve seu percurso interrompido.

Segundo Melo (2020) - presidente da Associação Brasileira de Sprinklers - um dos problemas centrais de incêndios estruturais é a falta de manutenção preventiva em prédios mais antigos. Ele cita o tema da situação de alguns hospitais brasileiros que possuem estruturas antigas e seus sistemas elétricos não acompanham a modernização de seus equipamentos, resultando em sobrecargas e consequentemente incêndios.

A respeito de incêndios em edificações residenciais, um estudo realizado no município de Recife (CORRÊA et al., 2016), no ano de 2011, pode-se constatar que 34% deste incêndios ocorreram a partir de chama primária na cozinha, decorrente principalmente de vazamento de gás e erro ao manuseio fogão/forno e seus agregados, 25% advindos de quartos ou acomodação comunitários relacionados a instalações elétricas e uso de equipamentos eletroeletrônicos, 3,5% provenientes da sala e área de convivência, 2,5% na área de serviço, 2% no terraço e varanda, 30% sendo de eventos que não foi possível determinar sua origem, e por fim, 3% originados em outros espaços da unidade habitacional.

Desta forma, pode-se constatar que os incêndios causados de maneira acidental e fortuitas, ocorrem principalmente pelo descuido na hora de manipular o fogo, problemas em instalações elétricas. Os problemas elétricos vão desde sua instalação até sua falta de manutenção preventiva, provocada por desconhecimento de normas técnicas e legislação.

2.3 INCÊNDIOS RELEVANTES

Neste tópico, foram abordados alguns dos incêndios considerados mais relevantes deste último século.

2.3.1 Incêndios no Brasil

Esta subdivisão trata exclusivamente dos eventos que ocorreram no Brasil.

2.3.1.1 Edifício Andraus

São Paulo é a cidade mais populosa do Brasil, e conseqüentemente, desde 2002 é a campeã no número de edificações Galileu (2002, edição nº 127).

Voltando mais alguns anos atrás, mais precisamente em 24 de fevereiro de 1972, São Paulo presenciou uma das maiores tragédias em edifícios da história brasileira, o incêndio do prédio Andraus. A edificação estava localizada na rua Pedro Américo no número 32, esta edificação pertencia às casas Pirani, uma loja de departamentos que teve sua fundação em 1952 e encerramento de atividades justamente no ano de 1972, além desta loja, as empresas Petrobrás e a Companhia Adriática de Seguros também ocupavam o edifício. (ALVES, 2005)

Logo após o início do incêndio, o prédio foi rapidamente tomado pelo fogo, e os dispositivos de saída de emergência da edificação não supriram as necessidades para tal evento. Um agravante para o ocorrido foi o fato de que na época as portas não se classificavam do tipo corta-fogo e, portanto, a escada de emergência se tornou um local intransitável, levando aos habitantes procurarem a cobertura do prédio para salvarem suas vidas. (ALVES, 2005).

Figura 2 - Edificação Andraus em Chamas



Fonte: Memoriaglobo (2005)

Após o evento, a edificação foi remodelada, fortalecendo o sistema de segurança contra incêndio do prédio. A remodelação passou por um parapeito de concreto, evitando o transpasse de fogo de um andar ao outro, portas corta-fogo e uma escada externa, além de um treinamento regular de instrução para situações de incêndio.

2.3.1.2 Edifício Joelma

Aproximadamente dois anos depois, também na cidade de São Paulo, ocorreu mais uma tragédia e de maior proporção, considerando o número de vítimas fatais (187 pessoas). O edifício Joelma ficava localizado na avenida Nove de Julho, nº 225, mais precisamente no centro da cidade, possuindo 25 pavimentos (CBMGO, 2016).

Em busca de salvar suas vidas, os ocupantes do prédio tomaram as mais diversas atitudes, desde subir até a cobertura do prédio, muito provavelmente recordados pelo que aconteceu no edifício Andraus em busca de ser salvo por um helicóptero, porém, o Joelma não possuía heliponto, portanto, grande parte dos ocupantes se salvou ao abrigar-se sob as telhas de cimento amianto no telhado, os demais faleceram devido ao calor e fumaça gerada pelo incêndio. Algumas pessoas salvaram suas vidas permanecendo em seus andares e banhando-se com mangueiras do corpo de Bombeiros. Houve ainda, pessoas que entraram em desespero devido toda à situação e acabaram atirando-se do edifício, totalizando cerca de 40 mortes ocasionadas pela queda. Parte dos ocupantes do prédio optaram por utilizar os elevadores, prática que não é recomendada atualmente. Devido a boa resposta da estrutura quanto ao fogo, o sistema elétrico demorou a ser afetado, permitindo tal movimento, salvando cerca de 422 pessoas. O restante decidiu se dirigir ao banheiro e por lá conseguiram ser resgatados pelos bombeiros através de escadas.(CBMGO, 2016)

Alguns agravantes para o incêndio no Joelma foram a falta de um sistema de alarme e alerta de incêndio que retardou a ação dos ocupantes para buscarem sua sobrevivência, aumentando o tempo de escape seguro. O prédio também não possuía uma escada de emergência apropriada, apenas uma escada comum.

Figura 3 - Prédio Joelma em Chamas



Fonte: Globo (2019)

2.3.1.3 Incêndio Lojas Renner

Em 27 de abril de 1976 ocorreu um incêndio em um edifício comercial no centro de Porto Alegre. Ele causou o falecimento de 41 pessoas, deixando mais cerca de 60 feridas, de um total de aproximadamente 350 pessoas. No local, funcionava a varejista Lojas Renner, que detinha um prédio de 7 andares constituídos de concreto armado e divisórias internas de materiais combustíveis como aglomerado e madeira. Ao que foi constatado na época, o incêndio teria tido início no terceiro andar, na seção de tintas e onde se encontravam alguns eletrodomésticos também, e rapidamente acabou por tomar o restante da edificação.

A tentativa de resgate de pessoas aconteceu das mais variadas formas possíveis. Algumas foram salvas pelos bombeiros que utilizaram as escadas mecânicas (Magirus). Foi tentado utilizar helicópteros, mas eles não conseguiram se aproximar, pois o ar deslocado pelas hélices servia de combustível às chamas. Os elevadores, que no episódio prédio Joelma serviram para salvar a vida, viraram pó. As escadas existentes, que eram bastante estreitas segundo registros, foram rapidamente tomadas por fogo e fumaça, tornando inviável o escape desses cidadãos. Após o acontecimento, Porto Alegre tomou medidas para evitar novos incêndios, como normas de proteção ao incêndio e a verificação obrigatória para 17 validação dos termos foram adotadas, além do código para instalações prediais de água e esgoto. (BUBLITZ, 2021)

Figura 4 - Incêndio nas Lojas Renner



Fonte: Carlinhos Rodrigues (1976)

2.4 COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO

O comportamento humano em situações de estresse, como o incêndio, é difícil de se precisar, segundo Bayat (2018), nestes momentos de ansiedade, as pessoas são levadas a replicar o que outras pessoas estão fazendo.

Ainda, segundo Bayat (2018), pessoas em momentos de pânico tem sua capacidade de decisão própria alterada, levando a seguirem o que outras pessoas estão fazendo, o que podemos relacionar ao comportamento que o filósofo Nietzsche classificava como comportamento de manada, em que as pessoas em grupo tendem a replicar ações que algum elemento do grupo esteja praticando, ainda que estas atitudes sejam consideradas irracionais. Entretanto, Bayat (2018) afirma que o pânico pode causar essa alteração em nosso comportamento, no entanto, em situações de incêndio, raramente são tomadas decisões irracionais, e portanto, o pânico seria algo atípico em um evento de incêndio. Em virtude desta contestação, deveríamos utilizar as palavras ansiedade, estresse, ou medo ao invés de pânico ao nos referir às emoções sentidas por quem esteja exposto à um evento de incêndio. (LUDOVICO, 2015).

Prado (2013), ainda sugere que em alguns casos, podem ocorrer fenômenos que contribuam para que a pessoa em questão passe a tomar atitudes de um comportamento não adaptivo. Segundo ONO e VALENTIN (2006), o comportamento não adaptativo é definido por determinadas ações tomadas por um indivíduo, que

acabam por dificultar a evacuação do prédio e conseqüentemente o combate ao incêndio.

O comportamento não adaptivo é intensificado caso não sejam consideradas algumas medidas de segurança contra o incêndio, sendo elas:

- existência da sinalização de segurança e iluminação de emergência;
- detecção do incêndio em seu estágio inicial, contemplando a existência de sistemas de alarme;
- sistema de controle de fumaça;
- lugares de refúgio e sistema de comunicação para com o prédio;
- noção dos caminhos de evacuação.

Segundo Cordeiro (2016), ao realizar um estudo através de entrevistas, reportou que as pessoas tendem a utilizar como rota de fuga, o mesmo caminho que fizeram ao entrar no prédio, e que apenas 1/3 dos entrevistados abandonaria a edificação no mesmo momento em que escutassem o alarme de incêndio.

Na mesma diretriz deste estudo, Almeida *et al.* (2013) já haviam observado dois tipos de comportamento, sendo o primeiro este reportado por Cordeiro (2016), de que as pessoas utilizam o mesmo caminho que fizeram para entrar no prédio como rota de fuga, o que Bayat (2018) classificaria como a “lei do menor esforço”, e o segundo o que denominaram de arqueamento.

O arqueamento seria o acontecimento em que ao se aproximarem da porta de saída, as pessoas gerariam uma aglomeração em um formato de arco, que acabaria por dificultar a evacuação do restante dos ocupantes do prédio.

Bayat (2018) também reconheceu que inclusive as características dos ocupantes da edificação, como idade, escolaridade, região e gênero terão influência no comportamento humano em situações de incêndio. Proulx (2001), já apresentava anos antes em seu estudo, alguns destes fatores, como:

- características dos ocupantes, como experiências em situações semelhantes, mobilidade e idade;
- características da edificação, como fatores de segurança empregados e a própria disposição arquitetônica;
- percepção humana quanto às características do fogo, quanto ao seu odor e potencial de risco.

2.5 MÉTODOS DE EVACUAÇÃO EM EDIFICAÇÕES

Neste tópico serão abordados os métodos de evacuação mais utilizados nas edificações.

2.5.1 Elevadores

Em momentos de estresse, como um evento de incêndio em um prédio, que esteja sendo ocupado, é uma atividade comum dos habitantes optarem pelo elevador como uma rota de fuga. (REIS, 2014).

De fato, o elevador mesmo possui o método de evacuação mais rápido entre as opções convencionais disponíveis até o momento, principalmente se a pessoa em questão estiver no momento do incidente em uma posição consideravelmente alta do prédio em questão.

Entretanto, segundo a OTIS (2020), é necessário evitar os elevadores convencionais em situações como esta, a recomendação se dá pelo fato de que a energia elétrica do edifício pode ser cortada, tanto devido ao incêndio, como a ação dos bombeiros, levando o elevador a interromper seu funcionamento e ficando preso na caixa corrida, isto é, o poço do elevador.

A recomendação acima é enfatizada ao ponto em que o resgate dos passageiros dentro da cabina se torna ainda mais complexo diante deste evento de incêndio. A energia do elevador é cortada e o mesmo pode acabar ficando em uma região do poço que não seja de fácil acesso, como entre os pavimentos da edificação. Sendo assim, os bombeiros terão de localizar o elevador no poço, e subir até a casa de máquinas para efetuar o resgate dos passageiros através do sistema de freio do elevador, uma atividade que requer uma quantidade de tempo considerável. Além disto, a cabina possui entradas de ar para ventilação, logo, a fumaça pode invadir a mesma, sendo esta extremamente prejudicial à saúde, diminuindo a possibilidade de salvamento dos ocupantes. Outro ponto a ser debatido, é de que os elevadores possuem sistemas de segurança em suas portas, os quais podem ocasionar o travamento da cabina durante o percurso caso algum deles seja acionado. O sistema de segurança das portas pode ser acionado devido os tremores, algo recorrente em prédios em estado de incêndio.

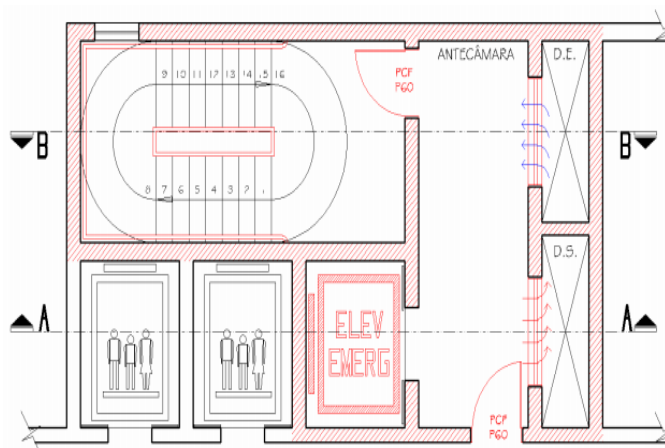
Em alguns casos, prédios podem ser equipados com elevadores de emergência, assim como o famoso arranha-céu árabe Burj Khalifa contém, que podem ser utilizados nessas ocasiões de estresse. No momento, o Brasil não possui normas específicas referentes a elevadores de emergência, portanto, eles devem atender as normas gerais de segurança que constam nas NBR 5410/2004 e NBR 14712/2001, as quais condicionam o elevador à algumas condições, como:

- a) a cabina deve ser protegida por paredes que aguentem até duas horas em contato com o fogo, sendo independente dos demais elevadores comuns;
- b) suas portas metálicas devem abrir para antecâmara ventilada, varanda, e demais locais clausurados e pressurizados;
- c) circuito de alimentação de energia elétrica independente, com acionamento no piso da descarga, para que seja alimentado por um gerador externo caso haja necessidade;
- d) deve ser abastecido por um moto gerador de emergência;
- e) possuir comando que permita que o elevador volte ao piso térreo em situação de emergência;
- f) possuir cabina com dimensões apropriadas para transporte com macas;
- g) o poço do elevador deve possuir abertura de ventilação permanente em sua parte superior;
- h) o elevador deve atender à todos os pavimentos do edifício;
- i) os elevadores de emergência devem ser instalados em edificações com mais de 20 pavimentos, salvo em ocupações especiais;

Segundo NBR 9077 (ABNT, 2001) é obrigatório a instalação de elevadores de emergência em todos os prédios que possuem mais de 20 pavimentos, excetuando casos excepcionais relacionados à ocupação. Em hospitais ou locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais, o elevador de emergência deve ser adotados sempre que a altura do prédio ultrapassar 12 metros.

A Figura 5 apresenta o posicionamento do elevador de emergência.

Figura 5 - **Posicionamento do Elevador de Emergência**



Fonte: Resolução Técnica CBMRS Nº11 (2016)

2.5.2 Escada de emergência

As escadas de emergência exercem papel fundamental e muitas vezes único, para a evacuação de pessoas em edificações, devido a isto, desde 1974 ela é regulamentada pela NBR 9077 e vem sofrendo algumas alterações em relação ao seu tipo e suas características, sendo sua última atualização em 2001.

Segundo a NBR 9077 (2001), as saídas de emergência devem ser projetadas pelo número de pessoas que habitam a edificação, assim como sua largura, sendo definidas pela equação 1.

Figura 6 – **Equação 1**

$$N = P/C \quad (1)$$

Fonte: NBR 9077 (2001)

Assim sendo, considera-se “N” o número de unidades de passagem, “P” para população, e “C” um coeficiente que consta na norma, como capacidade da unidade de passagem.

Assim como as saídas, as larguras das escadas também devem ser dimensionadas relativamente ao número de pessoas que possam transitar por ela em uma situação de emergência

Os degraus da escada devem ter altura compreendida entre 16 cm e 18 cm, enquanto sua largura deve obedecer a fórmula de Blondel, seguindo a fórmula:

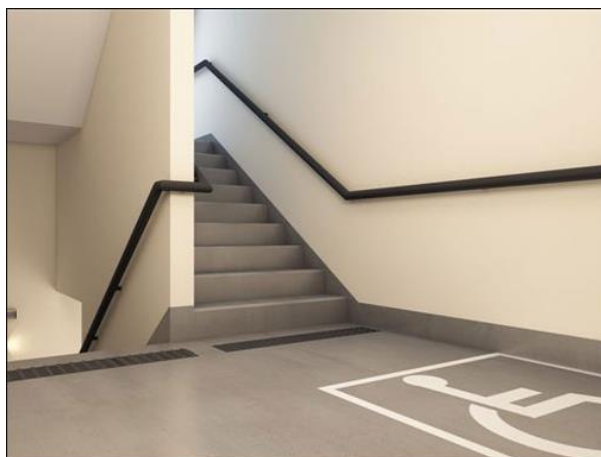
$$63 \text{ cm} \leq (2h + b) \leq 64 \text{ cm}$$

Onde, h se refere a altura e b para a base do degrau.

A norma ainda trás um lance mínimo para as escadas, sendo este de três degraus e, um máximo, entre dois patamares seguidos, não poderá ultrapassar os 3,70 metros de altura.

Ela ainda informa no tópico 5 de condições específicas, que deva existir uma rota de saída destinada ao uso de doentes e deficientes físicos, contendo rampas e elevadores de segurança, ou qualquer outro dispositivo capaz de compensar a diferença entre nível de pavimentos.

Figura 7 - Escada de Emergência



Fonte: Thórus Engenharia (2019)

Por definição da norma, a escada de emergência se apresenta como uma rota de saída, podendo ser não enclausurada (NE), enclausurada e protegida (EP), à prova de fumaça (PF) e também à prova de fumaça e pressurizada (PFP), entre outras.

As não enclausuradas, assim como seu nome supõe, estabelecem conexão com outros ambientes, como corredores e halls em alguns pavimentos, não apresentando portas corta-fogo, um dos problemas que ressaltamos nos incêndios citados anteriormente neste capítulo, entretanto, a mesma deve possuir dimensionamento dos degraus e materiais aplicados nela, condizentes para que possa vir a funcionar como uma escada de emergência. (CBMGO, 2014)

As escadas EP, por sua vez, possuem portas e paredes corta-fogo, além de serem devidamente ventiladas. essas paredes e portas corta-fogo devem propiciar uma resistência mínima de aproximadamente duas horas, e a ventilação pode ser dada através de dutos diretamente ligados ao exterior. (CBMGO, 2014)

A escada a prova de fumaça e pressurizada é semelhante a escada PF,

entretanto, ela deve possuir um sistema que bombeia ar através de um compressor para o seu interior, de modo a deixar a pressão interna constantemente maior que a pressão externa, de maneira que impeça a fumaça de entrar quando as portas forem abertas. (CBMGO, 2014)

Segundo Tomazi (2020), a escada à prova de fumaça e pressurizada deve ser utilizada em razão das outras à depender da altura da edificação, visto que o investimento para ela é maior devido aos equipamentos. Seu benefício se dá pelo fato de não necessitar de uma antecâmara ventilada, como é o caso da escada somente à prova de fumaça, sendo esta antecâmara um compartimento que antecede a escada e será responsável pela entrada do ar puro através do duto. Sendo assim, utilizando este tipo de espaço há um ganho de área útil para a edificação.

Como foi possível observar, a norma estabelece algumas condições buscando otimizar o processo de evacuação de pessoas pela escada de emergência, incluindo de maneira sucinta um tópico sobre pessoas com mobilidade reduzida. Entretanto, é de conhecimento empírico que muito dos tópicos desta norma não são seguidos em sua completa abrangência, visto os custos que incidem para os parâmetros serem implantados, como o sistema de pressurização e o elevador de emergência.

É perceptível que o sistema de evacuação se apresenta aceitável na teoria, entretanto, na prática se demonstra problemático do ponto de vista da operação, visto que o momento de estresse causa diferentes reações em cada pessoa. Tivemos um episódio de incêndio em uma casa noturna alguns anos atrás, o qual no deslocamento horizontal de pessoas para a saída, ocorreu um pisoteamento entre as mesmas, levando esta situação para uma evacuação vertical onde as pessoas estão descendo escadas, e naturalmente há uma dificuldade de equilíbrio maior, sugere que o mesmo possa acontecer, e de proporção maior a ponto de interromper o fluxo. Outro apontamento passível de ser feito sobre o elevador de segurança, é de que muitos prédios antigos possuem somente um elevador, tampoucos obedecem os critérios para serem considerados de segurança para serem utilizados em situações de incêndio, logo, podemos concluir que pessoas com mobilidade reduzida não possuem opções para fazer a evacuação do prédio de maneira segura à não ser por esses prédios que contenham elevadores de segurança.

2.6 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE EVACUAÇÃO DE PRÉDIOS

2.6.1 *Escape Chute System*

Este método alternativo de evacuação se difere do *evacuation slide* a medida que seu processo de escape se dá de maneira vertical, e assim pode ser utilizado em prédios altos em que a altura seja até de 80 metros, enquanto que o outro pelo fato de ser inclinado, atende apenas edificações de até quatro andares, como foi abordado posteriormente. (GMBH, 2021) .

Há indícios de que o primeiro *escape chute system* tenha sido implantado em escolas no Canadá em meados de 1800, no entanto, naquela época ele teria sido desenvolvido em materiais metálicos, e que por causa do fogo e a capacidade de condução térmica do material, acabaram sendo descontinuados.

Nos dias atuais, o dispositivo consiste em uma membrana, segmentada em três camadas, que garante uma descida suave aliada a uma velocidade uniforme, onde as condições climáticas do local não interferem no seu processo de evacuação. (INTERNATIONAL SAFETY SUPPLY, 2021). O processo de deslizamento se dá em espiral, de modo que os usuários se desloquem dentro da membrana no sentido anti-horário sem necessariamente ter uma sensação de queda, sendo o usuário desprendido à uma altura de 0,50 metros ao se aproximar do solo. (GMBH, 2021).

Figura 8 - **Escape Chute System em Operação**



Fonte: Alibaba (2021).

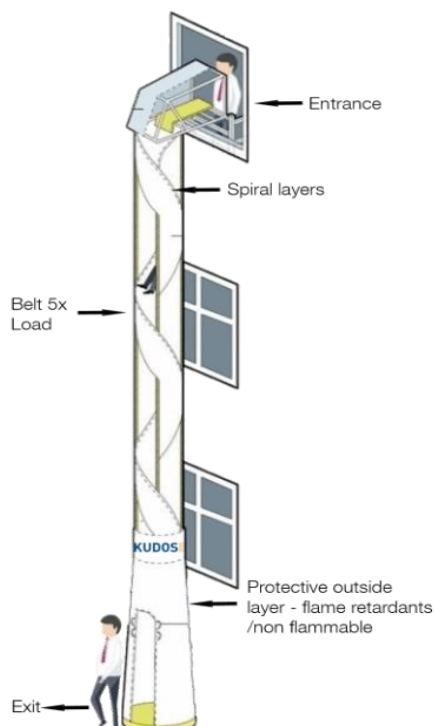
O material que compõe atualmente o *escape chute system* é o *kevlar*, uma fibra sintética de aramida, leve e muito resistente. (DUPONT, 2021). A membrana é composta por 4 cordas deste material, sendo seccionados a cada 1,20 metros.

Cada camada da membrana tem por objetivo uma funcionalidade. A primeira camada é a externa e é capaz de suportar calor, tornando o material não inflamável.

A próxima é aquela que fornece o efeito zigue e zague dentro da membrana, detendo uma série de molas em espiral de aço inoxidável, de maneira a diminuir a velocidade de descida caso o usuário faça pressão na membrana, ou aumentar a velocidade caso o contrário. A terceira camada é a interna e tem por objetivo dar suporte ao equipamento e manter a fixação dele, garantindo uma capacidade de suporte de até 5 toneladas ao dispositivo. (INTERNATIONAL SAFETY SUPPLY, 2021).

O dispositivo se apresenta adequado para pessoas com qualquer tipo de deficiência, e podem transportar crianças de até 12 kg. No entanto, o equipamento não provém uma evacuação significativamente rápida, o projetista calcula que em uma altura de até 30 metros, o produto consegue atender uma demanda entre 4 e 5 pessoas por minuto. (GMBH, 2021).

Figura 9 - Detalhes do Escape Chute System



Fonte: Saurya (2020)

2.6.2 *Evacuation slide*

O *evacuation slide* é um dispositivo de evacuação utilizado principalmente por aeronaves em situações de emergência, em que os usuários deslizam sobre essa espécie de colchão inflável através de uma saída já anteriormente projetada para isto, em situações que os passageiros sejam incapazes de descer por escada ou pontes de embarque. (HUBER, 2007).

O *evacuation slide* atualmente é exigido para aeronaves comerciais e devem ser posicionados em todas as portas da aeronave em que a distância dentre ela e o chão seja inferior a 1,8 metros. (HISOUR, 2021).

No momento, existem dois tipos de escorregadores de evacuação, sendo eles os chamados *slides* e *slide/jangada*. A diferença entre os dois está no modo de uso. O primeiro é focado em situações que o usuário está em ambiente terrestre, ou seja, sua evacuação incidirá em um ambiente que a pessoa não precise flutuar, ainda que o dispositivo tenha certa capacidade para tal. O *slide/jangada* serve para ser utilizado em meios aquáticos, em situações onde o pouso forçado da aeronave se dá em ambiente marinho, portanto, servirá para que os usuários utilizem o dispositivo como um bote salva-vidas. (HISOUR, 2021).

Ambos escorregadores podem ainda ser simples ou duplos, sendo que esta diferença influenciará na capacidade de escoamento de pessoas pelo dispositivo, sendo sua utilização limitada a depender da largura de saída da aeronave. (HISOUR, 2021).

Quanto ao sistema de inflação dos escorregadores, é utilizado gás sob pressão neutra, costumeiramente nitrogênio ou dióxido de carbono, armazenados em tanques de até 15 litros em uma pressão de aproximadamente 200 bar, de modo possam suportar eventuais impactos e não ocasionem uma explosão (HISOUR, 2021). Ainda visando a segurança caso haja existência de ventos fortes no local, o escorregador que já possui um sistema de meia-amarração, também possui um sistema interno que faz com que suas extremidades mais próximas da aeronave sejam infladas primeiro, assim, assegurando uma condição propícia para o usuário. (HISOUR, 2021).

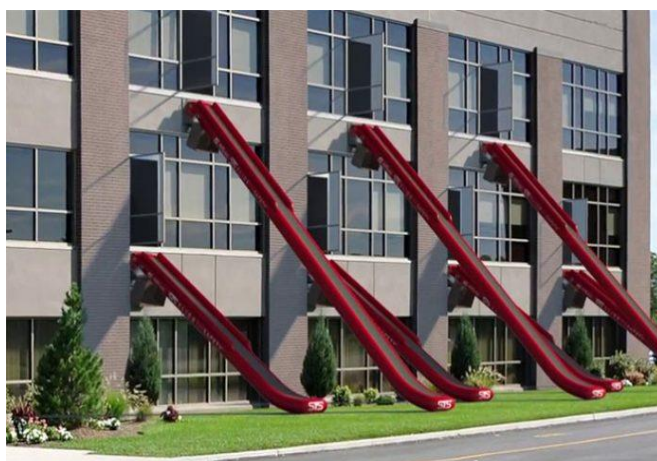
Segundo (JOHNSON, 2008), um especialista em segurança da aviação em uma reportagem ao jornal *Time*, elencou algumas ações que devem ser tomadas durante o processo de evacuação para que ele tenha a efetividade esperada. Essas

ações incluíam o fato de que as pessoas deveriam pular sobre o escorregador com os braços cruzados entre o peito, retirar calçados que possam causar algum desequilíbrio ao entrar em contato com o solo, como salto alto, e principalmente, assim que realizar a descida, sair o mais rapidamente possível do local, pois mais pessoas irão utilizar o dispositivo e esta ação pode ocasionar um pisoteamento. Johnson nessa reportagem ainda indica que apenas 4% das pessoas que utilizam este meio de evacuação acabam por sofrer algum dano devido a utilização.

Este método de evacuação para aeronaves já vem sendo pensado para a utilização em edifícios desde 1986, quando Fred A. Ruder patentou a ideia para este uso. Entretanto, segundo o próprio, era aplicável apenas para edifícios com até quatro andares, devido a dificuldade do comprimento de deslocamento. (MACHADO, 1986).

Ao decorrer dos anos, inventores vêm melhorando a eficiência da ideia, assim como a *Startup Slide to Safety*, que promete que seu dispositivo possa ser utilizado em situações em que não haja energia elétrica disponível na edificação, sendo o escorregador inflável em até seis segundos, e possível ser colocado em uso sob qualquer janela. No entanto, ele também especifica que seu equipamento só possui aplicabilidade, assim como o de Fred A. Ruder, para edifícios de até 4 pavimentos, ficando restrito seu uso para prédios altos. (Slide to Safety, 2021)

Figura 10 - **Modelo de Slide Escape**



Fonte: *Startupselfie* (2018)

2.7 TEMPO DISPONÍVEL PARA ESCAPE SEGURO (TDES)

A definição deste termo chamado de TDES é dado como sendo um intervalo de tempo, aproximado, contabilizado do início do incêndio até a evacuação do último ser vivo da edificação. Segundo GOUVEIA e ETRUSCO (2002), neste intervalo de tempo devemos considerar o espaço até que os ocupantes do edifício detectem a situação de incêndio, que pode ser visualmente, ou através de sinais sonoros como o alarme por exemplo. Este tempo deve ser preferencialmente estimado e comparado com uma simulação deste evento, pois devido à inúmeras variáveis, muito devido ao comportamento humano, este tempo estimado pode se apresentar consideravelmente distinto de uma situação real. A simulação também auxilia no cálculo do TDES ao identificar se a problemática do usuário durante este processo de evacuação se dá na detecção do início do incêndio, se é a própria rota de fuga que pode não ser a mais apropriada, como também a capacidade das pessoas de de organizarem sua saída da edificação.

Ainda segundo (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002), foi identificado que diversos fatores influenciam no tempo de evacuação, entre os quais podem ser citados quanto ao edifício, a sua arquitetura, de maneira que o seu formato irá interferir na tomada de decisão dos ocupantes, e sua respectiva área total irá determinar a quantidade de usuários nela a serem admitidos.

Outro dado relevante no aspecto do TDES é a familiaridade do usuário com a edificação, de modo que um morador de um prédio terá muito mais noção dos espaços em comparação à uma pessoa que visita a edificação casualmente. A sinalização é outro fator que agrega na diminuição do tempo desperdiçado buscando a rota de fuga apropriada, principalmente nos casos de edifícios comerciais em que uma parte majoritaria de pessoas desconhece todos os ambientes do prédio, e podem ter dificuldades em procurar as saídas de emergência mais próximas.

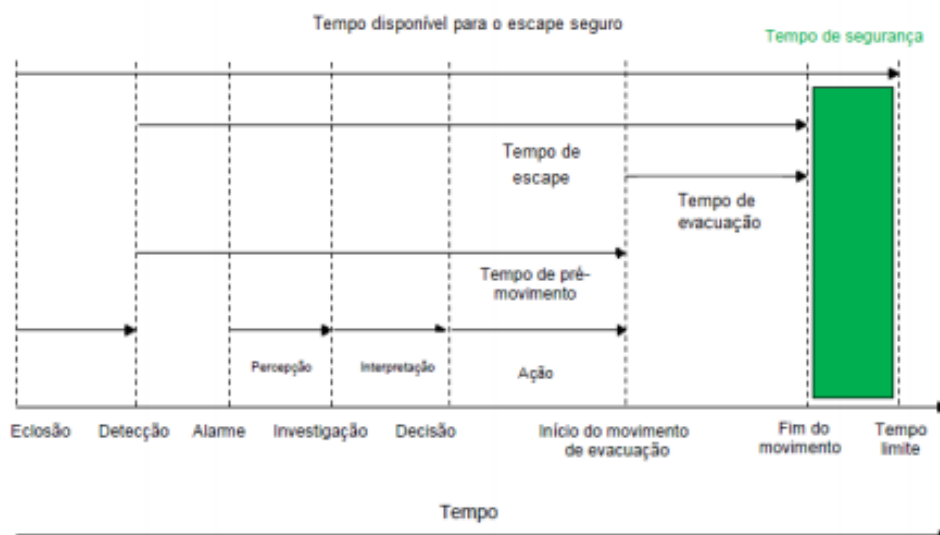
Assim como debatido em um tópico anterior sobre o comportamento humano em situações de incêndio, Da Costa (2009), enfatiza que tal comportamento irá influenciar no TDES, pois a imprevisibilidade das ações humanas nesses momentos de estresse não pode ser diagnosticada com exatidão. O mesmo ainda destaca que as pessoas costumam optar por uma rota a qual se sintam mais confortáveis, de modo a ser o mesmo trajeto em que utilizaram para deslocar até o ponto em que estão no momento, o que pode causar uma perda de tempo caso tenha alguma

alternativa de saída mais próxima, sendo isto motivado pelo desconhecimento e incerteza do que este outro caminho pode apresentar, a não ser que o mesmo apresente um feixe de luz, que tende a atrair o ser humano em situações de fuga.

Além disto, características físicas dos ocupantes, como sua mobilidade, e os treinamentos periódicos de escape em situações de incêndio, são fundamentais para otimizar este processo de evacuação.

O TDES também relaciona os materiais empregados na edificação com o fogo, sendo estes materiais considerados os revestimentos, teto e paredes. A resistência deles é regulamentada pela NBR 14432, que estabelece que estes materiais devem apresentar o tempo que levam para ser decompostos em situações em que estão expostos ao fogo. Desta maneira, O TDES deverá ser menor que este tempo de decomposição dos materiais, com o intuito de garantir que tal ação não provoque maiores consequências aos usuários em processo de evacuação. A seguir, a Figura 1 demonstra uma série de acontecimentos durante um evento de incêndio e seu intervalo de tempo.

Figura 11 - **Relação de Acontecimentos e seu Intervalo de Tempo**



Fonte: Adaptado de DA COSTA (2009).

Seito *et al.* (2008) informa que em um local abundante em oxigênio, o fogo tende a se generalizar em até 20 minutos após sua ignição, sendo este tempo mais um teto para que o TDES atenda. Entretanto, este tempo pode variar, sendo levado em conta os materiais expostos à chama, que caso sejam considerados como combustíveis, como aglomerados e madeira utilizados em algumas edificações

estudadas nos tópicos de incêndios relevantes, deverão diminuir o tempo necessário a ser considerado.

Segundo (COSTA, 2009), o TDES pode ser calculado através do Método de Nelson e MacLennan, o qual atribuiu algumas hipóteses a serem consideradas para tal, sendo elas:

- Todas os ocupantes do prédio devem iniciar o processo de evacuação ao mesmo instante;
- Não podem acontecer interrupções no fluxo dessas pessoas em evacuação, motivadas por alguma atitude individual;
- Não eram consideradas PMR, todas estão capacitadas ao método de evacuação.

O método por sua vez, como já citado anteriormente por (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002), engloba o tempo desde a ocorrência do primeiro sinal de incêndio, até do último ser humano conseguir evacuar da edificação, definida pela equação 2.

Figura 12 – **Equação 2**

$$t_{total} = t_d + t_a + t_p + t_e \quad (2)$$

Fonte: Gouveia (2002)

Onde:

t_d = Intervalo de tempo desde o primeiro instante referente ao início da ignição até sua devida detecção. Este intervalo vai depender de fatores como as características físicas de detecção do sistema e sua posição em relação a fumaça ou fonte de calor;

t_a = Tempo da detecção da ignição até que o sistema de alarme seja acionado;

t_p = Tempo do pré-movimento, sendo o intervalo respectivo ao acionamento do alarme e a primeira ação com o objetivo de buscar uma saída de emergência;

t_e = Tempo de evacuação ou escape, responsável pelo tempo que os usuários do edifício levam até a rota de fuga e posteriormente sua saída

Segundo (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002), o t_p irá variar de acordo com o estabelecimento e da maneira em que a evacuação foi iniciada, sendo este variável entre orientada pelo sistema de som interno com alto-falantes (em tempo real), não orientada em tempo real (orientada previamente), ou iniciada pelo alarme, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de Pré Movimento

Ocupação	Tempo de pré-movimento tpre(s)		
	Ruído de alarme	Evacuação não orientada	Evacuação orientada
Hospitais	480	300	180
Residencial	360	240	120
Hotéis	300	240	120
Locais de assembléias	300	180	120
Estádio	300	180	120
Centros Comerciais	300	180	120
Lojas	300	180	120
Estações de metrô	240	180	60
Escritórios	240	180	60

Fonte: GOUVEIA, (2002).

O tempo de evacuação foi fundamentado do modelo hidráulico, onde o fluxo de pessoas passa a ser considerado como análogo ao escoamento dos fluídos.

Para isto, são considerados alguns dados, como a velocidade de deslocamento, tempo de escape e fluxo específico.

A velocidade de deslocamento de pessoas em áreas niveladas(m/s) é definida pela equação 3.

Figura 13 – Equação 3

$$V_n = 1,4 * (1 - 0,266D_{pop}) \quad (3)$$

Fonte: Gouveia (2002)

Onde:

D_{pop} é o dado de densidade populacional em pisos nivelados levantado do pessoas/m².

Em situações em que o deslocamento é feito através de escadas, admite-se uma nova equação, dada por:

Figura 14 – Equação 4

$$V_e = k * (1 - 0,266D_{esc}) \quad (4)$$

Fonte: Gouveia (2002)

Onde

V_e é a velocidade de deslocamento nas escadas(m/s), sendo relacionada à densidade populacional e a inclinação da escada. Para a definição da constante k

referente à inclinação da escada, é fornecida uma tabela, a qual será disposta a seguir, que varia de valor com a relação entre o espelho e piso da escada. Assim como D_{pop} , a $Desc$ é a densidade populacional nos degraus, sendo observada em pessoas/m². O valor de V_e não deve exceder os valores dispostos na Tabela 2.

O fluxo específico nada mais é que uma taxa de pessoas que passam em um determinado ponto do trajeto de evacuação por uma unidade de tempo e largura efetiva (pessoas/m.s), sendo definida pela equação 5.

Figura 15 – **Equação 5**

$$F_s = V * D_{pop} \quad (5)$$

Fonte: Gouveia (2002)

Sendo nesta fórmula, V adotado como velocidade de deslocamento tanto para áreas níveladas ou em escadas, sendo observado para qual tipo de fluxo está sendo estabelecido o cálculo. O fluxo específico, assim como a V_e , não pode ser excente ao apresentado na Tabela 3 para as situações de escada, para pisos planos, se estabelece um FS máximo de 1,3.

Tabela 3 - **Parâmetros de Velocidade para Deslocamento em Escadas**

Espelho (m)	Piso (m)	Constante (k)	Velocidade máxima V_e (m/s)	Fluxo específico máximo F_s (pessoas/s.m)
0,2	0,25	1	0,85	0,95
0,18	0,25	1,1	0,95	1
0,17	0,3	1,15	1	1,1
0,17	0,33	1,25	1,05	1,15

Fonte: GOUVEIA, (2002).

O tempo de período nada mais é que a passagem de um determinado grupo de pessoas em um ponto estabelecido do percurso de fuga, que será definida pela equação 6.

Figura 16 – **Equação 6**

$$t_p = P / (F_s * W_e) \quad (6)$$

Fonte: Gouveia (2002)

Nesta fórmula, W_e é a largura efetiva, dada em metros, e P o número de pessoas, além de F_s , o fluxo específico abordado anteriormente. O método atribui que o movimento das pessoas através do corredor ou escada produzem o que ele

chama de uma camada-limite, sendo utilizada para o cálculo da largura efetiva, que se dará pela subtração desta largura real pela camada-limite multiplicada por duas vezes. Tabela 4 é apresentada a relação da camada-limite.

Tabela 4 - **Camada Limite**

Elemento da rota de escape	Camada-limite (m)
Escadas, parede ou lado do degrau	0,15
Guarda-corpos, corrimãos	0,09
Assentos de teatros, arquibancadas de estádios	0
Corredor, paredes de rampas	0,2
Obstáculos	0,1
Amplios saquões, travessias	0,46
Porta, arcos	0,15

Fonte: GOUVEIA, (2002).

Por fim, o tempo de evacuação (t_e), é considerado o tempo necessário para que todos os ocupantes da edificação atravessem uma saída para um lugar considerado seguro.

Assim, o método estabelece uma diferença entre o tempo de deslocamento das pessoas, e o tempo que uma primeira pessoa tenha levado para se deslocar até uma saída segura, sendo este o $t_{mín}$.

Com base nessas definições, o método define a equação 7.

Figura 17 – **Equação 7**

$$t_e = t_{mín} + t_p \quad (7)$$

Fonte: Gouveia (2002)

Os tempos mínimos, de alarme e detecção, deverão ser baseados ou medidos em simulações de *softwares* existentes para esta aplicação. Assim como descrito anteriormente, eles tendem a variar devido ao treinamento das pessoas que ali se encontram para a evacuação, além das instalações da edificação.

2.8 NORMA PARA ESCORREGADORES

Por definição da NBR 16071-1 (ABNT, 2012), que trata sobre termos utilizados para *playgrounds*, os escorregadores são estruturas com superfície inclinada, as quais o usuário pode deslizar por um percurso definido. A norma segmenta os estilos de escorregadores, sendo o proposto como alternativa de

escape rápido neste estudo, mais assemelhado ao definido por escorregador combinado, em que o acesso à sua seção inicial é dado pelo auxílio de outro equipamento, ou partes destes, assim sendo, a escada de emergência neste caso. (ABNT, 2012).

O equipamento de escape rápido alternativo proposto foi projetado utilizando metal, a norma NBR 16071-2 (ABNT, 2012) estabelece que este deve ser protegido contra à oxidação. Este metal exposto ao usuário, pode produzir óxidos tóxicos e escamar ou descascar, e portanto, devem estar protegidos por um revestimento atóxico. (ABNT, 2012).

Em relação ao seu acabamento, a NBR 16071-2 (ABNT, 2012) define que a superfície do equipamento não pode ser lacerável, pregos e terminações não podem ser salientes, tampouco apresentar bordas afiadas ou pontiagudas. Deve haver um cuidado com a questão de aprisionamento, na qual a cabeça e os pés do usuário não podem estar submetidas à condições que levem a este feito durante o percurso. (ABNT, 2012). O mesmo cuidado é levado em consideração para a questão de roupas, sendo vetado o uso de aberturas do dispositivo em formato de “V”. (ABNT, 2012).

O equipamento também pode ser projetado utilizando um composto plástico, desta forma, a NBR 16071-2 (ABNT, 2012), determina que o escorregador não pode apresentar trincas ou rachaduras. Quanto ao acabamento, seguem as mesmas recomendações aplicadas ao metal.

Em questão de cargas, a norma NBR 16071-2 (ABNT, 2012) classifica estas em permanentes e variáveis.

Para as permanentes, são consideradas as cargas de peso próprio da estrutura, montagem, cargas de pré aperto e de massa de água se houver algum depósito envolvido.

As cargas variáveis são compostas pelo peso dos usuários, carga de neve, vento, temperatura e qualquer tipo de carga específica.

A norma NBR 16071-2 (ABNT, 2012), estabelece algumas fórmulas para fazer os cálculos das cargas variáveis, como a carga de usuários definida pela equação 8.

Figura 18 – Equação 8

$$G_n = n * m + 1,64 * \sigma * ^{(1/2)} \quad (8)$$

Fonte: NBR 16071-2 (2012)

onde:

G_n = É a massa total de n usuários, expressa em quilogramas;

n = Número de usuários no equipamento ou sobre alguma parte dele;

m = Média de massa de um usuário dentro de uma determinada faixa etária;

σ = Desvio padrão da faixa etária.

Para o cálculo de n em um elemento em forma de linha, com inclinação menor ou igual à 60° , é definido pela equação 9.

Figura 19 – Equação 9

$$n = L_{pr}/0,6 \quad (9)$$

Fonte: NBR 16071-2 (2012)

Onde:

L_{pr} = É a longitude da projeção sobre o plano horizontal do elemento, expressa em metros.

$$C_{dyn} = 1 + 1/n$$

Onde:

C_{dyn} = Coeficiente que representa a carga ocasionada pelo movimento dos usuários, incluindo o componente do material sob as cargas de impacto;

n = Número de usuários no equipamento ou sobre alguma parte dele;

Figura 20 – Equação 10

$$F_{tot,v} = g * G_n * C_{dyn} \quad (10)$$

Fonte: NBR 16071-2 (2012)

Onde:

$F_{tot,v}$ = É a carga vertical total dos usuários sobre o equipamento, influenciada por n usuários, sendo dada em Newtons;

g = Aceleração da gravidade;

G_n = Massa total de n usuários, expressa em quilogramas;

C_{dyn} = Coeficiente que representa a carga ocasionada pelo movimento dos usuários, incluindo o componente do material sob as cargas de impacto.

Figura 21 – Equação 11

$$F_{tot,h} = 0,1 * F_{tot,v} \quad (11)$$

Fonte: NBR 16071-2 (2012)

Onde:

$F_{tot,h}$ = carga horizontal total dos usuários.

As cargas de vento devem adotar o que é estabelecido na NBR 6123 (ABNT, 2013) para ações nas estruturas, assim como as cargas de temperatura.

Para os escorregadores combinados, a norma relata que quanto à proteção lateral, esta deve ter uma altura de pelo menos 500 mm em algum ponto.

Em respeito ao acesso, estes escorregadores combinados com uma altura de queda maior que 1000 mm, devem ter uma barra transversal à abertura do acesso, sendo colocada no início do deslizamento.

O ângulo de inclinação da seção de deslizamento não pode exceder 60° em nenhum ponto, e a média não pode ser maior que 40°.

Em relação à sua largura, a norma especifica que para percursos com comprimento de deslizamento maior de 1500mm, os escorregadores abertos e retos devem ter uma largura menor que 700mm ou maior que 950mm.

Para a seção e saída, também são adotadas algumas relações, como quanto ao ângulo de inclinação que não pode ser superior à 10°, além de curvar-se até o solo com um raio de pelo menos 50mm, ou dobrar-se em um ângulo de no mínimo 100°. A altura do final da seção de saída depende do comprimento da zona de deslizamento, sendo uma altura máxima de 200mm para um comprimento de deslizamento de até 1500mm, ou 350mm para comprimentos maiores de 1500mm.

As laterais planas do escorregador não podem inclinar-se a mais de 30°, e seus cantos devem ser arredondados, com um raio de pelo menos 3mm, ou possuir algo que garanta a proteção do usuário contra lesões.

A NBR 16071-3 (ABNT, 2012), se atenta quanto à atenuação do impacto quanto a saída do usuário do dispositivo. De maneira geral, o piso deve estar livre de qualquer ponta afiada ou projeção perigosa. Para quedas acima de 600mm, a norma determina que deve haver um piso de atenuação de impacto sobre toda a área projetada, sendo assim, devem ser evitados materiais como concreto, material betuminoso, tijolo e pedras.

Após o projeto e instalação do equipamento, devem ser tomadas algumas atitudes de modo a conservar o dispositivo para seu uso, sendo aplicadas as recomendações da norma NBR 16071-7 (ABNT, 2012).

Estas atitudes se baseiam em inspeção visual de rotina, de modo a verificar se o dispositivo foi exposta à atos de vandalismo, se o mesmo encontra-se limpo e sua estrutura continua íntegra. Além da inspeção visual de rotina, tem-se a inspeção funcional periódica e a principal anual, a fim de garantir a integridade da estrutura que possa ter passado por alguma manutenção neste período.

2.9 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PELO *PATHFINDER*

O modelo de simulação computacional é uma ferramenta amplamente utilizada para conhecimento da dinâmica do fogo nas mais diversas edificações, permitindo estimar os efeitos da temperatura e da fumaça em cada compartimento. (ALVES, 2019). A partir do problema a ser solucionado e do escopo da simulação, é definido o modelo computacional a ser utilizado, entretanto, é necessário reduzir ao máximo as ações do usuário, que é o fator que impoem maiores incertezas à simulação. (HOFMEISTER, 2011).

Para a elaboração de uma simulação, é indispensável o discernimento dos resultados esperados perante ao escopo. A geometria do edifício, o tipo de evento, materiais utilizados no prédio, são todos fatores que devem levados em conta na hora de propor a simulação, sendo mais complexo definir os parâmetros referentes aos materiais, pois existem poucos resultados experimentais sobre o assunto. (HOFMEISTER, 2011).

2.9.1 Modos de Simulação

O *Pathfinder* é um *software* que permite o modelamento de evacuação em edificações, sendo possível definir entre duas abordagens de movimento de escape, sendo eles o SFPE (Society of Fire Protection Engineers) e o *Steering*.

O SFPE aplica as técnicas baseadas pelo Manual de Engenharia de Proteção Contra Incêndio em fluxo de escape, elaboradas pela *Society of Fire Protection Engineers* dos EUA (NELSON; MOWERER, 2002), e o Guia de Engenharia sobre Comportamento Humano em Incêndios. (SOCIETY..., 2017)

Neste modelo, os usuários se deslocam entre os ambientes através de filas, e não evitam o choque entre uns aos outros. O principal controle de fluxo é definido pelas portas, e a velocidade dos ocupantes pela densidade de cada setor, apresentada na equação 12. O movimento pode ser interrompido caso a equação resulte em um valor aproximado de zero, como em densidades a partir de 3,8 pessoas/m².

Figura 22 – **Equação 12**

$$v = 1,40 - (0,372 * D) \quad (12)$$

Fonte: *Pathfinder* (2021)

onde:

v = velocidade (m/s);

D = densidade (pessoas/m²)

Em relação ao fluxo específico, este modelo considera apenas os usuários que estão na fila para passar pela porta no momento atual, ou seja, apenas os ocupantes que realmente chegaram até a porta e esperam sua vez de sair, excluindo os que estão empilhados à espera de chegar em uma saída. O SFPE usa este conjunto simples de suposições, e não dá ênfase às situações em que os ocupantes possam ficar presos, devido à padrões geométricos ou distorções de movimento. (Society...,2017)

O modo *Steering*, se baseia no estudo de Reynold (1999), complementado por Amor, Murray e Obst (2006), sobre os comportamentos de direção. Esta metodologia permite uma análise mais aproximada da evacuação com as ações humanas nestas situações. O modelo desloca os usuários da edificação para que realizem seus propósitos e reajam de acordo com a situação do ambiente, respeitando a avaliação de uma série de instruções de movimento.

Os fatores como a aceleração, velocidade, densidade, distância entre a parede e o usuário da edificação, são determinantes para o modelo e alteram os padrões de comportamento dos ocupantes.

Desta forma, ela é capaz de oferecer simulações mais próximas aos dados experimentais do que pelo método SFPE, devido a ser mais dependente de prevenção de colisões e interação entre os usuários. (ALMEIDA, 2012).

Entretanto, ainda antes da escolha do modelo, é feito pelo *software* a geração do caminho a ser utilizado, levando em conta o algoritmo A*(HART et al., 1968 apud.

THUNDERHEAD ENGINEERING, 2018), as malhas de cálculo triangulares, e um realinhamento do caminho apurado (JOHNSON, 2006 apud. THUNDERHEAD ENGINEERING, 2018), de maneira a propiciar o caminho mais otimizado em tempo real.

2.9.2 Representação do modelo

O *software* retrata o ambiente em que será feita a simulação através de uma malha 3D triangulada, capaz de fornecer dimensões muito próximas das reais. A malha de circulação pode ser introduzida ao *Pathfinder* de maneira automática, devido a compatibilização com outros *softwares* de sistema CAD.

Ainda que o a malha de circulação seja introduzida automaticamente, é necessário alguns ajustes para o efetivo funcionamento do programa. Devem ser abordadas todas as questões da edificação que possam de alguma maneira modificar o comportamento do usuário à medida que realiza seu processo de evacuação.

Desta maneira, paredes e demais regiões intransitáveis pelos ocupantes do prédio, devem ser representadas como lacunas na malha de navegação. As portas, por sua vez, são utilizadas como bordas de malha de navegação especiais, sendo responsáveis pelo controle de fluxo dos usuários da edificação. Assim como as portas, escadas devem ser consideradas como bordas de malha de navegação especiais, em formato de triângulo. Outro dado importante de ser observado, é que devido a inclinação das escadas, deve ser reduzida a velocidade de deslocamento dos ocupantes. Os usuários do prédio são caracterizados por cilindros, que colocados em posição vertical, têm seu movimento calculado de forma individual, sendo parametrizados quanto sua velocidade de deslocamento, sexo, idade e etc.

Ainda quanto aos parâmetros utilizados no *Pathfinder*, podemos destacar a possibilidade de escolher um número de ocupantes distribuídos em cada um dos ambientes, a quantidade de portas de saída, o modo de simulação, a intenção dos usuários procurarem a saída mais próxima, além de estabelecer sua velocidade.(MUNIZ, 2013).

2.9.3 Definição da velocidade de escorregamento

Para definir o parâmetro de entrada no *software* referente a velocidade de escoamento dos usuários na edificação utilizando o dispositivo aqui proposto, foi analisado o experimento realizado pelo inventor Zhou Miaorong (2010), em uma reportagem à televisão central da China, CCTV, em 2016. Esta ideia que teve início em 2010, é similar ao que foi proposto neste estudo, o inventor implantou esta espécie de escorregador metálico ao longo da escada de um edifício de 26 andares localizado na China. O tempo de trajeto aferido por Zhou Miaorong (2010) para evacuação do prédio utilizando o seu dispositivo foi de 90 segundos, o que resulta em um tempo de cerca de 3,5 segundos por andar. Estimando o pé direito do prédio em 3m, chegamos à uma velocidade de descida de aproximadamente 0,9m/s utilizando o escorregador.

Figura 23 – Dispositivo de Evacuação



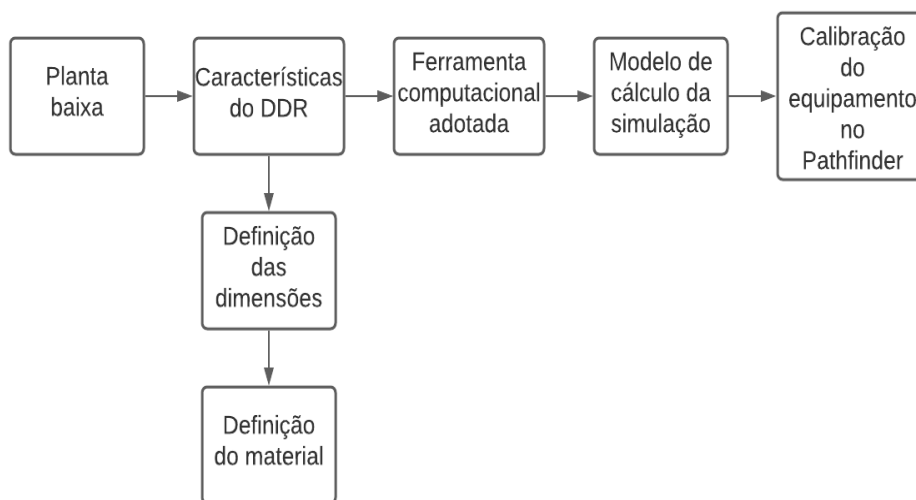
Fonte: Usa.chinadaily (2013)

3 METODOLOGIA

Os métodos aqui descritos buscam atingir os objetivos propostos, inicialmente foi apresentado um modelo geométrico de DDR (dispositivo de descida rápida) que atenda as necessidades do projeto, relativos ao seu material, dimensões, velocidade de deslize, e demais minúcias referentes à sua aplicabilidade. Posteriormente, foi definido a posição em que o DDR deve ser instalado, de modo a otimizar seu funcionamento sem comprometer o uso da escada de emergência. Por fim, foi apresentado os parâmetros de projeto aplicados em duas simulações computacionais, utilizando uma planta de edificação compatível com a de um prédio alto, de modo a proporcionar uma análise realista do método de evacuação pela escada de emergência e pelo DDR.

Portanto, o tópico será formado em quatro seções, segmentados conforme o organograma apresentado pela Figura 24.

Figura 24 – Organograma da Metodologia



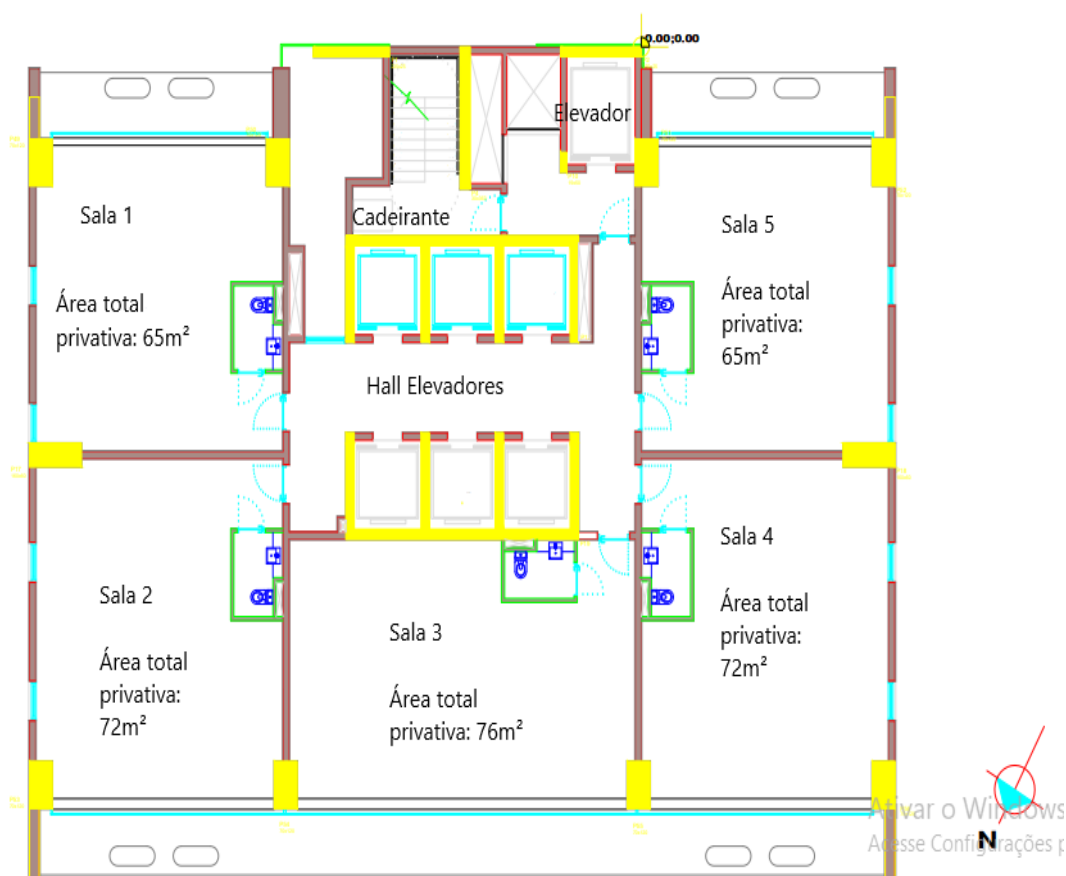
Fonte: O autor

3.1 MODELO DE PLANTA BAIXA

Foi proposta a planta baixa de um edifício residencial da cidade de Novo Hamburgo, que até a presente data encontra-se na etapa de projeto.

Hipoteticamente nesse estudo, por razões de efetividade e burocracia de tempo das análises numéricas, definiu-se que o edifício terá 4 pavimentos, como apresenta a Figura 25. Entende-se que o edifício com essa altura já seja o suficiente para avaliar a efetividade do sistema de escape proposto

Figura 25 – Planta Baixa Proposta



Fonte: O autor

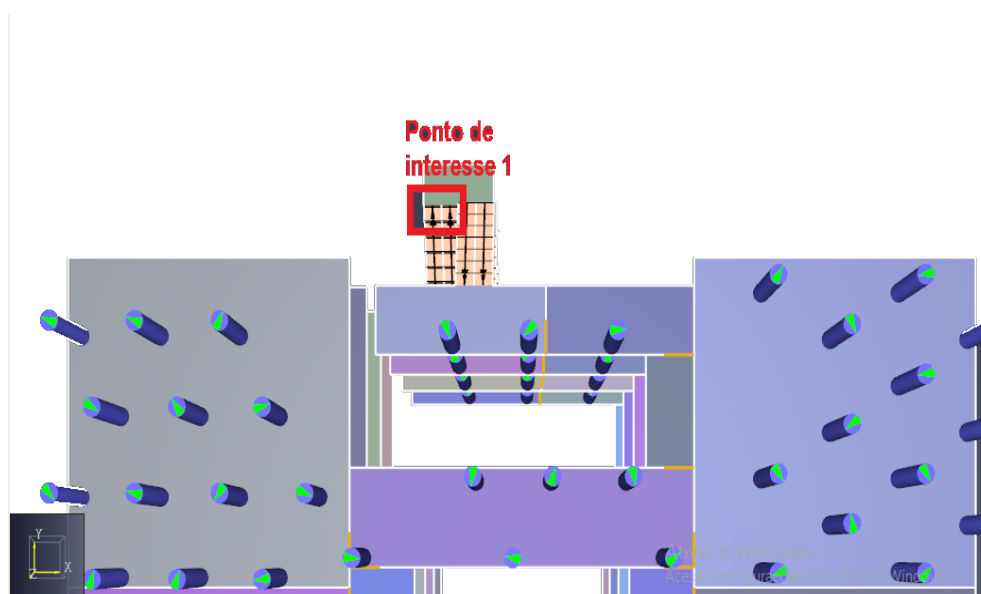
A planta em questão dispõe 5 salas de uso comercial por pavimento, com dimensões de 65m², 72m², 76m² contemplando um banheiro exclusivo para cada. Conta com uma área de circulação de cerca de 50m² que abrange 6 elevadores convencionais e um denominado como de serviço. Esta planta possui um lance de escada de 8 degraus, que incidem em patamares de 2m. O vão das portas são de 0,90m e há um único percurso que liga as salas até a escada de emergência.

3.2 PONTOS DE LEITURA

Para realizar uma análise dos resultados obtidos através da simulação dos métodos pela escada de emergência e pelo DDR, foram definidos pontos de leitura. Estes pontos de interesse foram escolhidos por se tratarem de espaços que possibilitem uma análise assertiva do que está acontecendo durante o processo de evacuação em um determinado tempo.

A Figura 26 apresenta o primeiro ponto de leitura que foi analisado.

Figura 26 – Ponto de Interesse 1

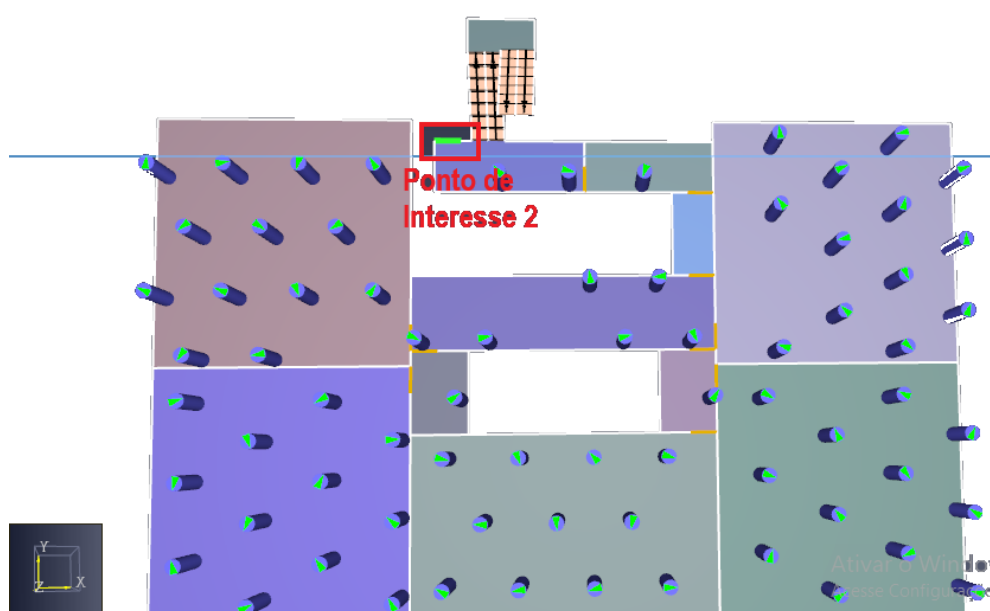


Fonte: O autor

Na Figura 26 é apresentado o primeiro ponto de interesse. Ele está localizado nos patamares de cada um dos pavimentos, de modo que permita analisar o número de evacuados em cada pavimento em um determinado tempo. Para esta avaliação, a evacuação do usuário foi considerada à medida que o ocupante ultrapasse a linha que está destacada em vermelho na Figura 26.

A Figura 27 demonstra o segundo ponto de interesse para a análise de resultados de cada processo de evacuação.

Figura 27 – Ponto de Interesse 2



Fonte: O autor.

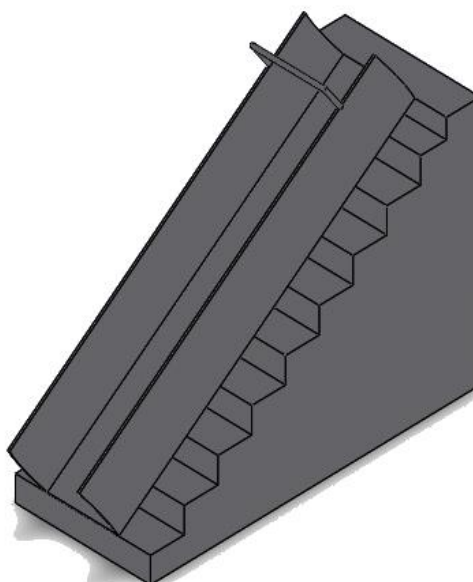
A Figura 27 destaca o segundo ponto de interesse escolhido. Este ponto encontra-se exclusivamente no pavimento térreo, pois é a porta de saída da edificação. Desta maneira, à medida que os ocupantes do prédio ultrapassem este local, será indicado a quantidade de usuários que efetivamente realizaram seu processo de evacuação no tempo observado. Assim, será avaliado nos processos de evacuação pela escada de emergência e com o DDR, os respectivos tempos de escape.

3.3 CARACTERÍSTICAS DO DISPOSITIVO DE DESCIDA RÁPIDA

O DDR foi apoiado junto a escada de emergência de maneira a ser instalado paralelamente à escada no sentido de descarga. Ele funcionará estruturalmente

apoiado a laje na escada que conecta os pavimentos, ou seja, adjacente aos degraus, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28 – **DDR em Conjunto com a Escada de Emergência**



Fonte: O autor.

A Figura 28 apresenta como deve ficar o posicionamento do DDR em relação à escada. Nela podemos observar que os usuários podem se locomover pela escada de emergência sem a interferência do DDR.

Devido este posicionamento, dispositivo não necessitará estar suspenso, facilitando a entrada ao mesmo e evitando qualquer tipo de problema devido à uma possível sobrecarga durante seu uso, e diminuirá o tempo de evacuação devido ao percurso menor.

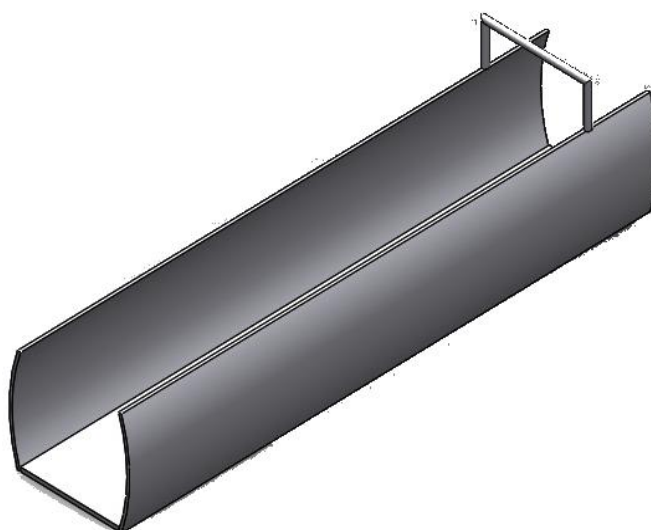
O modo em que se dará o ingresso dos usuários ao dispositivo em cada andar é um fator importante, caso ocorra a necessidade de sua utilização. Durante o processo de evacuação pelo DDR, ocorrerá um encontro de pessoas que já estão em seu percurso de evacuação, sendo estes inicialmente localizados em andares

superiores do prédio, com pessoas que buscam iniciar seu trajeto de escape pelo DDR. Pensando nesta problemática e visando evitar um possível congestionamento de pessoas tentando adentrar ao escorregador, sendo impossibilitados devido ao alto tráfego, o estudo visa interromper o percurso do DDR em cada patamar de cada andar, sendo assim, os usuários teriam que necessariamente descer neste momento para então se posicionar novamente para a descida do próximo andar.

3.3.1 Definição das dimensões

As dimensões do projeto foram definidas de acordo com algumas especificações da ABNT NBR 16071-2 (2001), apesar de o DDR não possuir neste caso um fim de recreação, o mesmo foi modelado pensando na segurança do usuário durante seu percurso. Posto isto, o dispositivo pode possuir uma inclinação de até 40° , em um formato plano, com largura de 500mm, uma altura de proteção lateral em formato cilíndrico de 500mm. Devido ao seu comprimento, deve ser ancorada a parede na região de abertura do acesso ao DDR, uma barra metálica na transversal do dispositivo, como apresenta a Figura 29.

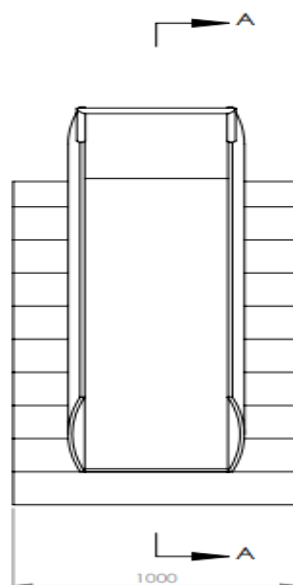
Figura 29 – Esboço do DDR



Fonte: O autor

A Figura 30 apresenta o detalhamento do DDR em sua vista frontal

Figura 30 – **Detalhamento DDR Vista Frontal**

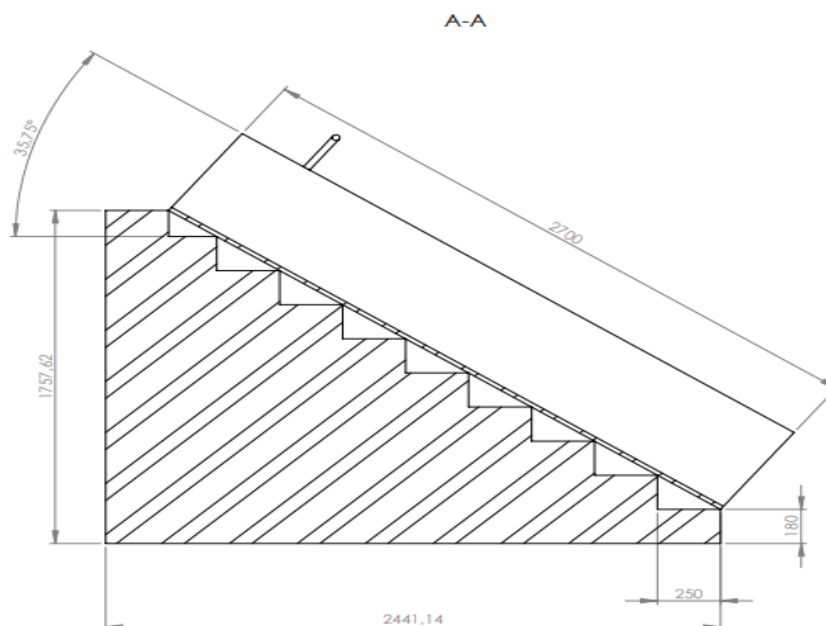


Fonte: O autor.

A Figura 30 apresenta o DDR em sua vista frontal e salienta a importância do equipamento ser posicionado junto à parede da escada, visto que a maneira em que ele está representado inviabilizaria o tráfego de pessoas utilizando a escada de emergência.

A Figura 30 apresenta o detalhamento do DDR em corte.

Figura 30 – Detalhamento DDR em Corte



Fonte: O autor

O detalhamento da Figura 30 mostra uma projeção da escada com relação de dimensões de piso e espelho de 0,25m e 0,18m. O comprimento do DDR ficou em 2,7m e satisfaz as especificações da ABNT NBR 16071-2 (2001) de inclinação máxima de até 40°.

3.3.2 Definição do Material

O material escolhido para compor o DDR foi definido de modo a propiciar segurança durante sua operação ao usuário. Esta preocupação se dá devido a necessidade de robustez pelo seu uso, além da necessidade de um material que propicie um deslocamento com um nível de atrito mínimo, evitando possíveis travamentos durante a evacuação. Desta forma, o material indicado é um aço inoxidável polido.

É necessário tomar cuidado com possíveis rebarbas do material que possam ocasionar cortes ao usuário durante seu percurso, além de uma possível abrasão no contato com o corrimão devido ao atrito gerado pelo usuário durante seu trajeto.

3.4 FERRAMENTA COMPUTACIONAL ADOTADA

A proposta de modelar o sistema de evacuação em questão no *Pathfinder*, teve como objetivo dar uma demonstração prática aproximada, simulando virtualmente como ocorrerá na prática o processo de evacuação, fornecendo um tempo estimado de escape e possibilitando a visualização a efetividade da solução. Foi utilizado este *software* por ser reconhecido nesta área de simulações de incêndio, já que a indústria não oferece um simulador específico que possa ser utilizado para este projeto. Este é fundamentado pelo fato de ser utilizado por companhias aéreas que visam modelar suas evacuações de emergência como o *evacuation slide*, como foi constatado com a empresa desenvolvedora do *software*, que optou por não mencionar o nome de tais companhias. Entretanto, o *Pathfinder* já foi utilizado como simulador de evacuação em diversos trabalhos acadêmicos, como o de Nunes (2020), que abordou o tema de interferência do projeto arquitetônico das saídas de emergência na evacuação de locais de reunião de grande público. Além disso Muniz (2013), tratou sobre o uso de simuladores como uma ferramenta de auxílio na definição dos requisitos de planos de retirada de emergência.

3.5 MODELO DE CÁLCULO DA SIMULAÇÃO

O modo *Steering* de simulação foi utilizado por apresentar comportamentos humanos mais próximos aos que devem ocorrer em um evento prático se comparado ao modelo SFPE. O *Steering* vai evitar que os usuários acabem por ocupar o mesmo espaço na simulação, ressaltando a questão de colisões entre os mesmos.

A velocidade de deslocamento dos usuários na escada de emergência foi calibrada em virtude da referida velocidade máxima para escadas com espelho de 0,18m e 0,25m de piso que a Tabela 3 nos fornece. O valor máximo tabelado sofreu decréscimos arbitrados devido uma potencial fadiga dos usuários ao descerem sucessivos lances de escada em um evento real.

Esse decréscimo foi proposto devido ao estudo de Falk (2009), em que ao realizar um teste que avaliava o índice de fadiga de atletas de uma escola de futebol do Grêmio em Lages, Santa Catarina, identificou uma fadiga muscular de até 27% entre os atletas. Segundo Woledge (1998, apud SANTOS, 2009), a fadiga muscular

é definida como qualquer diminuição na capacidade do sistema neuromuscular de gerar força durante um exercício, e este é um fenômeno que ocorre em esportes de resistência e em situações do cotidiano. (Yeung, Au e Chow, 1999, apud SANTOS, 2009).

Esta fadiga muscular irá depender de diversas variáveis, como duração e intensidade do exercício, além de condições psicológicas e fisiológicas do indivíduo. (Fitts e Metzger, 1988, apud SANTOS, 2009).

Sendo assim, em virtude das diversas variáveis que contemplam o estudo de índice de fadiga e complexidade de avaliá-los para o estudo proposto, os valores de velocidade na escada de emergência à serem utilizados nos modelos de evacuação, serão de 0,8m/s e 0,6m/s.

A velocidade de escorregamento dos usuários foi utilizada de acordo com a estimativa feita a partir do experimento de Zhou Miaorong (2010), onde o mesmo percorreu 26 andares em 90 segundos usando um equipamento semelhante ao que se propõe nesse estudo.

A velocidade de deslocamento utilizada sobre a laje está de acordo com o que o *software* sugere para tal evento de evacuação, levando em consideração os diferentes perfis de ocupantes e situações em um evento emergencial.

Os usuários tiveram sua largura de ombros proposta baseada em um levantamento de características antropológicas de trabalhadores na cidade de Curitiba – PR. (PAULUS et al., 2012 apud DENGGO 2021). Neste estudo, foi identificado que mulheres e homens possuíam diferentes relações de medidas, e desta forma, foi feita uma média entre os dados coletados neste levantamento. Foi utilizado o valor de 40cm para este parâmetro, que satisfaz a condição para utilização do DDR.

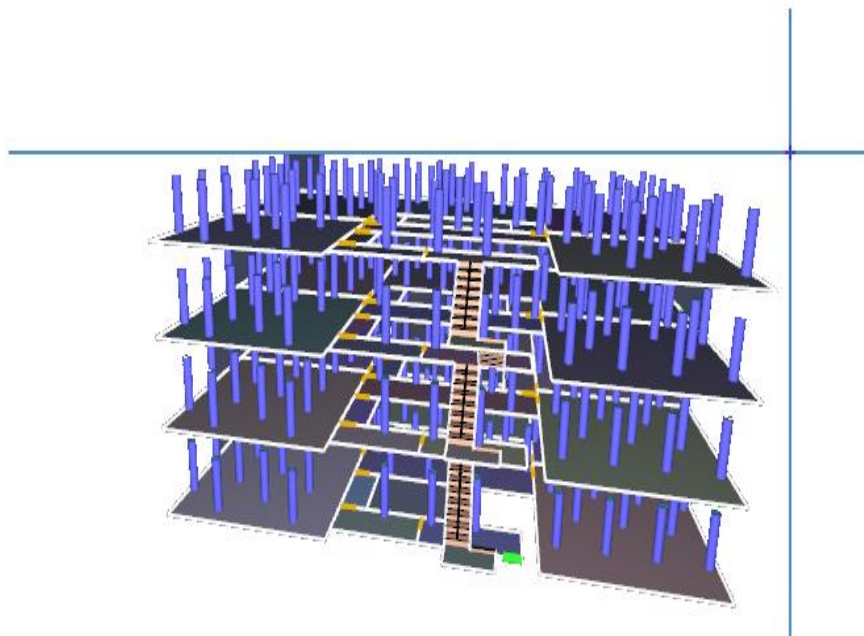
O distanciamento mínimo proposto se refere ao que o modelo *Steering* propõe sobre condições comportamentais, em que não permite que haja um empilhamento de usuários na simulação. Logo, foi definido o valor de 50mm em virtude de que um evento emergencial, segundo Almeida *et al.* (2013) as pessoas tendem a provocar o efeito de arqueamento. Nesse efeito, a busca pelo espaço é constante e por isso, os usuários tendem a manter distâncias mínimas uns dos outros.

A disposição dos ocupantes entre os pavimentos foi calibrada para ser idêntica nos dois modelos, evitando possíveis condições que pudessem alterar

significativamente os resultados obtidos, e assim, comprometer o comparativo entre os métodos.

A Figura 31 apresenta a disposição dos ocupantes em cada pavimento.

Figura 31 – **Posicionamento dos Ocupantes**



Fonte: O autor.

Como o modelo do DDR possui 500mm de largura, no modelo em que ambos atuaram juntos, a escada de emergência possuiu 500mm de largura, e no modelo em que a escada de emergência era a única alternativa, foi adotado os 1000mm de largura.

A lotação utilizada na simulação foi baseada na Instrução Técnica N°8/2017 – Saídas de Emergência em Edificações, a qual foi considerada a condição de reunião de públicos para a planta baixa em questão, que trata de salas comerciais. Portanto, a partir da área construída dos pavimentos e condições comerciais de uso da edificação, foi designado uma ocupação de uma pessoa a cada 5m², resultando em 80 ocupantes na área útil de 400m² de cada pavimento.

3.6 CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO NO *PATHFINDER*

Para a calibragem dos modelos, foram adotados os parâmetros comentados no tópico anterior, e que são apresentados pela Tabela 5. A velocidade de deslocamento na escada de emergência é um parâmetro que impacta

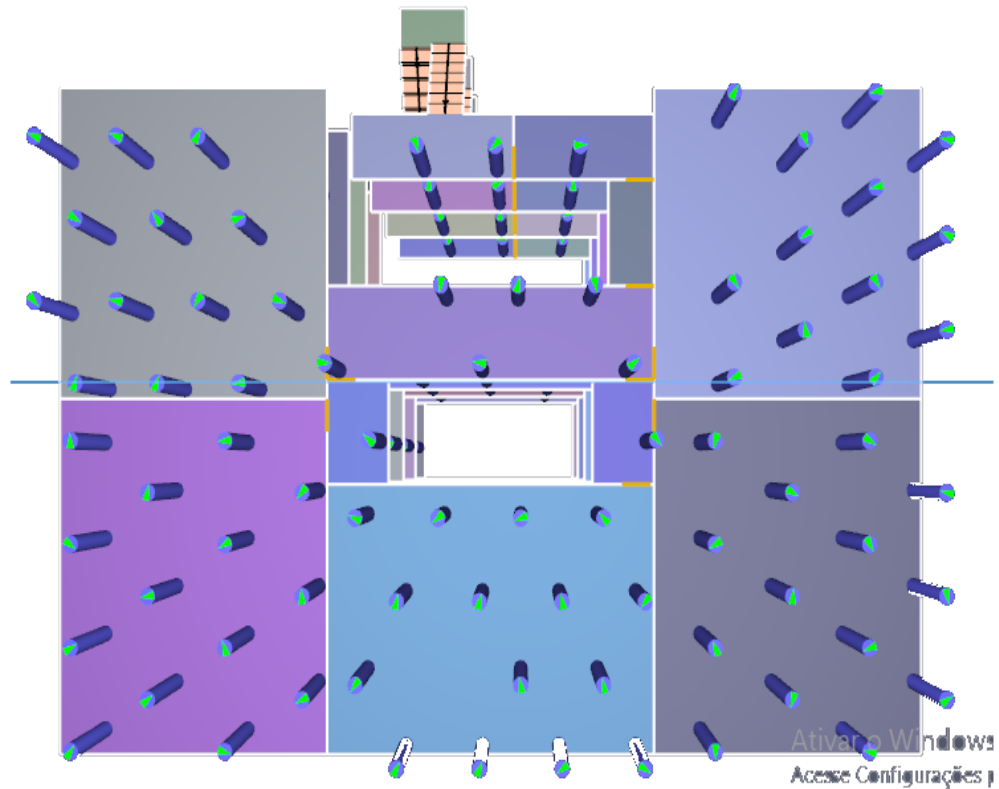
significativamente nos resultados. Devido à complexidade de definir sua velocidade efetiva no processo de evacuação, foram adotados os valores de 0,8m/s para o primeiro modelo avaliado, sendo considerado como uma premissa conservadora, e de 0,6 m/s para o segundo modelo, como apresenta a tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros Utilizados na Simulação do *Pathfinder*

Parâmetros do <i>Software</i>	
Modo de simulação	Steering
Vel. Deslocamento na escada de emergência	0,8m/s e 0,6m/s
Vel. Deslocamento no DDR	0,9m/s
Vel. Deslocamento sobre laje	1,19m/s
Largura de ombros dos ocupantes	400mm
Dist. Mínimo entre ocupantes	50mm
Posicionamento dos ocupantes	Organizado
Largura da escada de emergência	1000mm
Largura DDR	500mm
Lotação máxima por pavimento	80 pessoas
Posicionamento da Saída do edifício	Ao lado da escada de emergência

Fonte: O autor

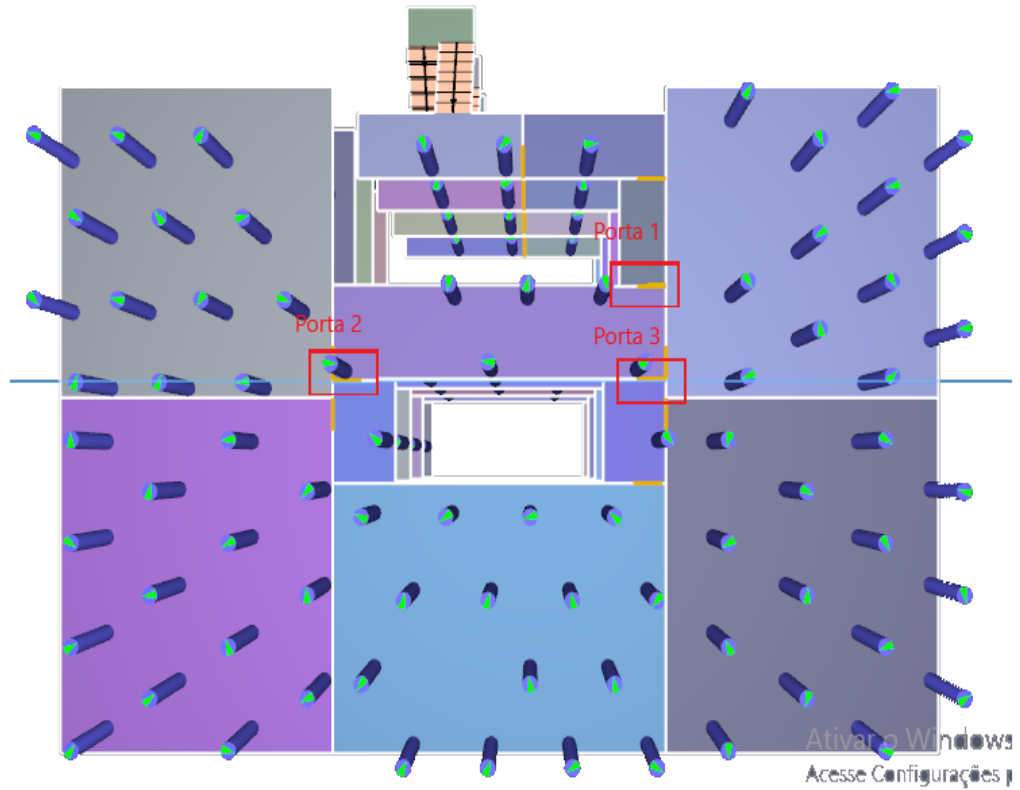
A planta utilizada no modelo buscou seguir de maneira aproximada a que havia sido proposta, podemos observar que ela possui algumas lacunas referentes à ambientes em que não há circulação rotineira de pessoas, como o *Pathfinder* sugere. Nos lugares onde estariam operando os elevadores também foi deixado lacunas, visto que foi considerado que os mesmos não são padronizados como de emergência como constam na NBR 5410/2004 e NBR 14712/2001, e portanto, segundo OTIS (2020), não devem ser utilizados nestes momentos. Sendo assim, foi feita a simulação de um processo de evacuação exclusivamente pela escada de emergência e posteriormente, a simulação de escape utilizando o método proposto nesta monografia em conjunto com a escada de emergência, baseados nesta planta baixa, como apresenta a figura 32.

Figura 32 – Planta no *Pathfinder*

Fonte: O autor.

Por motivos técnicos de adequação da planta proposta no *software* utilizado, foi necessário estabelecer três portas que não estavam contempladas na planta original. Além disso, os banheiros localizados em cada sala comercial estavam ocasionando erros no momento de reprodução do *software*, por este motivo não foram inclusos na simulação, como segue na Figura 33.

Figura 33 – Adaptações na Planta Baixa



Fonte: O autor

As alterações feitas de fato alteram o tempo de escape dos usuários, mas para o efeito de comparação entre os métodos elas não trouxeram complicações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

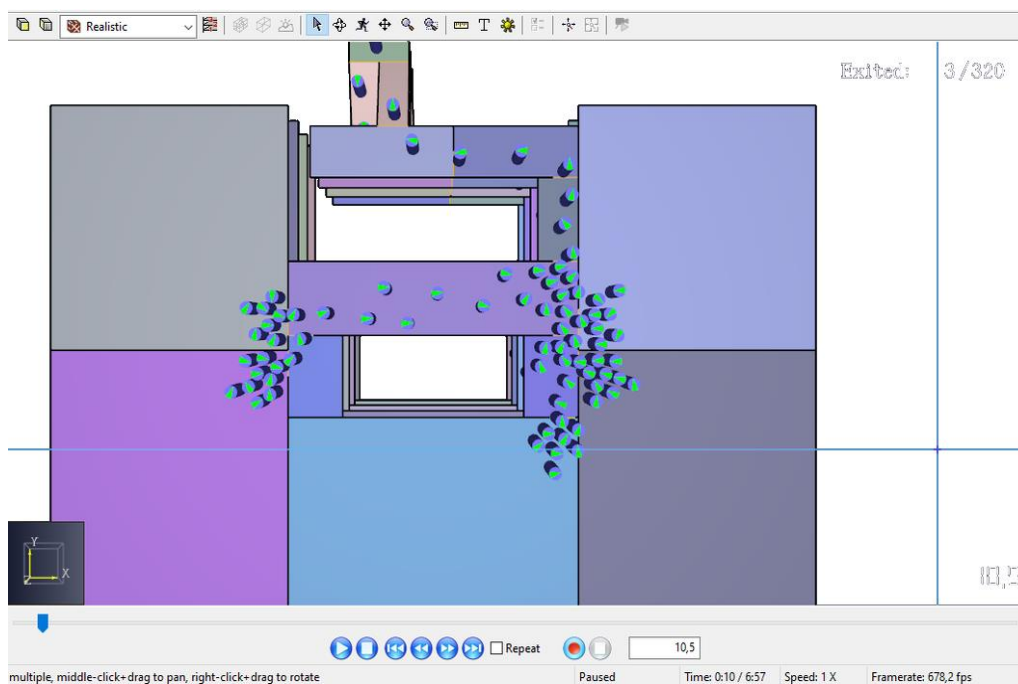
A análise dos resultados comparou os dados de evacuação obtidos através da simulação pelo *software pathfinder* entre os métodos com apenas a utilização da escada de emergência e o alternativo proposto, além de contemplar considerações sobre eventos ocorridos durante a simulação.

4.1 PRIMEIRA SIMULAÇÃO DE EVACUAÇÃO USANDO A ESCADA DE EMERGÊNCIA

A primeira simulação utilizou a velocidade de deslocamento na escada de emergência de 0,8m/s, apresentando um tempo de evacuação superior ao do método alternativo. No processo de simulação da evacuação foi possível observar algumas características interessantes relativas aos comportamentos dos usuários, relativos ao espaço e aos dispositivos de evacuação.

O primeiro a ser abordado se refere à características da planta, como apresenta a Figura 34.

Figura 34 – Relação da Evacuação com o Projeto Arquitetônico

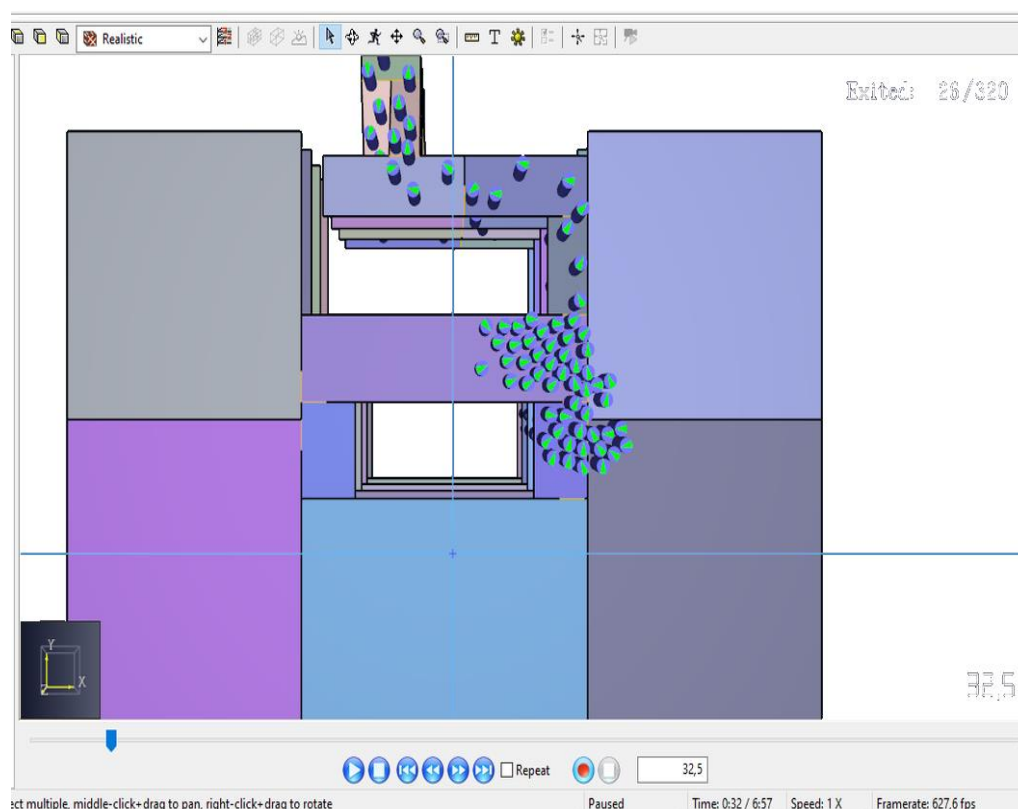


Fonte: O autor

Nesta imagem, é possível perceber que aos 10 segundos de simulação ocorre um processo que é referido por Almeida *et al.* (2013) como arqueamento, onde a rota de fuga não é capaz de suprir o tráfego de pessoas e há uma aglomeração entorno das portas. Este mesmo evento ocorreu para a simulação com o método alternativo, pois esta relacionada ao projeto arquitetônico e o comportamento humano.

A Figura 35 apresenta uma imagem da influência das rotas de fuga.

Figura 35 – Influência das Rotas de Fuga

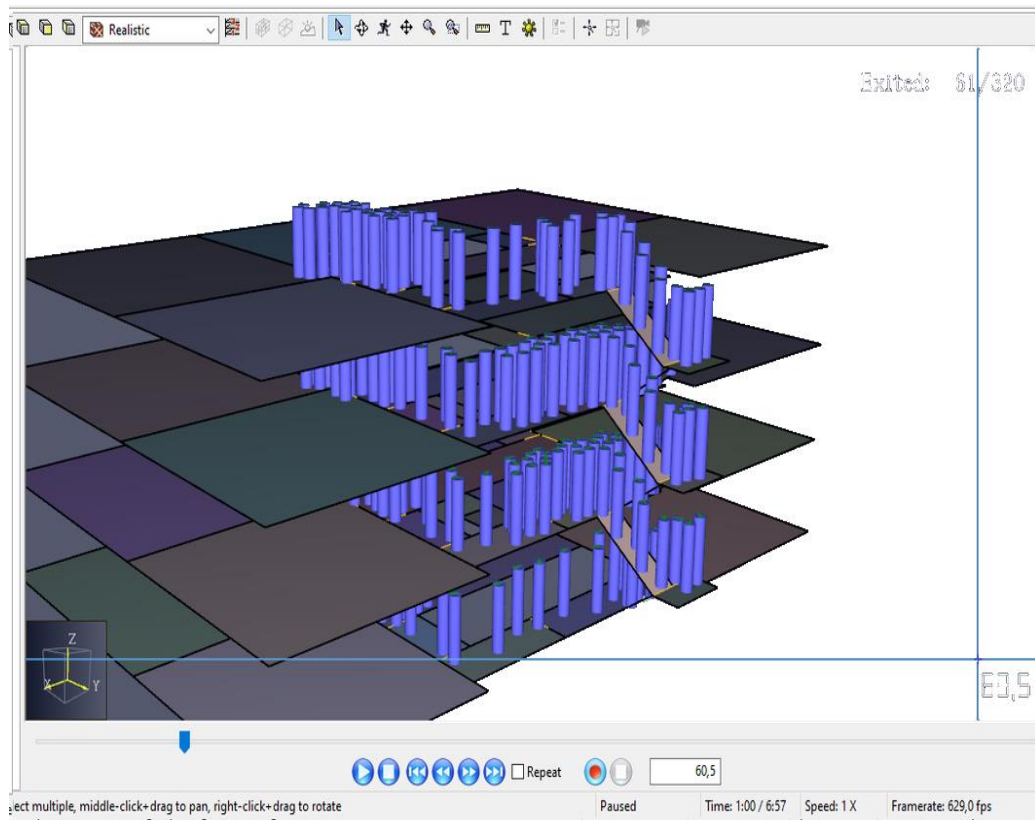


Fonte: O autor.

Na Figura 35 é destacado novamente a importância das alternativas de rota de fuga, nesta planta temos apenas um corredor que leva os usuários aos dispositivos de escape, sendo assim, a porta do corredor não deu vazão suficiente para todos os ocupantes do prédio. Aos 32 segundos podemos observar que a escada de emergência apresenta boa fluidez e 26 pessoas já conseguiram evacuar da edificação.

A Figura 36 apresenta uma imagem do encontro entre os pavimentos.

Figura 36 – Encontro entre Pavimentos



Fonte: O autor

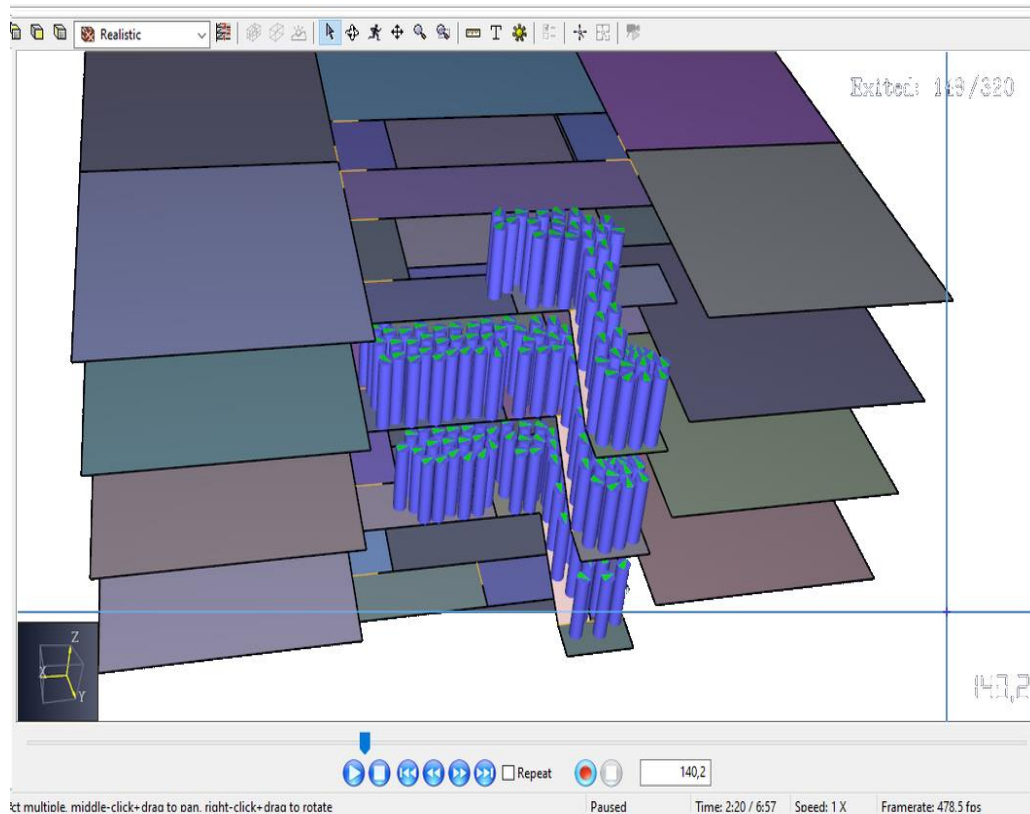
A Figura 36 trata sobre uma questão crítica no processo de evacuação que é o encontro das pessoas que descem de um pavimento ao outro. Aos 60s é possível observar que a escada de emergência está em sua capacidade máxima de operação e há um arqueamento generalizado em torno da escada de emergência nos pavimentos abaixo do último andar.

Outro ponto a destacar é que os usuários descem lado a lado na escada, e não é possível identificar uma hesitação ao adentrar a escada.

Neste período de tempo, 61 usuários já haviam evacuado a edificação.

A Figura 37 apresenta uma imagem dos usuários ordenados para o dispositivo de escape.

Figura 37 – Usuários Ordenados para o Dispositivo de Escape



Fonte: O autor

A Figura 37 destaca que neste período de tempo o único empecilho para o escape dos usuários é a falta de vazão que o dispositivo de evacuação disponibiliza. Podemos observar que os ocupantes já encontram-se perfeitamente perfilados para fazer o processo de evacuação.

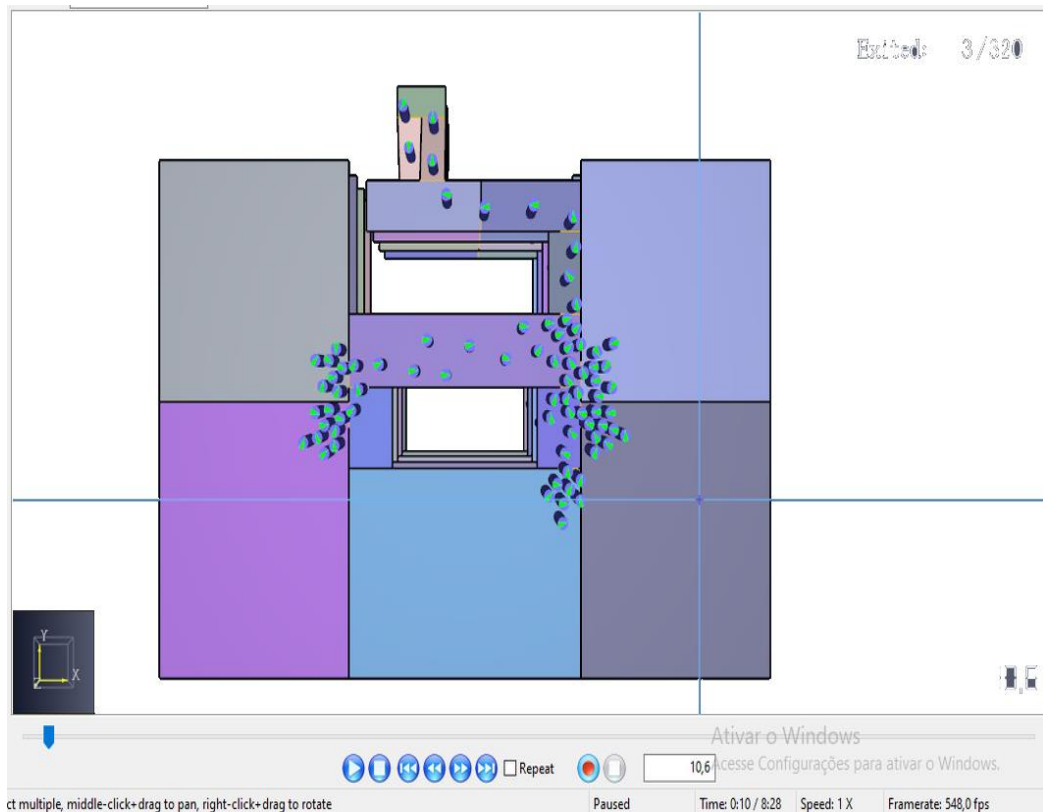
Nesta etapa 149 pessoas já haviam evacuado o prédio.

4.1 Segunda Simulação de Evacuação Usando Escada de Emergência

A segunda simulação de evacuação foi proposta com a velocidade de deslocamento pela escada de emergência sendo 0,6m/s. Neste processo podemos observar que o comportamento dos usuários se apresentou conforme a primeira simulação, entretanto, o tempo de escape sofreu um impacto significativo.

Para efeitos de comparação, foram analisados os mesmos intervalos de tempo da primeira simulação, como mostra a Figura 38.

Figura 38 – Problemas Referentes ao Projeto Arquitetônico Persistem

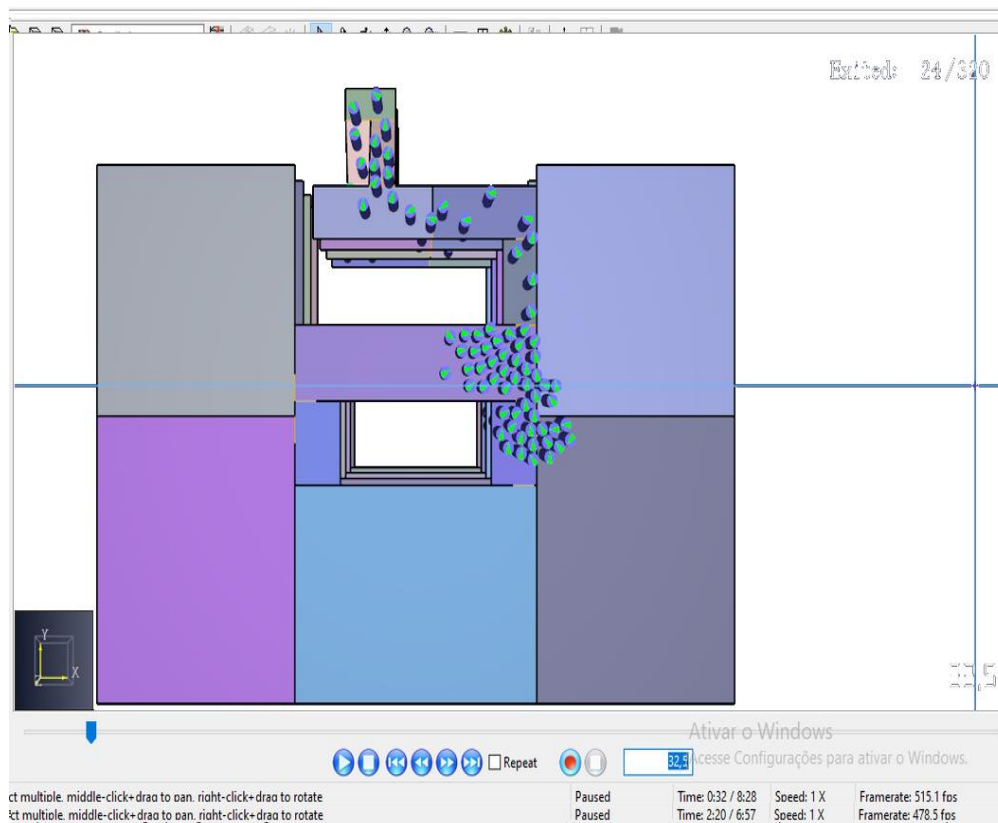


Fonte: O autor.

Os mesmo problema identificado na primeira evacuação persistiu nesta segunda simulação, o arqueamento. Podemos observar que neste intervalo de tempo o número de evacuações permaneceu o mesmo em comparação às duas simulações.

A Figura 39 apresenta uma imagem que retrata um número menor de evacuados em um determinado intervalo de tempo.

Figura 39 – Menor Número de Evacuados



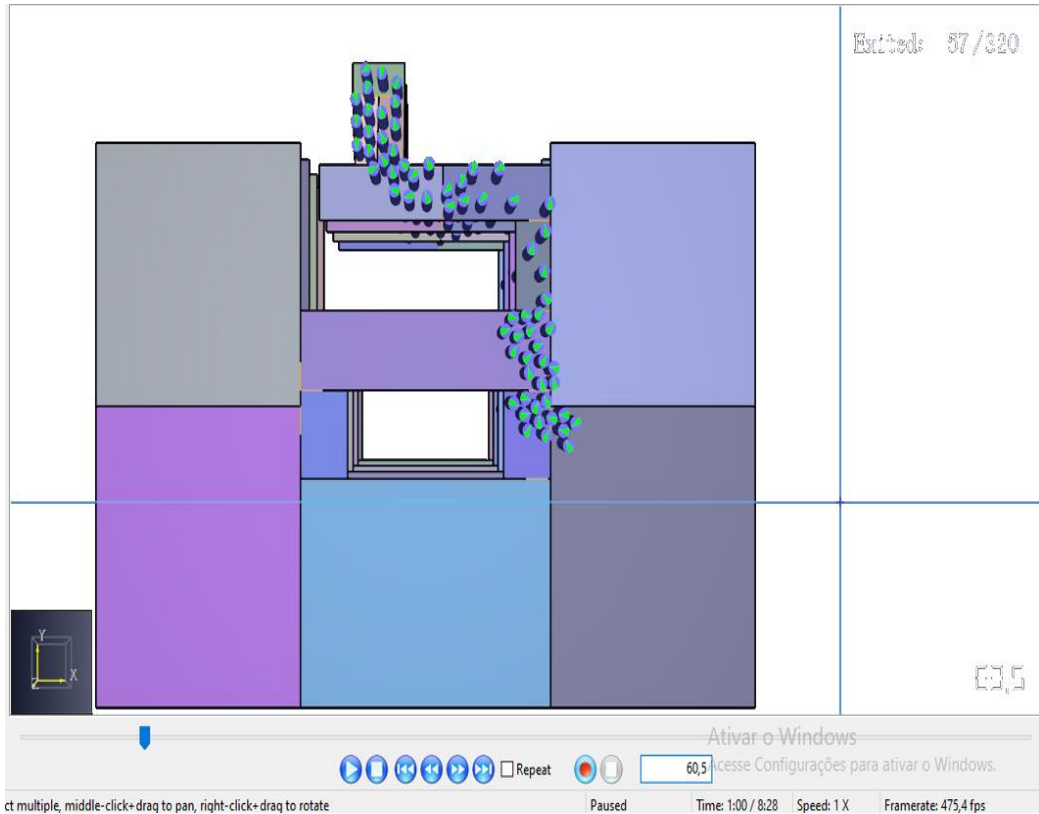
Fonte: O autor.

Na Figura 39 já podemos observar o impacto da diminuição da velocidade de deslocamento na escada de emergência. Na primeira simulação, neste intervalo de tempo, já havia sido feita a evacuação de 26 usuários, na segunda o número passou a ser de 24.

A rota de fuga permaneceu sendo um dado importante na segunda simulação, visto que devido à existir apenas um percurso, os ocupantes novamente tiveram dificuldades para passar entre as portas devido à aglomeração.

A Figura 40 mostra a escada de emergência com pouca fluidez.

Figura 40 – Escada de Emergência com Pouca Fluidez



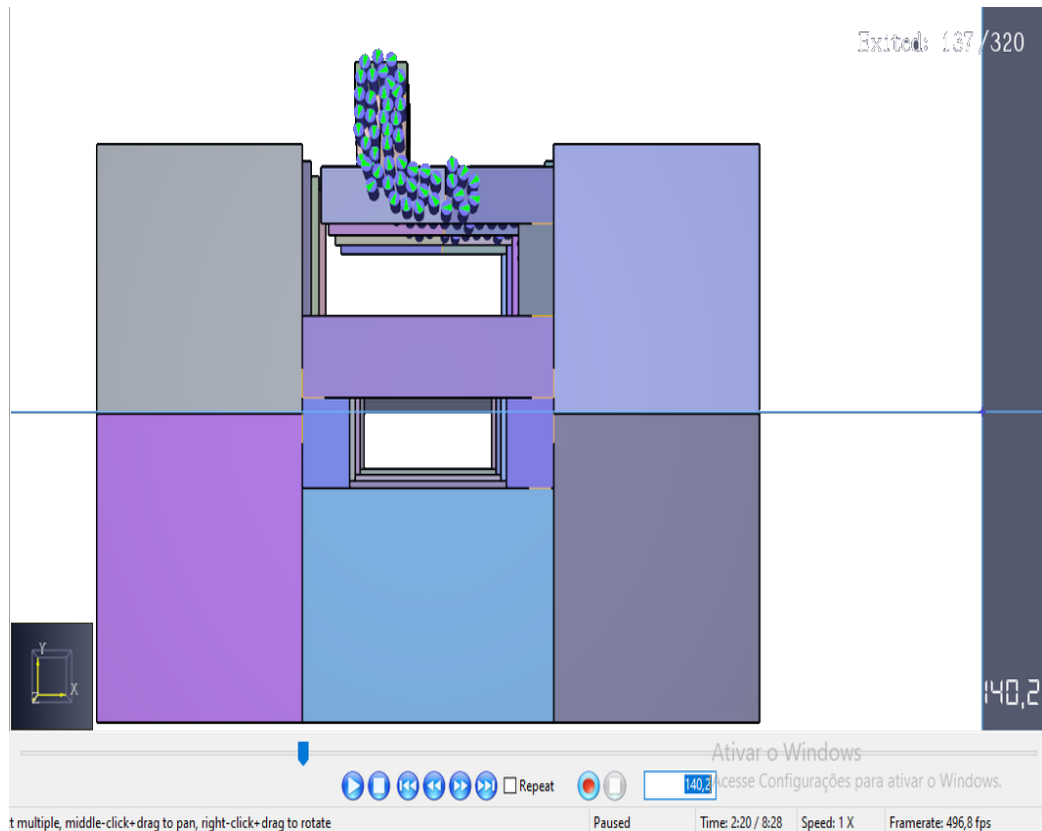
Fonte: O autor

A Figura 40 apresenta novamente um número inferior de evacuações em comparação ao aferido na simulação anterior, como era esperado.

Pode-se verificar que a escada de emergência neste período não apresenta vazão suficiente para escoar os usuários, que começam um processo de arqueamento ao redor deste elemento.

A Figura 41 apresenta os ocupantes perfilados durante a simulação neste intervalo de tempo.

Figura 41 – Ocupantes Perfilados



Fonte: O autor.

Pode-se observar que este é um momento crítico do processo de evacuação. Visto que todos os usuários já evacuaram de suas respectivas salas e já se encontram perfilados apenas à espera que os demais ocupantes percorram o perímetro da escada, que opera em sua capacidade máxima.

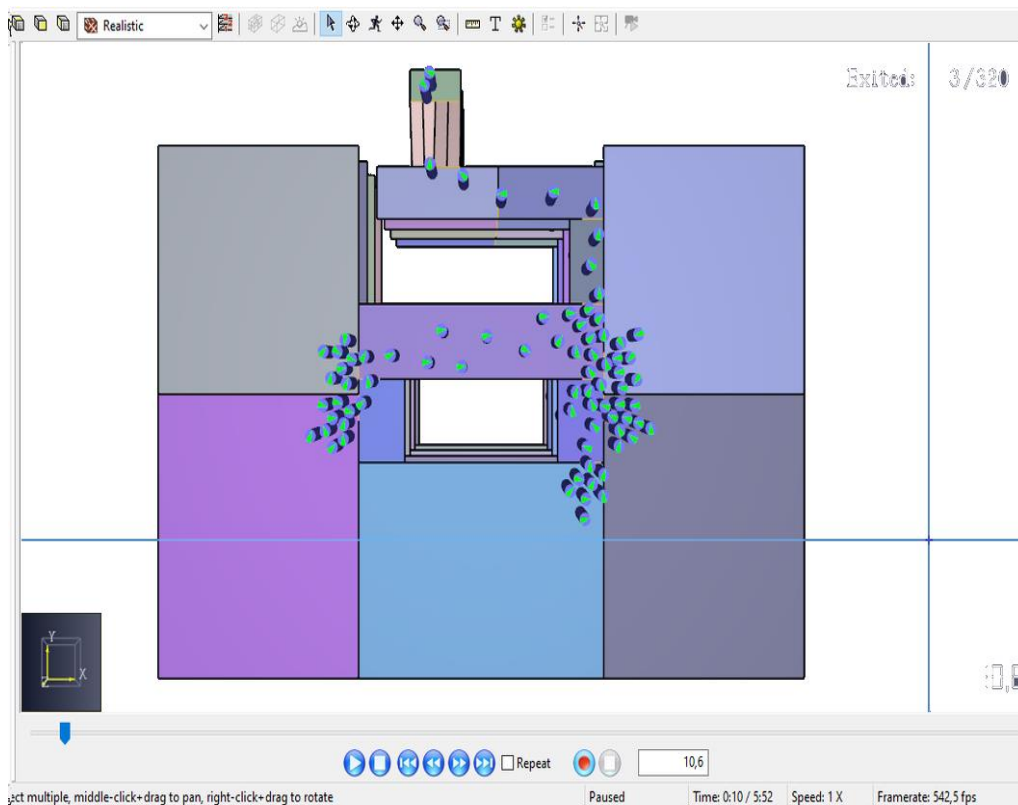
Neste momento, 137 pessoas haviam concluído seu processo de evacuação.

4.2 SIMULAÇÃO DE EVACUAÇÃO PELO MÉTODO ALTERNATIVO

O método alternativo se demonstrou mais eficiente comparando o tempo de deslocamento com o método da escada de emergência, e a diferença poderia ser ainda mais significativa, pois ao decorrer de sua simulação, foi possível observar alguns acontecimentos que reduziram sua eficiência. Nesta primeira simulação, também foi utilizada a velocidade de 0,8m/s para o deslocamento dos usuários na escada de emergência.

A seguir, foram apresentadas imagens com período de tempo semelhante ao do método pela escada de emergência destacadas anteriormente, salientando suas similaridades e diferenças, como na figura 42.

Figura 42 – Arqueamento Inicial



Fonte: O autor.

Aos 10 segundos de simulação é possível verificar o mesmo acontecimento que ocorreu na simulação pelo método da escada de emergência, o fenômeno de arqueamento ao redor das portas, segundo Almeida *et al.* (2013), que salienta a importância do projeto arquitetônico para o plano de evacuação, visto que os dispositivos de escape ainda apresentavam baixo tráfego.

Esta relação da evacuação com o projeto arquitetônico se intensifica a maneira em que nestes momentos de ansiedade as pessoas utilizam como rota de fuga o mesmo caminho que fizeram ao entrar na edificação, como cita Cordeiro (2016).

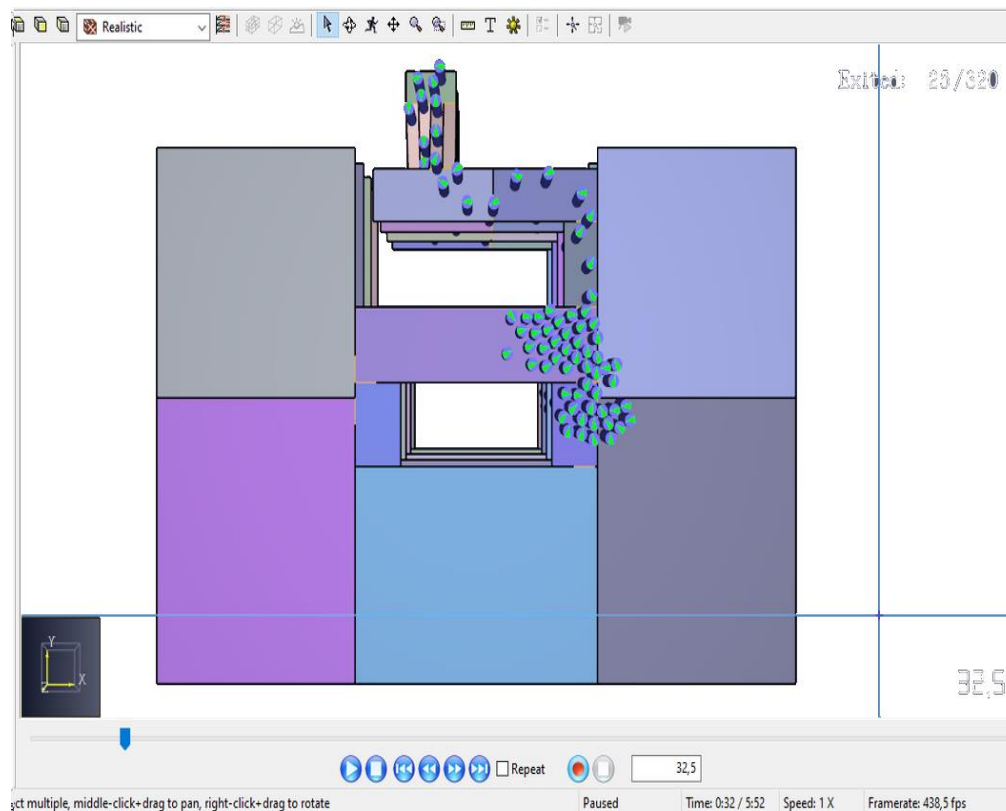
Bayat (2018) classifica tal ocorrido como “lei do menor esforço”, entretanto, como podemos observar na planta baixa simulada, só havia um trajeto de fuga disponível em cada pavimento, intensificando este evento de arqueamento.

Nesta planta baixa simulada, poderia ser proposta uma nova rota de fuga que ligasse o hall de elevadores ao corredor que se apresenta ao lado da escada de

emergência. Nesta suposição, há a expectativa de que se otimizaria o processo de escape, podendo ser confirmada com uma nova simulação com o prosseguimento deste estudo no futuro.

A figura 43 apresenta as rotas de fuga.

Figura 43 – Rotas de Fuga



Fonte: O autor.

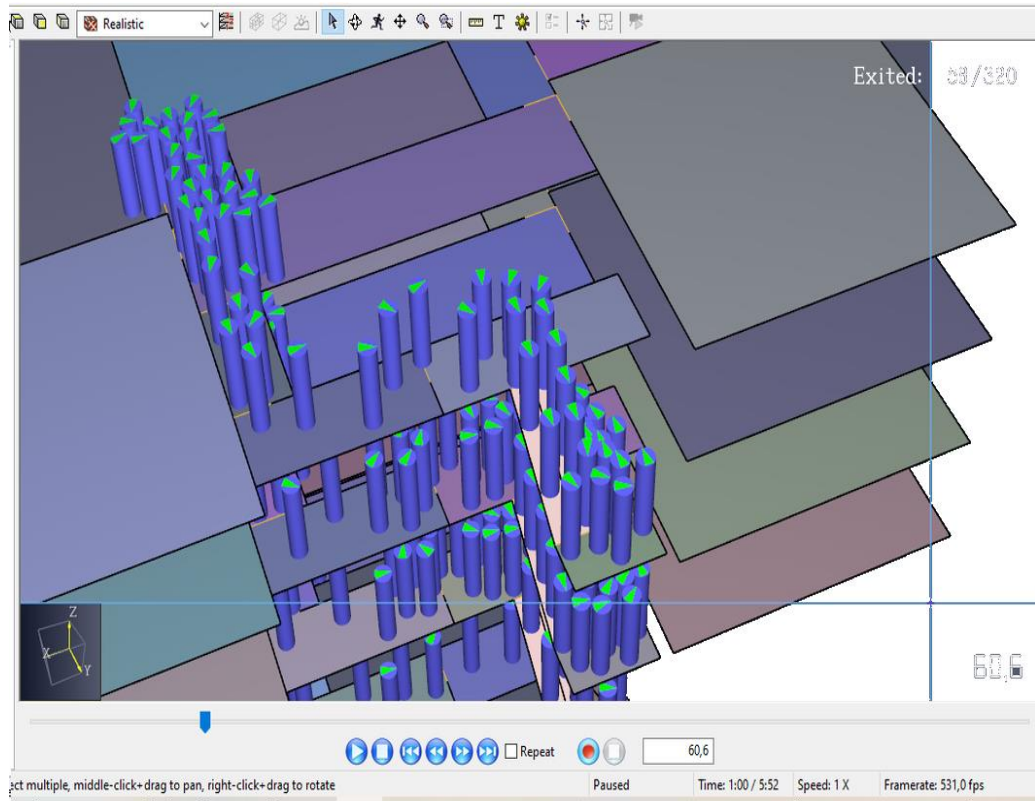
Na Figura 43 novamente apresentamos uma situação semelhante ao da simulação anterior, onde há o arqueamento no corredor que leva aos dispositivos de escape.

Um dado interessante nesta imagem, é que neste mesmo intervalo de tempo, o método pela escada de emergência havia evacuado uma pessoa a mais que pelo método alternativo.

Uma das hipóteses observadas para tal acontecimento, é que apesar de não ter estabelecido esta calibração de cálculo, os usuários optavam pelo método mais rápido de escape em um primeiro momento, o DDR. Nessa tentativa de adentrar ao equipamento aconteciam colisões entre os ocupantes do prédio, característica do modelo *steering*, que ao identificar tal acontecimento, penaliza a ação dos usuários em 1,5s.

A Figura 44 mostra a preferência dos usuários pelo método alternativo.

Figura 44 – Preferência pelo Método Alternativo



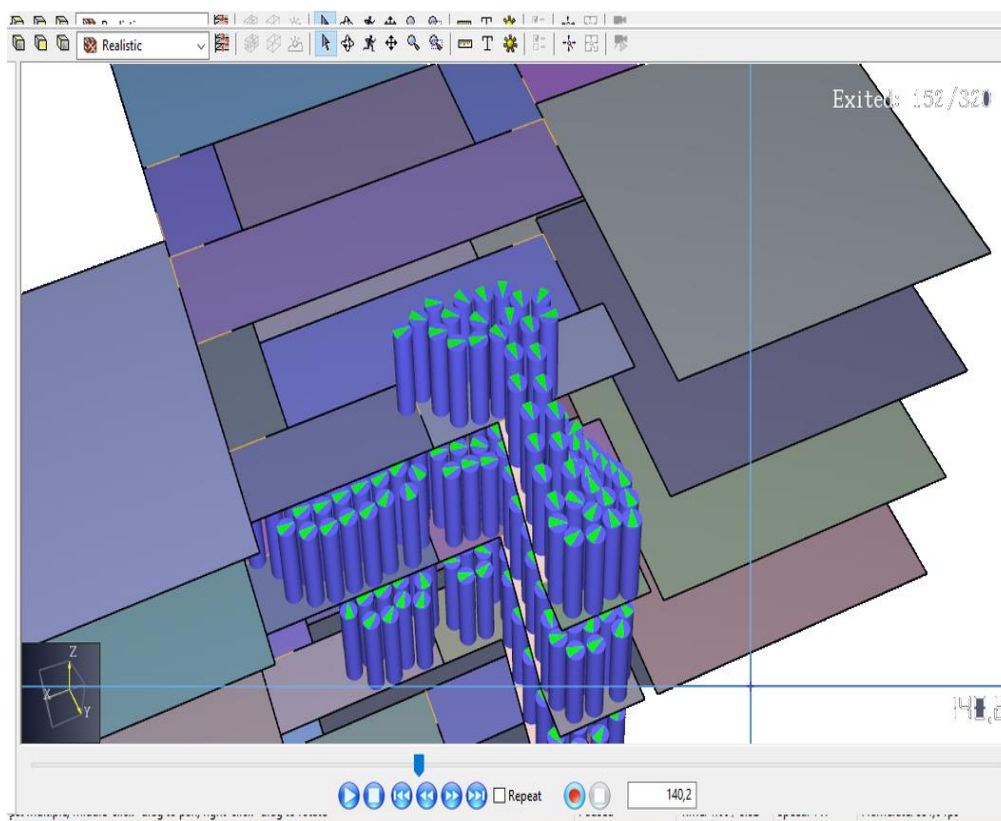
Fonte: O autor

Nesta figura é possível identificar, mais facilmente no terceiro pavimento, o que foi relatado anteriormente, há um fluxo maior de usuários pelo DDR.

Novamente é possível observar que um número menor de pessoas havia evacuado da edificação neste período de tempo em relação ao método da escada de emergência, sendo este de 58 pessoas.

A Figura 45 apresenta o momento em que o método alternativo ganha tração.

Figura 45 – Método Alternativo Ganha Tração



Fonte: O autor

A partir deste momento o método alternativo ultrapassa o que utiliza apenas a escada de emergência em número de evacuações e segue até o final desta maneira, estabelecendo a diferença de 15% entre os resultados finais de tempo de evacuação.

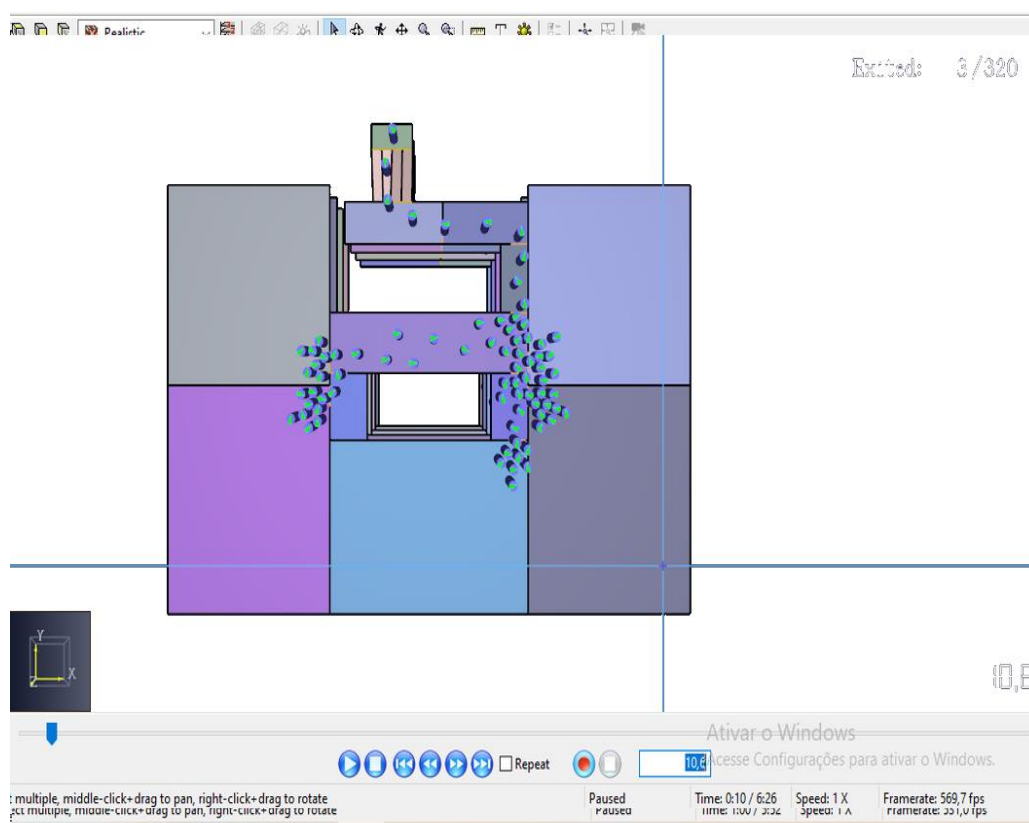
Analisando a situação, é possível chegar a conclusão, com base na simulação do *pathfinder*, que o método alternativo apresenta dificuldades no ordenamento de pessoas ao ingresso do equipamento. Na imagem podemos acompanhar que neste período de tempo os ocupantes já se encontram ordenados para a descida, sendo assim, evitando choques e penalização. Como a velocidade de descida pelo DDR é superior ao da escada de emergência, o método alternativo se torna mais rápido que o da escada de emergência.

4.2 Segunda Simulação pelo Método Alternativo

A segunda simulação de evacuação pelo método utilizando o DDR foi proposta com a velocidade de deslocamento pela escada de emergência sendo 0,6m/s.

Para efeitos de comparação, foram analisados os mesmos intervalos de tempo da primeira simulação, como mostra a Figura 46.

Figura 46 – Utilização do DDR



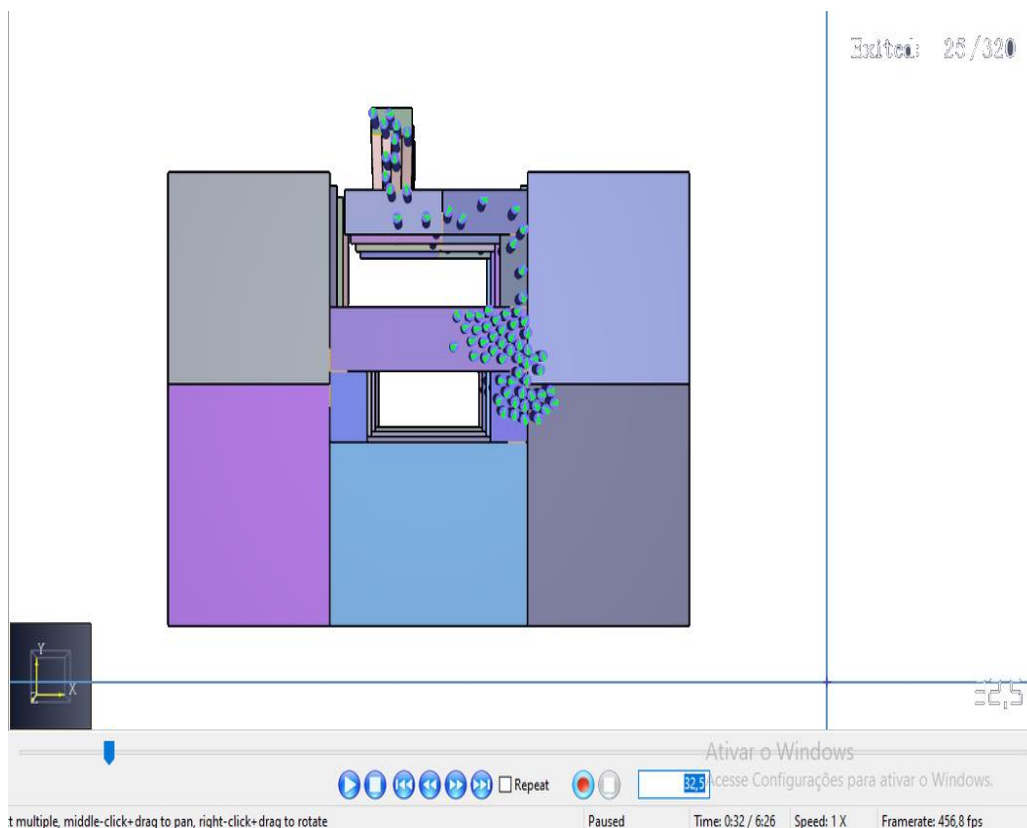
Fonte: O autor.

A Figura 46 apresenta o início do processo de evacuação da segunda simulação. Nesta etapa as características do movimento de escape permanecem idênticos aos comentados na primeira simulação, inclusive o número total de evacuados.

Um dado interessante de ser observado é que os ocupantes dão preferência à utilizar o DDR ao invés da escada de emergência neste primeiro momento, sendo que este direcionamento não foi calibrado. Na imagem podemos ver que dois usuários encontram-se no dispositivo de evacuação alternativo.

A Figura 47 apresenta que o número de evacuados se manteve idêntico neste intervalo de tempo.

Figura 47 – Número de Evacuados se Manteve Idêntico



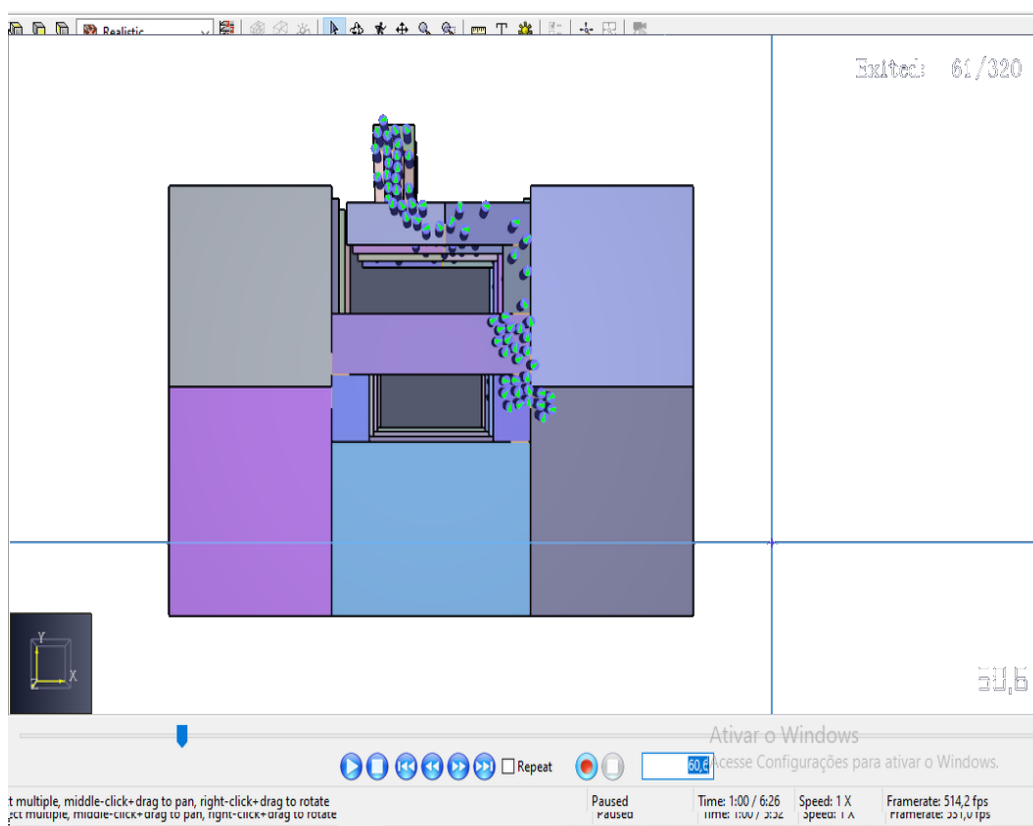
Fonte: O autor

A Figura 47 apresenta uma situação que já foi bastante abordada e que de fato é importante no processo de evacuação. O processo de arqueamento dos ocupantes segue interferindo no seu tempo de evacuação, visto que os dispositivos de escape apresentavam ainda uma fluidez considerável, enquanto os usuários enfrentavam problemas na sua rota de fuga.

Outro dado importante de ser levantado com esta imagem é o número total de evacuados. Podemos observar que ele se manteve idêntico ao da primeira simulação pelo método alternativo neste período de tempo. Com isto podemos concluir que os usuários deram preferência pelo DDR ao invés da escada de emergência, pois caso contrário, teríamos um número menor de evacuados devido ao decréscimo aplicado na velocidade de escoamento pela escada de emergência.

A Figura 48 mostra um aumento no número de evacuados

Figura 48 – Número Maior de Evacuados



Fonte: O autor

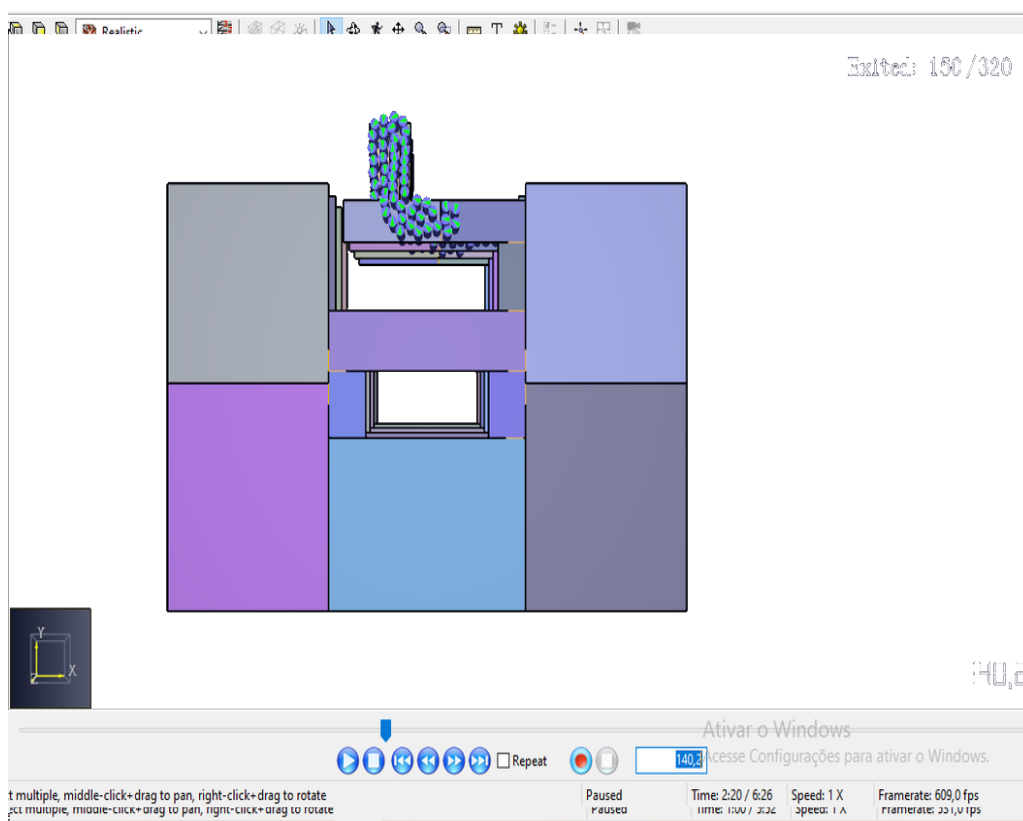
A Figura 48 trouxe uma informação em questão que exige reflexão, pois no mesmo período de tempo que a simulação anterior ela apresentou um número de evacuados maior.

Em um primeiro momento, não era esperado que um decréscimo na velocidade de deslocamento pela escada de emergência pudesse favorecer em um determinado momento para um número maior de evacuações.

Com base na análise feita anteriormente de que os ocupantes estavam dando preferência pelo DDR enquanto as alternativas de escape apresentavam boa fluidez, podemos considerar que este resultado é reflexo de um número menor de colisões entre os usuários. Na primeira simulação as velocidades de escoamento entre ambos equipamentos era semelhante, o que poderia estar causando certa indecisão entre os usuários, ocasionando em colisões que são penalizadas em 1,5s pelo parâmetro *steering* de simulação. Nesta simulação as velocidades são significativamente diferentes, o que pode ter alterado o padrão de escolha desses ocupantes neste período de tempo.

A Figura 49 apresenta um número menor de evacuados.

Figura 49 – Número de Evacuados Diminui



Fonte: O autor.

Na Figura 49 é possível verificar que os dispositivos de escape operam em sua capacidade máxima, e portanto, ocorre novamente o processo de arqueamento nos mesmos.

Outro dado importante de ser analisado é novamente o número total de evacuados, ele agora contando com 150 pessoas evacuadas, é minimamente inferior ao observado neste período de tempo na simulação anterior.

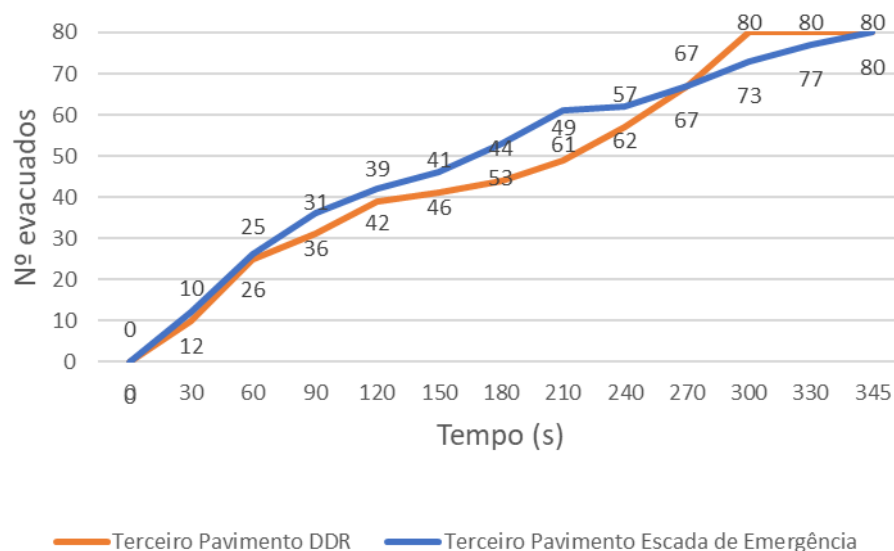
Isto se dá pelo fato de que neste momento o DDR não é capaz de dar vazão tamanha à demanda de usuários, e portanto a escada de emergência passa a ser mais utilizada. O decréscimo atribuído à velocidade de escoamento na escada de emergência passa a ser refletido ao número total de evacuados, que passa a ser menor que o da primeira simulação.

4.3 PRIMEIRA ANÁLISE DE EVACUAÇÃO POR PAVIMENTO

Neste tópico será apresentado o primeiro comparativo do número de evacuações de cada modelo simulado, em seus respectivos pavimentos, utilizando a

velocidade de deslocamento na escada de 0,6m/s. O pavimento térreo não será demonstrado, pois os usuários que ali estavam não necessitaram utilizar a escada de emergência, tampouco o DDR para sua evacuação neste pavimento.

Figura 50 – Evacuação no Terceiro Pavimento



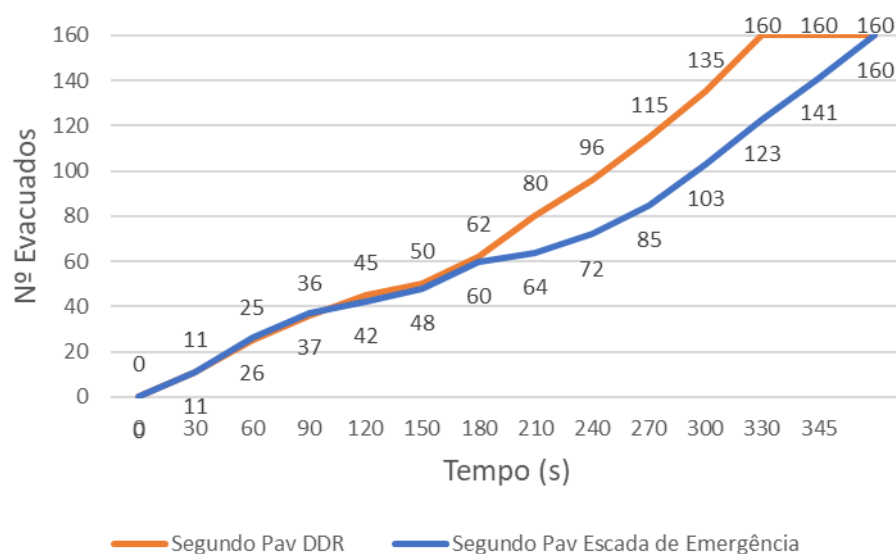
Fonte: O autor

Analisando a Figura 50, podemos perceber que no início do processo de evacuação há um maior escoamento de pessoas pelo processo de escape que considera apenas a escada de emergência como alternativa. Este acontecimento se dá pelo fato de que durante a simulação pelo método alternativo, os ocupantes ficam indecisos sobre qual método de evacuação utilizar, o que acaba gerando colisões entre os mesmos. Estas colisões levam à uma penalização de tempo devido ao parâmetro *steering* de simulação, fazendo com que os usuários demorem 1,5 segundos até voltarem sua trajetória inicial.

A partir dos 4 minutos e meio de simulação, a simulação pelo DDR ultrapassa a da escada de emergência em número de evacuados no terceiro pavimento. A razão desta mudança de tendência está ligada ao fato de que neste momento os usuários já estavam devidamente perfilados para o processo de evacuação, evitando possíveis colisões, e sendo assim, ao utilizar o DDR possuem um processo de escape mais rápido.

A Figura 51 apresenta a evacuação no segundo pavimento.

Figura 51 – Evacuação no Segundo Pavimento

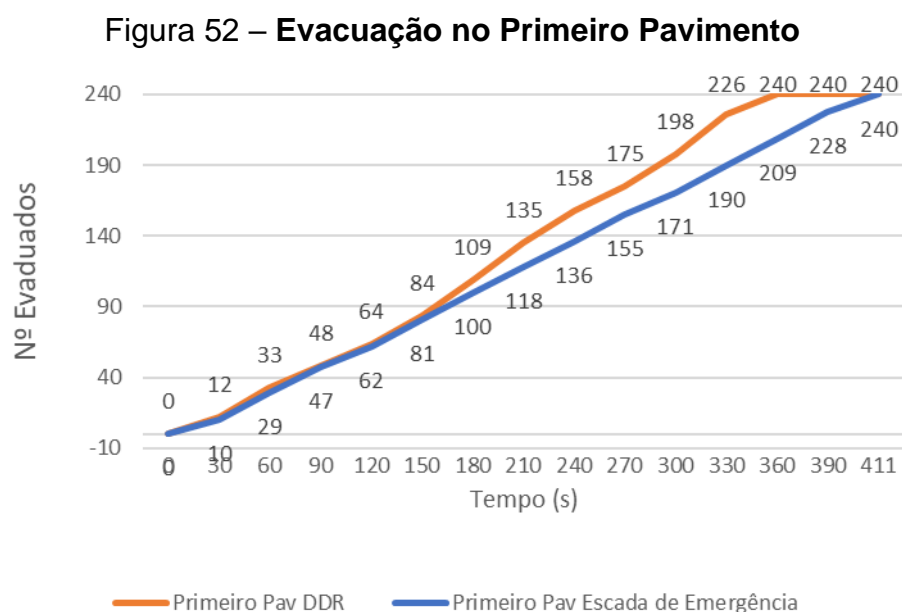


Fonte: O autor

A Figura 51 apresenta a etapa de evacuação no segundo pavimento, sendo assim, recebendo em seu comparativo os usuários que realizaram a evacuação do terceiro pavimento.

Os resultados da evacuação no segundo pavimento seguem a tendência do que foi apresentado na Figura 51. Pode-se observar, entretanto, que aos 3 minutos e 30 segundos já há uma diferença significativa entre os métodos. Isto está relacionado ao fato de que devido ao fluxo de usuários recebidos do quarto pavimento, há uma maior concentração de ocupantes no andar, formando um perfilamento de pessoas ainda mais acelerado.

A Figura 52 apresenta a evacuação no primeiro pavimento.



Fonte: O autor

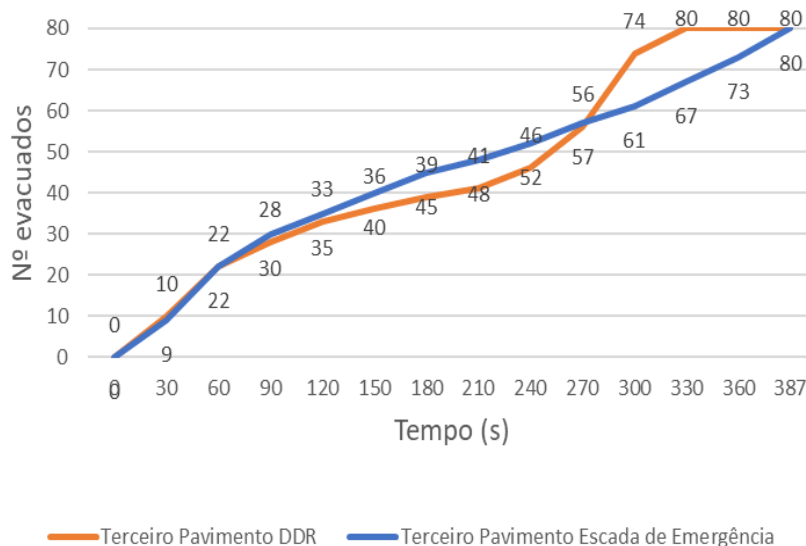
A Figura 52 que aborda sobre a evacuação no segundo pavimento reforça o que foi concluído na Figura 50. Em um primeiro momento os métodos se demonstram equivalentes, no entanto, à medida que o processo de evacuação avança, o DDR se demonstra mais eficaz. Assim sendo, chega a apresentar uma diferença de até 16% no número de evacuados em determinado momento.

4.3 Segunda Análise de Evacuação por Pavimento

A segunda análise abordará o comparativo do número de evacuações de cada modelo simulado, em seus respectivos pavimentos, utilizando a velocidade de deslocamento na escada de emergência de 0,6m/s. Assim como na primeira análise, o pavimento térreo novamente não será demonstrado, pois os usuários que ali estavam não necessitaram utilizar a escada de emergência, tampouco o DDR para sua evacuação neste pavimento.

A Figura 53 apresenta a análise da segunda evacuação do terceiro pavimento.

Figura 53 – Análise Segunda Evacuação do Terceiro Pavimento



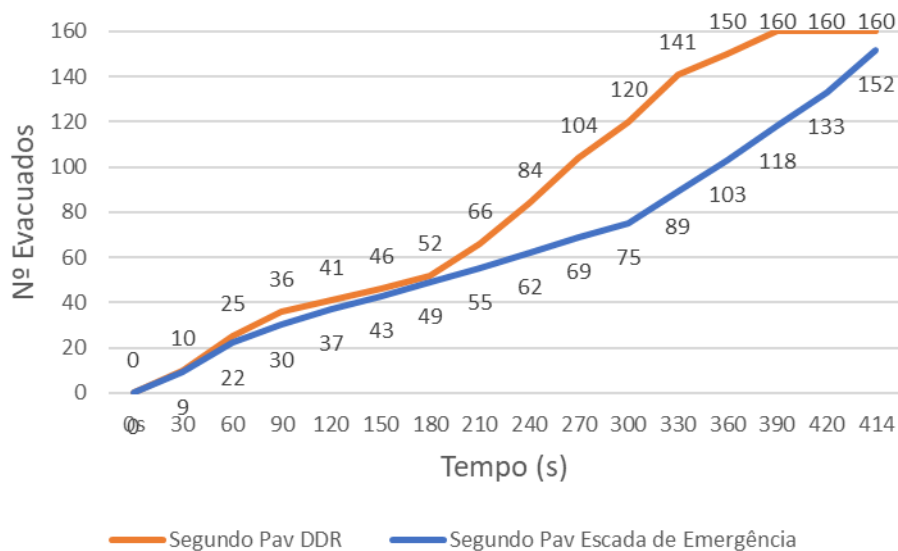
Fonte: O autor

A partir da Figura 53, é possível observar que esta segunda evacuação do terceiro pavimento se mostrou relativamente conforme com a primeira simulação. A escada de emergência se apresenta ligeiramente mais eficiente no início da simulação onde os usuários estão mais propensos à colisões.

Quando o número de pessoas no pavimento diminui e por consequência o conflito entre os mesmos também, eles passam a utilizar o DDR, que possui uma velocidade de escoamento maior, e por isso o modelo alternativo ultrapassa o que utiliza apenas a escada de emergência.

A Figura 54 apresenta a análise da segunda evacuação do segundo pavimento.

Figura 54 – Análise Segunda Evacuação do Segundo Pavimento



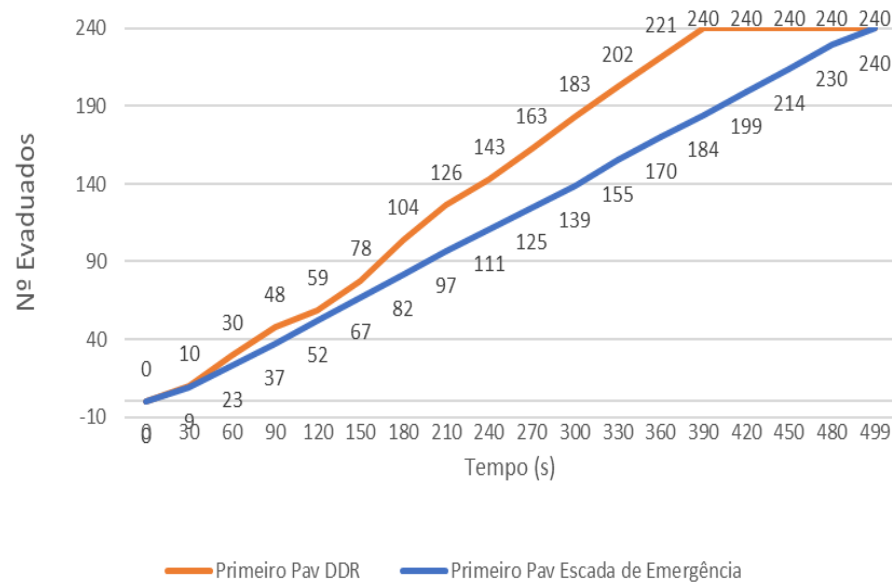
Fonte: O autor.

A segunda evacuação do segundo pavimento também se apresenta em tendência com o que foi encontrado na primeira simulação, apenas com uma diferença maior no número de evacuados entre os dois métodos.

Podemos observar que diferentemente do que ocorre no terceiro pavimento, o DDR já se apresenta ligeiramente mais eficiente desde o início do processo. Podemos atribuir este dado ao fato de que em um primeiro momento os usuários possuem uma rota livre para escolher a opção de escape mais rápida. E ao decorrer do tempo logo é iniciado um movimento de perfilamento de pessoas, promovido por usuários que descem do terceiro pavimento, e assim, diminuindo as colisões que ocorreram no terceiro pavimento.

A Figura 55 mostra a análise da segunda evacuação do primeiro pavimento.

Figura 55 – Análise Segunda Evacuação do Primeiro Pavimento



Fonte: O autor.

A Figura 55 apresenta um parecer próximo ao que foi obtido na primeira simulação, entretanto, com uma diferença maior se comparado o número de evacuados. O DDR se demonstra mais efetivo desde o início do processo e ganha tração a partir dos 3 minutos de evacuação. Pode-se atribuir este dado ao fato de que neste período de tempo os ocupantes que inicialmente estavam no pavimento térreo já haviam realizado sua evacuação, evitando processos de arqueamento e perfilamento por exemplo.

Em um dado momento, é possível observar que a diferença de número de evacuados entre os métodos chegou à 23%.

4.4 SÍNTESE DE RESULTADOS

Os relatórios referentes as primeiras simulações executadas pelo *software Pathfinder* foram apresentados na Tabela 6, sendo estes com a condição de velocidade de deslocamento na escada de emergência em 0,8m/s, como mostra a tabela 6.

Tabela 6 – **Resumo Resultados Primeira Simulação**

Dados iniciais de calibração			
Simulação	Método Escada de emergência	Método Alternativo	
Modelo Simulação	<i>Steering</i>	<i>Steering</i>	
Velocidade na escada (m/s)	0,8	0,8	
Velocidade no DDR (m/s)	-	0,9	
Velocidade laje (m/s)	1,19	1,19	
Largura ocupantes (mm)	400	400	
Distanciamento mínimo (mm)	50	50	
Largura escada de emergência (mm)	1000	500	
Largura DDR (mm)	-	500	
Ocupação	320	320	
Resultados		Diferença	
Tempo primeira evacuação(s)	2,38	2,38	-
Tempo última evacuação(s)	416,9	352,3	-15%
Distância mínima percorrida(m)	2,2	2,2	-
Distância máxima percorrida(m)	78,2	71,7	-8%
Distância média percorrida(m)	40,3	40	-1%
Desvio padrão(m)	14,2	13,7	-4%

Fonte: O autor

A Tabela 6 apresentou resultados condizentes com o que já era esperado, o método alternativo se apresentou 15% mais eficiente que o método que utiliza apenas a escada de emergência para a evacuação de incêndio.

O tempo da primeira evacuação e a distância mínima percorrida se mantiveram a mesma em ambas simulações, pelo fato de que os ocupantes do primeiro pavimento não necessitaram utilizar qualquer elemento de evacuação. Outro dado importante para que este resultado tenha ocorrido é o que foi apresentado na Tabela 5, sobre a posição organizada dos ocupantes no *software*, que trouxe confiabilidade no sistema para que as variáveis encontradas fossem caracterizadas pelos métodos distintos aplicados.

A expectativa de que o método alternativo fosse mais rápido comparado ao que utiliza apenas a escada de emergência se confirmou, a medida em que a

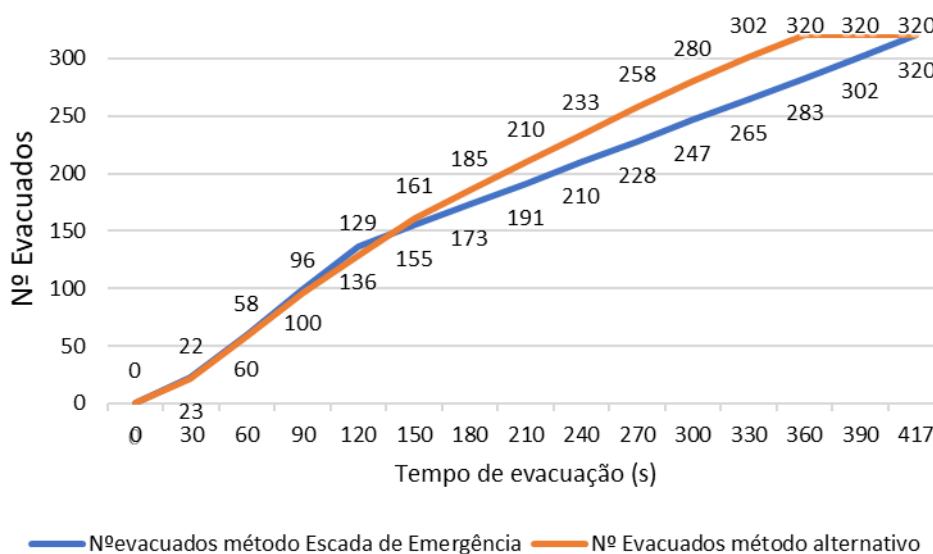
velocidade de descida pelo DDR é maior do que a calibrada para a escada de emergência.

No entanto, nesta modelagem pelo *Pathfinder* não é possível acrescentar alguns fatores importantes, como um coeficiente de fadiga ao usuário, o que tenderia em termos práticos a diminuir ainda mais a velocidade de deslocamento pela escada de emergência, aumentando a diferença de efetividade entre ambos os métodos.

Esta situação da fadiga se intensifica à medida que o ocupante de um prédio alto em um evento de incêndio teria de descer múltiplos pavimentos, exigindo de seu condicionamento e quaisquer deficiências físicas, sendo isto atenuado pelo método alternativo.

A relação de tempo de escape dos usuários entre os dois métodos nesta primeira simulação é apresentada na Figura 45.

Figura 56 – Primeiro Comparativo entre os Métodos de Evacuação



Fonte: O autor

Na Figura 56, como já comentado anteriormente, é possível observar que os dois métodos se assemelham muito em número de evacuações até o segundo minuto de simulação. Após isto, o método alternativo ganha tração e demonstra mais eficiência para o processo.

A análise deste fato sugere que o método alternativo é mais rápido à medida que sua velocidade de escoamento dos ocupantes é maior se comparada ao método que utiliza apenas a escada de emergência.

Foi averiguado a situação em que o método pela escada de emergência foi ligeiramente mais eficiente nos primeiros minutos de operação. A conclusão para tal acontecimento, é que os usuários sofreram colisões no método alternativo ao escolher uma das alternativas de escape, o que não ocorria no outro método. O modo de simulação *steering* administra esta situação, e penaliza esses choques de usuários em 1,5s até que os mesmos voltem sua rota novamente.

A Tabela 7 apresenta os relatórios referentes à segunda série de simulações executadas pelo *software* pathfinder, sendo estes com a condição de velocidade de deslocamento na escada de emergência em 0,6m/s.

Tabela 7 – Resumo Resultados Segunda Simulação

Dados iniciais de calibração			
Simulação	Método Escada de Emergência	Método Alternativo	
Modelo Simulação	<i>Steering</i>	<i>Steering</i>	
Velocidade na escada (m/s)	0,6	0,6	
Velocidade no escorregador (m/s)	-	0,9	
Velocidade laje (m/s)	1,19	1,19	
Largura ocupantes (mm)	400	400	
Distanciamento mínimo (mm)	50	50	
Largura escada de emergência (mm)	1000	500	
Largura Escorregador (mm)	-	500	
Ocupação	320	320	
Resultados			Diferença
Tempo primeira evacuação(s)	2,38	2,38	-
Tempo última evacuação(s)	496,1	386,5	-22%
Distância mínima percorrida(m)	2,2	2,2	-
Distância máxima percorrida(m)	77,5	72,4	-6%
Distância média percorrida(m)	40,8	40,2	-2%
Desvio padrão(m)	14,6	13,9	-5%

Fonte: O autor

A Tabela 7 apresenta resultados que novamente confirmam as expectativas de que o método alternativo fosse mais eficiente que a evacuação pela escada de emergência.

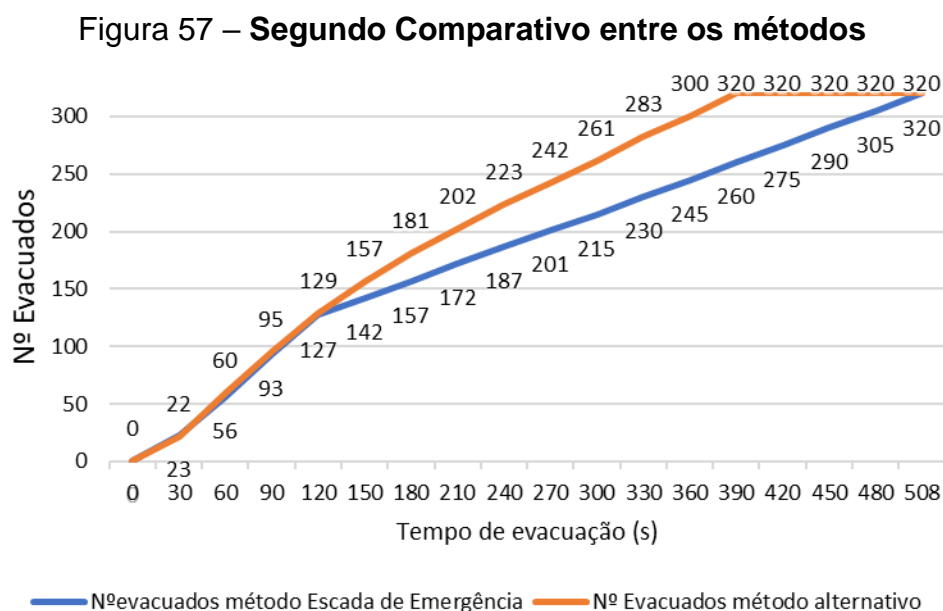
Um dado importante para destacar é que o decréscimo atribuído à velocidade de escoamento pela escada de emergência influi na diferença entre os tempos de evacuação, no entanto, o decréscimo não é diretamente proporcional à esta diferença encontrada. Na primeira simulação se tem um decréscimo de 11% na velocidade entre os dispositivos de escape, o que resultou em 15% na diferença entre os tempos de evacuação. Na segunda simulação, o decréscimo foi de 33% na

velocidade entre os dispositivos de escape, resultando em uma diferença de apenas 22% entre os tempos de evacuação.

A segunda simulação foi importante para destacar que o resultado final não foi impactado exclusivamente pela diferença de velocidade atribuída aos dispositivos de escape. Foi concluído que esta diferença de velocidade alterou também o padrão de comportamento dos usuários, visto que na primeira simulação eles tinham preferência por utilizar o DDR mas apresentavam certa hesitação. Na segunda simulação ficou destacado que enquanto o método alternativo tinha vazão para a demanda, os usuários optavam por este método.

Os demais valores obtidos não demonstraram variações significativas.

A relação de tempo de escape dos usuários entre os dois métodos na segunda simulação é apresentada na Figura 46.



Fonte: O autor

Assim como comentado no comparativo da primeira simulação, podemos observar que até os dois minutos de evacuação os dois métodos se assemelham no número de evacuações.

Ao longo da análise da segunda simulação foi atribuído ao fato do DDR ter sido ligeiramente superior ao método da escada de emergência a diminuição do número de colisões entre os usuários no método alternativo. Estes choques foram ocasionados por uma certa indecisão dos ocupantes na primeira simulação ao escolher entre evacuar pela escada de emergência ou pelo DDR. Na segunda simulação foi observada esta mudança de padrão de comportamento, onde as

peças buscavam de maneira convicta o dispositivo que possuía maior velocidade de escoamento, enquanto este possuía vazão suficiente para a demanda.

A partir dos dois minutos podemos observar que o método alternativo ganha tração à medida que os usuários se encontram perfilados e o DDR possui velocidade de escoamento significativamente maior.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou avaliar criticamente uma possibilidade utilizar um método de evacuação alternativo que seja mais rápido que os convencionais para edifícios altos, com auxílio de simulação computacional.

Para isto, o trabalho tratou em um primeiro momento a apresentar a comunidade esse potencial risco de problemas de evacuação, que até então se apresenta oculto, identificando como os dispositivos de evacuação se comportaram em acidentes passados.

Em um segundo momento, foi analisado o funcionamento dos dispositivos convencionais utilizados, equipamentos alternativos, para então propor uma nova ideia de dispositivo de evacuação que não viesse a comprometer a utilização dos atuais. Esta segunda parte contou com a utilização do *software pathfinder* para comprovar através de simulações, as expectativas iniciais de que a utilização do DDR tem fundamentos para ser considerado como um dispositivo de escape rápido.

A partir do que foi abordado no trabalho, é possível observar que os eventos de incêndio do passado foram trágicos muito devido a falta de portas corta-fogo, onde o fogo e fumaça rapidamente tomavam a escada de emergência e impossibilitavam a evacuação em um tempo de escape seguro.

Também, foi estudado o comportamento humano em situações de estresse como as de eventos de incêndio, para compreender o que deve ser feito para facilitar a rota de fuga destas pessoas. Neste sentido, foram adotadas normas de proteção ao incêndio e a verificação obrigatória para validação dos termos foram adotadas, além do código para instalações prediais de água e esgoto. (BUBLITZ, 2021). Mesmo estando estas edificações de acordo com a ABNT NBR 9077/2001 – Saídas de Emergência em edifícios, passamos por um processo de verticalização urbana nos últimos anos, em que os dispositivos de evacuação não acompanharam tal demanda.

Os dispositivos de evacuação atualmente empregados foram analisados e foi identificado que não podemos utilizar o elevador convencional como um meio para escape rápido, pois em um evento de incêndio costuma-se cortar a energia da edificação, sendo assim, o mesmo interromperá seu funcionamento, aprisionando seus ocupantes. Desta forma, temos apenas a escada de emergência para servir de solução de evacuação, sendo uma alternativa que exige muito do condicionamento

físico dos ocupantes do prédio sendo este considerado alto. Assim, foi estudado as possibilidades de equipamentos alternativos encontrados no mercado, como o *evacuation slide* e o *escape chute system*.

O primeiro também é utilizado para evacuação alternativa de aeronaves, mas devido ao seu modo de operação, só tem possibilidade de ser usado em prédios de até quatro pavimentos, o que não é suficiente. Ao contrário do *evacuation slide*, o *escape chute system* realiza uma evacuação vertical, sendo uma ótima opção para prédios altos, entretanto, o projetista calcula que em uma altura de até 30 metros, o produto consegue atender uma demanda entre 4 e 5 pessoas por minuto (GMBH, 2021), o que não é considerado rápido o suficiente para evacuar um prédio em sua totalidade atendendo um TDES.

A partir desta etapa, passou-se a modelar um esboço de um equipamento no *software solidworks*, que fosse capaz de ser instalado junto à escada de emergência, sem comprometer sua funcionalidade diária e atuando em conjunto em momentos de estresse. O modelo passou a possuir um formato de escorregador, e para tal, foi utilizado normas da seção de normas da ABNT que trata sobre *playgrounds*, a NBR 16071 (ABNT, 2012). Padronizando as dimensões do escorregador como a norma qualifica, definimos o material do equipamento em um aço inoxidável polido.

Após isso, foi feito um estudo para fazer a calibração do esboço no *software pathfinder* para enfim efetuar a simulação pelo métodos que utiliza apenas a escada de emergência para a evacuação e o alternativo, utilizando um modelo de planta baixa de um prédio. Por fim, chegou-se a resultados que satisfazem as expectativas iniciais de que o método alternativo se apresenta potencialmente mais rápido que o a escada de emergência.

Entretanto, é necessário fazer um contraponto, o DDR possui uma velocidade de escoamento maior que a escada de emergência, mas em um evento prático pode apresentar uma capacidade de vazão menor em relação à que a escada de emergência propõe. Isto se dá pela diferença na ocupação de espaço que se aplica para cada método, que não pode ser alterada no modelo computacional.

E pela imprevisibilidade de pessoas conseguirem dividir um espaço na escada de emergência em um evento prático, que não está previsto em projeto, e também não foi possível realizar na ferramenta computacional utilizada para as simulações.

Tendo em vista este parecer, se faz necessário realizar um experimento prático para comprovar o que foi encontrado através da simulação computacional, pois é um equipamento compacto e que pode ser instalado em prédios já existentes.

REFERÊNCIAS

AMIRES, J. C. de L. **O processo de verticalização das cidades brasileiras.** Boletim de Geografia, v. 16, n. 1, p. 97–105, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14712:** Elevadores elétricos – elevadores de carga monta – cargas e elevadores de maca. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050:** Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020.

ALVES, A. B. C. G. **Incêndio Em Edificações:** a Questão Do Escape Em Prédios Altos Em Brasília. Medicina, v. 50, n. 61, p. 205, 2005.

ALVES, A. B. C. G. (. **71-Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura.** 2019.

ALMEIDA, João E.; ROSSETI, Rosaldo J. F.; COELHO, Antônio L. **Crowd Simulation Modeling Applied to Emergency and Evacuation Simulations using Multi-Agent Systems.** Porto, 2013. Disponível em: Crowd Simulation Modeling Applied to Emergency and Evacuation Simulations using Multi-Agent Systems (researchgate.net) . Acesso em: 24 jul. 2021.

AMOR, H. B.; MURRAY, J.; OBST, O. Fast, **Neat and Under Control:** inverse steering behaviors for physical autonomous agents. In: RABIN, S. Ai Game Programming Wisdom 3 Charles River Media Publisher, 2006.

BAYAT, Navid. **Panic and Human Behavior in Fire & Emergency Situations**. Ljubljana, 10 July 2018. Disponível em: . Acesso em: 29 jun. 2021.

BRUSHLINSKY, Nikolai et al. World fire statistics. Report, Russia, n. 22, 2017. Disponível em: . Acesso em: 4 maio. 2021.

BUBLITZ, J. **Incêndio que abalou Porto Alegre completa 45 anos com legado de lições | GZH**. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2021/04/incendio-que-abalou-porto-alegre-completa-45-anos-com-legado-de-lico-es-cknyzrm5l008l0198l6fxxkhfl.html>>. Acesso em: 2 maio. 2021.

CORRÊA, C. et al. **Os Padrões Mundiais dos Incêndios Comparados ao Estado de Pernambuco**. Revista FLAMMAE, v. 2, n. 3, p. 258, 2016.

CORDEIRO, Elisabete et al. **Estudo sobre o comportamento humano em caso de incêndio na sociedade portuguesa**. In: JORNADAS DE SEGURANÇA AOS INCÊNDIOS URBANOS - JORNINC, 5., 2016. Lisboa. Anais eletrônicos... Lisboa: LNEC, 2016. Disponível em: < <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/4567>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

DA COSTA, B. R. **Aplicação de um modelo numérico na avaliação da evacuação de um edifício**. 2009. 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009. Disponível em: . Acesso em: 28 jun. 2021.

DEL CARLO, Ualfrido. **A Segurança contra Incêndio no Brasil**, In____ A Segurança Contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

DUPONT. **Kevlar**. Disponível em: <<https://www.dupont.com.br/brands/kevlar.html>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

DENGO, Débora. **Antropometria e ergonomia: Importância e aplicabilidade**. Soluções ergonômicas, 2021. Disponível em:<

<https://solucoesergonomicas.com.br/antropometria-e-ergonomia-importancia-e-aplicabilidade/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2021.

ENGINEERING, **Thunderhead. Pathfinder Technical Reference**. Manhattan, 2021.

ENGINEERING, **Thunderhead. Pathfinder User Manual**. Manhattan, 2021.

Estatísticas 2012 anual. **Instituto Sprinkler Brasil**, São Paulo, 2012. Disponível em:< <https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/estatisticas-2012-anual/>> Acesso em: 07 de abril 2021.

FEMA. **U.S. Fire Administration**. Disponível em: <<https://www.usfa.fema.gov/index.html>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

Falk, P.; **Mensuração dos níveis de potência máxima, potência média e dos índices de fadiga de atletas da escola de futebol do Grêmio em Lages, SC**; Graduando de Educação Física – Bacharel pela FACVEST. EFDEPORTES Revista digital, Buenos Aires – Año 14 - Nº 134, julho de 2009. Recuperado dia 11 de novembro de 2021 de: EFDEPORTES.COM: <http://www.efdeportes.com/efd134/mensuracao-dos-niveis-de-potencia-maxima-defutebol.htm>

GMBH, A. T. L. **Safety equipment**. Disponível em: <http://www.escape-chute.net/neu/uk/safety_equipment.php>. Acesso em: 29 jun. 2021.

GOUVEIA, A. M. C. DE; ETRUSCO, P. **Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil**. Rem: Revista Escola de Minas, v. 55, n. 4, p. 257–261, 2002.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. Instrução técnica n. 11/2014: saídas de emergência em edificações. Goiás, 2014.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia

Militar. Corpo de bombeiros. Instrução técnica n. 08/2017-2ª: saídas de emergência em edificações. Goiás, 2017.

GOUVEIA, Antônio Maria Claret de; ETRUSCO, Paula. **Tempo de escape em edificações**: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto , v. 55, n. 4, Out. 2002 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672002000400005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 de julho 2021.

HISOUR. **Slide de evacuação** – HiSoUR Arte Cultura Exposição. Disponível em: <<https://www.hisour.com/pt/evacuation-slide-38333/>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

HUBER, M. **How Things Work**: Evacuation Slides | Flight Today | Air & Space Magazine. Disponível em: <<https://www.airspacemag.com/flight-today/how-things-work-evacuation-slides-22196601/>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

HOFMEISTER, Craig. **Using the SFPE Guidelines for Substantiating a Fire Model for a Given Application**. Palestra. Fire and Evacuation Modelling Technical Conference, 2011. Maryland, 2011. Disponível em: <<https://youtu.be/ypbKKQyyjzg>>. Acesso em: 24 jul. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil das Cidades – Pernambuco** - Recife. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=261160&search=pernambuco|recife> Acesso em: 11 abril 2021.

INTERNATIONAL SAFETY SUPPLY. **Escapechutesystems**. Disponível em: <<http://www.internationalsafetysupply.com/escapechutesystems.html>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

JOHNSON, D. **How to Escape Down an Airplane Slide - TIME**. Disponível em: <<http://content.time.com/time/nation/article/0,8599,1706188,00.html>>. Acesso em: 29 jun. 2021.

LUDOVICO, M. T. **Comportamento em emergências**. 2015.

MACHADO, P. E. P. **United States Patent (19). n. 19**, 1986.

MUNIZ, R. M. D. **uso-de-simuladores-como-uma-ferramenta-de-auxilio-na-definicao-de-planos-de-retirada-de-emergencia**. [s.l: s.n.].

NELSON, H. E.; MOWRER, F. W. **Emergency Movement**. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 3th. ed. Maryland: National Fire Protection Association, 2002.

ONO, Rosaria. **Proteção do Patrimônio histórico-cultural contra incêndio em edificações de interesse de preservação**. Palestra apresentada na Fundação Casa de Rui Barbosa. Rio de Janeiro, 2004.

OTIS. **Por que evitar os elevadores durante um incêndio?** - Blog Otis Elevator Company. Disponível em: <<https://blog.otis.com.br/por-que-evitar-os-elevadores-durante-um-incendio/>>. Acesso em: 5 maio. 2021.

PEREIRA, Caio Mário da Silva; PEREIRA, Tânia da Silva. **Instituições de direito civil** – Vol. V. 25. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2017.

PROULX, G. **Occupant behaviour and evacuation**. Proceedings of the 9th International Fire Protection Symposium, p. 219–232, 2001.

REYNOLD, C. W. **Steering Behaviors For Autonomous Characters In: PROCEEDINGS of the Game Developers Conference**, 1999. Miller Freeman Game Group, San Francisco, 1999.

SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. **Engineering Guide: human behavior in fire**. 2nd ed. 2017.

SANTOS, Emanuelle; BLANCO, José: **Fisiologia da fadiga muscular: Quebrando paradigmas**. Brasília 2009. Disponível em:<<https://portalrevistas.ucb.br/index.php/efr/article/view/1369>>. Acesso em: 07 de novembro de 2021.

SEITO, Alexandre Itiu et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Projeto Editora, 2008.