



CONTRIBUTOS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM CENTRO COMERCIAL

JOÃO AFONSO PIRES DA COSTA

julho de 2024

CONTRIBUTOS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM CENTRO COMERCIAL

João Afonso Pires da Costa

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Gestão Industrial**

Orientador: Professor Doutor Luís Pinto Ferreira

Co-orientador: Professora Doutora Elga Costa

Júri:

Presidente:

Professor Doutor Rafaela Carla Barros Casais, Professor Adjunto Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, Professor Coordenador Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Professor Doutor José António de Vasconcelos Ferreira, Professor Associado, Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo, Universidade de Aveiro

Porto, Julho 2024

Agradecimentos

Completar esta dissertação foi uma jornada que não teria sido possível sem o apoio e a contribuição de muitas pessoas e instituições. Gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão a todos os que me apoiaram durante este processo.

Ao Vila do Conde Fashion Outlet, mais especificamente ao Sr. Filipe Araújo, pela disponibilidade de realizar o projeto de dissertação e ajuda durante todo o meu percurso.

Primeiramente, quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela constante orientação, paciência e conselhos ao longo deste projeto. O seu conhecimento e encorajamento foram fundamentais para a conclusão desta tese. Agradecer também à professora doutora Elga Costa pelos contributos e ajuda para a realização desta dissertação.

À minha família, nomeadamente os meus pais, por me apoiarem incondicionalmente e constantemente me ajudarem e apoiar a ser a melhor versão de mim.

Por último aos meus amigos que sempre me ajudaram em todas as situações e me ajudaram a nunca desistir dos meus objetivos.

Resumo

A Indústria 4.0 representa uma revolução em inúmeros processos, nomeadamente, a evacuação de edifícios, apresentando tecnologias avançadas como é o caso da criação de modelos de simulação. Neste sentido, reconhecendo-se que o tempo total de evacuação é crucial para a segurança de qualquer centro comercial, é essencial garantir a proteção dos ocupantes em situações de emergência, como catástrofes naturais, condições climáticas adversas, falhas mecânicas ou erros humanos. Portanto, é imprescindível existir um plano de evacuação de emergência eficiente que permita a saída segura de todos os ocupantes no menor tempo possível.

No âmbito desta dissertação, o principal objetivo foi a análise e melhoria do processo de evacuação do Vila do Conde Porto Fashion Outlet. De modo a realizar este estudo, foi utilizada a simulação computacional, com recurso ao *software* Pathfinder, de forma a elaborar um modelo de apoio à decisão capaz de estudar e analisar diferentes cenários de evacuação, encontrar o menor tempo total de evacuação e encontrar possíveis pontos de estrangulamento e congestionamento.

Por meio do *software* Pathfinder, foram analisados 6 cenários diferentes para determinar o menor tempo de evacuação, bem como identificar a localização do perigo com maior influência na duração da evacuação. O modelo de simulação foi utilizado para analisar a evacuação de 7000 pessoas, correspondente ao dia da semana com maior ocupação, isto é, o fim de semana.

Os resultados obtidos nas simulações permitiram concluir que a evacuação com menor duração foi obtida no cenário 1 com todas as saídas disponíveis e demorou 627 segundos a ser concluída.

Desta forma, demonstrou-se a eficácia de uma das tecnologias da Indústria 4.0 na melhoria de processos de evacuação e abriu novas perspetivas para a implementação de novas soluções.

Palavras-chave: Simulação, Centro Comercial, *Software* Pathfinder

Abstract

Industry 4.0 represents a revolution in numerous processes, notably in building evacuation, presenting advanced technologies such as the creation of simulation models. In this sense, recognizing that total evacuation time is crucial for the safety of any shopping center, it is essential to ensure the protection of occupants in emergency situations, such as natural disasters, adverse weather conditions, mechanical failures or human errors. Therefore, it is imperative to have an efficient emergency evacuation plan that allows the safe exit of all occupants in the shortest possible time.

Within the scope of this dissertation, the main objective was the analysis and improvement of the evacuation process at Vila do Conde Porto Fashion Outlet. To conduct this study, computer simulation was used, employing Pathfinder software, to develop a decision support model capable of studying and analyzing different evacuation scenarios, finding the shortest total evacuation time, and identifying potential bottlenecks and congestion points.

Using Pathfinder software, 6 different scenarios were analyzed to determine the shortest evacuation time and to identify the location of the hazard with the greatest influence on the evacuation duration. The simulation model was used to analyze the evacuation of 7,000 people, corresponding to the busiest day of the week, which is the weekend.

The results obtained from the simulations concluded that the shortest evacuation duration was achieved in scenario 1, with all exits available, and took 627 seconds to complete.

This demonstrated the effectiveness of one of the technologies of Industry 4.0 in improving evacuation processes and opened new perspectives for the implementation of new solutions.

KEYWORDS: Simulation, Shopping Center, *Software* Pathfinder

Índice

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Acrónimos e Símbolos.....	xv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do trabalho.....	1
1.2. Objetivos da dissertação	1
1.3. Metodologia de investigação	2
1.4. Apresentação do Vila do Conde Porto Fashion Outlet	3
1.5. Conteúdo e organização da dissertação	3
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Introdução à Indústria 4.0.....	5
2.2. O papel da Indústria 4.0 para a melhoria da evacuação.....	7
2.3. Casos de estudo da aplicação da simulação na evacuação de centros comerciais	8
2.4. Evacuação de centros comerciais - Conceitos e fatores que influenciam	14
2.5. Evacuação de centros comerciais – Tempos de evacuação	17
2.6. Evacuação de centros comerciais - Legislação	18
3. Métodos e Aplicação.....	21
3.1. Modelação do edifício de análise.....	21
3.2. Estudo de simulação	25
3.2.1. Modelo Computacional	26
3.2.2. Validação do Modelo de Simulação Desenvolvido	30
3.3. Análise dos cenários de evacuação.....	31
3.3.1. Cenário 1 – Edifício com todas as saídas disponíveis.....	33
3.3.2. Cenário 2 – Edifício com saídas do lado Esquerdo/Este bloqueadas.....	34
3.3.3. Cenário 3 – Edifício com saídas do lado Direito.....	36
3.3.4. Cenário 4 – Edifício com saídas do lado Superior/Sul bloqueadas	38
3.3.5. Cenário 5 – Edifício com saídas do lado Inferior/Norte bloqueadas	39
3.3.6. Cenário 6 – Todas as saídas bloqueadas menos as saídas Inferior/Norte.....	40
4. Resultados e Discussão	43
5. Conclusão.....	45
5.1. Principais contributos do trabalho.....	45
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	46
Referências.....	47
Declaração de Integridade	51

Lista de Figuras

Figura 1- Vila do Conde Porto Fashion Outlet.....	3
Figura 2- Vista satélite do centro comercial	21
Figura 3- Planta do edifício	22
Figura 4- Saída Norte.....	22
Figura 5- Saída Sul	23
Figura 6- Porta corta-fogo.....	23
Figura 7- Corredor de emergência	24
Figura 8- Mecanismo corta-fogo	24
Figura 9- Sprinklers e detetores de incêndio	25
Figura 10- Interface inicial Pathfinder.....	26
Figura 11- Caminho no software para importar a planta	26
Figura 12- Ferramenta "Add a Rectangular Room"	27
Figura 13- Representação computacional de portas que conectam divisões	27
Figura 14- Representação computacional de portas de saída para o exterior	28
Figura 15- Representação computacional de um obstáculo.....	28
Figura 16- Modelo computacional final do edifício	29
Figura 17- Parâmetros da distribuição normal da velocidade dos ocupantes.....	30
Figura 18- Gráfico que relaciona a velocidade de movimento e iluminação média (Oulette & Rea, 1989)	32
Figura 19- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 1	33
Figura 20- Gráfico do fluxo de pessoas por porta por unidade de tempo cenário 1.....	34
Figura 21- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 2	35
Figura 22- Gráfico do fluxo de pessoas por porta por unidade de tempo cenário 2.....	36
Figura 23- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 3	37
Figura 24- Gráfico do fluxo de pessoas por porta por unidade de tempo cenário 3.....	38
Figura 25- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 4	39
Figura 26- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 5	40
Figura 27- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 6	41

Lista de Tabelas

Tabela 1- Casos de estudo sobre evacuação de centros comerciais	8
Tabela 2- Fatores que impactam o comportamento humano em situações de incêndio (Proulx, 2001)	15
Tabela 3- - Estimativas do tempo de pré-movimentação em situação de incêndio (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009).....	18
Tabela 4- Erro percentual entre simulação real e computacional.....	31
Tabela 5- Resultados cenário 1	33
Tabela 6- Resultados cenário 2	34
Tabela 7- Resultados cenário 3	36
Tabela 8- Resultados cenário 4	38
Tabela 9- Resultados cenário 5	39
Tabela 10- Resultados cenário 6	41
Tabela 11- Tempo total de evacuação em cada cenário	43

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
FDS	Fire Dynamics Simulator
EVAC	Emergency Evacuation Systems
SFPE	Society of Fire Protection Engineers
CFD	Computacional Fluid Dynamics
STEPS	Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian movements

1. Introdução

Neste capítulo, é efetuada a introdução do tema da dissertação elaborada, tal como o seu enquadramento, os objetivos, metodologias e é realizada uma apresentação do local de estudo.

1.1. Enquadramento do trabalho

Na contemporaneidade, a população humana encontra-se exposta a diversos perigos, alguns causados pelo homem e outros consequência de causas naturais. Entre os vários riscos, destacam-se colapsos de grandes projetos de engenharia, inundações, terremotos e furacões. Também com a crescente urbanização e aumento da dependência da tecnologia, tanto os riscos provenientes de causas humanas como a exposição a desastres naturais têm tendência a aumentar, devido à extração ao limite de um planeta finito como é o que habitamos (Pidd et al, 1996).

Neste sentido, segundo (Pidd et al, 1996), de entre as várias abordagens possíveis para lidar com estes riscos, evidencia-se a elaboração de planos bem testados que possam ser utilizados para evacuar pessoas de zonas de perigo em situação de incidente.

Desta forma, a otimização através da simulação computacional procura soluções matematicamente ótimas para processos de evacuação. Geralmente o objetivo será a procura de soluções em que um número máximo de pessoas evacua no tempo global mínimo (Gan et al, 2016).

Neste contexto, concluímos que é de grande importância a simulação em locais com maior fluxo de pessoas, tais como hospitais, escolas e centros comerciais. Para este estudo é crucial avaliar diversos fatores como disposição de saídas, velocidade dos ocupantes, etc (Jevtić, 2014).

O presente trabalho foi elaborado em 2023 e enquadra-se no âmbito da unidade curricular de Dissertação de Mestrado do Curso de Engenharia Mecânica, ramo de Gestão Industrial.

1.2. Objetivos da dissertação

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo a análise de diferentes estratégias de evacuação aplicadas a um centro comercial, neste caso o Vila do Conde Fashion Outlet, utilizando contribuições da Indústria 4.0 e recorrendo a um software de simulação como ferramenta de apoio à decisão.

Desta forma, o trabalho visa desenvolver um modelo de simulação utilizando o software Pathfinder para reproduzir a evacuação do centro comercial em estudo. O foco é identificar possíveis pontos de estrangulamento no processo de evacuação, analisando os resultados obtidos com a consideração dos contributos da Indústria 4.0 e sugerir melhorias com base nessa análise.

1.3. Metodologia de investigação

A metodologia de investigação escolhida para a realização desta dissertação foi o Caso de Estudo. Segundo (Crowe et al, 2011), o estudo de caso é uma abordagem de pesquisa utilizada para obter uma compreensão abrangente e detalhada de uma questão complexa aplicada a situações da vida real. Neste sentido, trata-se de um método de investigação altamente empregue em diversas áreas, sendo que reside na necessidade de investigar minuciosamente um evento ou fenómeno no seu contexto natural. Por esta razão é também frequentemente referido como um método “naturalista” de pesquisa, contrastando normalmente com um projeto experimental, no qual o pesquisador procura exercer controlo e manipular várias variáveis de interesse.

Desta forma, segundo (Ventura, 2007) a aplicação desta metodologia não tem um roteiro definido, no entanto é possível definir quatro fases:

a) Delimitação da unidade-caso – Nesta fase inicial é realizada a definição da unidade que constitui o caso, dependendo do pesquisador definir quais os dados necessários para compreender integralmente o objeto em questão. Dado que a seleção de casos nem sempre ocorre com base em critérios estatísticos, é aconselhável seguir algumas orientações: identificar casos típicos, selecionar casos extremos e encontrar casos atípicos.

b) recolha de dados – A segunda fase de recolha de dados é geralmente realizada por meio de diversos métodos quantitativos e qualitativos, como observação, análise de documentos, entrevistas formais e informais, aplicação de questionários, levantamento de dados, análise de conteúdo, entre outros.

c) seleção, análise e interpretação dos dados – A terceira fase é constituída por três etapas em conjunto. Na escolha de dados, é crucial considerar os objetivos da pesquisa, os seus limites e um sistema de referências, de forma a determinar a utilidade de cada conjunto. Desta forma, apenas os dados selecionados avançam para análise. Nesta segunda etapa então o pesquisador deve estabelecer previamente um plano de análise, levando em conta as limitações da amostra de dados. Se a amostra for robusta, há uma base lógica para tirar conclusões, no entanto, se esse não for o caso então os resultados devem ser expressos em probabilidade.

d) elaboração do relatório – A quarta fase refere-se à elaboração dos relatórios parciais e finais. É crucial que seja especificado o método de coleta de dados, bem como a teoria que fundamentou a sua organização. Também a apresentação de evidências sobre a validade e fidedignidade dos dados obtidos é fundamental. Por fim, o relatório deve ser sucinto, ainda que, por vezes, seja necessário um registo mais detalhado.

1.4. Apresentação do Vila do Conde Porto Fashion Outlet

O local de estudo da dissertação é o Vila do Conde Porto Fashion Outlet (ver Figura 1), localizado no concelho de Vila do Conde. O centro comercial conta com 150 marcas nacionais e internacionais de todas as categorias, destacando-se dos restantes centros pelos seus descontos de 30 a 70% durante todo o ano. Para além disso, oferece uma variada oferta de restauração e áreas de lazer, bem como uma localização privilegiada, a apenas 20 minutos do centro do Porto e 10 minutos do aeroporto.



Figura 1- Vila do Conde Porto Fashion Outlet

1.5. Conteúdo e organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 4 capítulos.

O capítulo 1 corresponde à introdução da tese, na qual é feito um enquadramento do trabalho, apresentados os objetivos que se pretendem atingir, a metodologia utilizada na sua elaboração, bem como uma apresentação introdutória ao local de estudo.

Introdução

O capítulo 2 descreve a revisão da literatura e fundamentação teórica, isto é, aborda a indústria 4.0 e o seu papel na melhoria da evacuação. Para além disso, apresenta exemplos de outros casos de estudo nos quais foi utilizada a simulação para a evacuação de, não só centros comerciais, mas também outros edifícios de grandes dimensões. Por fim, este capítulo exhibe aspetos importantes sobre a evacuação de centros comerciais, tais como fatores e tempos de evacuação, bem como a legislação atual.

O capítulo 3 apresenta o edifício, isto é, a sua organização, saídas e alguns mecanismos de segurança. Também neste capítulo estão presentes as características do modelo de simulação realizado no *software Pathfinder* e resultados da sua utilização em variados cenários.

No quarto capítulo, são debatidos os resultados obtidos através do modelo de simulação realizado.

O capítulo 5 corresponde às conclusões finais do projeto, dificuldades encontradas e propostas de possíveis trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a realização de toda a dissertação.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são abordados conceitos relacionadas com o tema da dissertação anteriormente referido. Neste sentido, é realizada uma introdução à Indústria 4.0, destacando o seu papel na definição e otimização de planos de evacuação.

Em seguida, são apresentados vários casos de estudo relacionados com a evacuação de centros comerciais. Além de discutir o conceito subjacente, serão abordados os diferentes fatores que exercem influência neste processo, bem como a legislação que norteia tais evacuações.

2.1. Introdução à Indústria 4.0

O impacto da Indústria 4.0 transcende a mera digitalização, passando por uma forma mais intrincada de inovação que se apoia na integração de diversas tecnologias. Este fenómeno forçará as empresas a repensar a forma como gerem os seus negócios e processos, bem como o posicionamento na cadeia de valores e abordagem ao desenvolvimento e lançamento de novos produtos. Também as suas ações de marketing e distribuição sofrem alterações (Coelho, 2016).

Neste contexto, várias tecnologias encontram-se a ser desenvolvidas com o objetivo de monitorizar processos, criando uma cópia virtual do mundo real. Estes tipos de inovações, entre outras aplicações, conectam máquinas, objetos e pessoas em tempo real, oferecendo soluções, troca e gestão de informações que permitem que processos de produção e negócios sejam melhorados, criando valor para as organizações (Santos et al, 2018).

Assim sendo, segundo (Sakurai, & Zuchi, 2018), os princípios característicos da Indústria 4.0 são:

- Capacidade de operação em tempo real- aquisição e processamento instantâneo de dados, o que permite tomada de decisões em tempo real.
- Virtualização- esta abordagem industrial incorpora uma cópia virtual das fábricas inteligentes, possibilitando a rastreabilidade e o monitoramento remoto.
- Descentralização- o sistema cyber-físico tem a capacidade de tomar decisões para atender a demanda de produção em tempo real.
- Orientação de serviços- implementação de estruturas de software orientadas a serviços.

Revisão Bibliográfica

- Modularidade- produção em conformidade com as necessidades, acoplamento e desacoplamento de módulos durante o processo produtivo. Esta flexibilidade possibilita a fácil modificação das funções das máquinas.
- Interoperabilidade- a capacidade dos sistemas cyber-físicos, tais como suportes de peças, postos de trabalho/reunião e produtos, seres humanos e fábricas inteligentes interagirem uns com os outros.

De acordo com (Erboz, 2017), é ainda possível distinguir alguns pilares da Indústria 4.0:

- Big Data – o volume e a complexidade dos dados influenciam a tomada de decisões, impulsionando a vantagem competitiva, bem como a transformação de como as organizações operam. Desta forma, o Big Data é descrito como uma ferramenta essencial para resolver problemas, criar modelos de negócios, entender preferências dos clientes, prever falhas e aprimorar operações.
- Robôs automatizados – A utilização de robôs na indústria para lidar com tarefas complexas e desafiadoras permitiu avanços significativos em estratégias de automação como JIT e melhorias contínuas. Sendo assim, atualmente, interfaces mais intuitivas estão a facilitar a colaboração entre humanos e robôs. Com a indústria 4.0, a utilização de robôs nas fábricas está cada mais a ser intensificada, sendo estes empregados em diversas áreas como produção e logística.
- Simulação – As ferramentas de simulação desempenham um papel de apoio em atividades relacionadas à produção, de forma a promover um ambiente de fabricação sustentável. Estas ferramentas digitais, que auxiliam no design do sistema de produção, possuem a capacidade de autoconfiguração, de forma a permitir a gestão eficaz do chão de fábrica. Assim, com os ambientes empresariais cada vez mais competitivos, a simulação oferece ajustes em sistemas complexos ao planejar operações, aproveitando o conhecimento, as informações e estimativas precisas sobre o sistema por meio da capacidade da engenharia.
- Integração vertical e horizontal - A integração vertical envolve sistemas flexíveis e reconfiguráveis na fábrica, enquanto a integração horizontal trata da união de parceiros na cadeia de suprimentos. A coleta de Big Data pela rede industrial otimiza

o desempenho do sistema e o envia para a nuvem, criando o conceito de fábrica inteligente.

- Industrial Internet of Things (IOT) – A IOT refere-se à próxima revolução tecnológica ao fornecer soluções para computações, análises, entre outros, confiando em sistemas baseados em nuvem. A principal tarefa da IOT é conectar a Internet, recolhendo dados de objetos físicos. Recolhendo esses dados, computadores ou dispositivos de nível superior toma decisões sobre operações.
- Manufatura aditiva – Também conhecida como impressão 3D, é a produção de bens personalizados para clientes, frequentemente por meio de protótipos e impressão em lotes pequenos. Grandes empresas como a Google, Motorola e Apple investem nessa tecnologia de forma a acelerar produções, devido a reduzir prazos e volumes de produção, permitindo maior personalização.

2.2. O papel da Indústria 4.0 para a melhoria da evacuação

De acordo com (Randon, & Cecconello, 2019), anteriormente mesmo ao surgimento da revolução da Indústria 4.0, a utilização da simulação já integrava as práticas operacionais das empresas, sendo frequentemente empregada em análises de otimização, especialmente em modelos matemáticos e estatísticos, como é o caso da evacuação.

Neste sentido, com a quarta revolução industrial, a simulação para melhoria de evacuação surge como uma ferramenta inovadora, impulsionando o desenvolvimento de serviços e produtos, especialmente em mercados altamente competitivos. A utilização desta tecnologia, assim, não apenas possibilita economizar tempo e recursos financeiros, mas também ganhar produtividade e qualidade (Abreu et al, 2017).

Sendo assim, com o avanço rápido da tecnologia da computação, os processos foram aprimorados, o que resultou no desenvolvimento de softwares que incorporam diversas tecnologias e diferentes áreas de conhecimento. Assim, a simulação tornou-se uma ferramenta fundamental para viabilizar a Indústria 4.0 (Randon, & Cecconello, 2019).

Desta forma, concluímos que a evacuação está intimamente relacionada com a revolução 4.0 da indústria, na medida em que, esta mantém o papel pragmático de absorção do conhecimento prévio das aplicações e atividades que seriam executadas num plano físico e/ou na prática. Assim, geralmente, assume um papel positivo e importante no planejamento, desenvolvimento e economia dos processos de uma organização (Abreu et al, 2017).

2.3. Casos de estudo da aplicação da simulação na evacuação de centros comerciais

Na Tabela 1 apresenta vários casos de estudo relativos à evacuação de centros comerciais nos quais foi utilizada a simulação como ferramenta de apoio à decisão e a melhoria da evacuação. Sendo assim, é apresentado um pequeno resumo, o software utilizado e os impactos positivos e negativos.

Tabela 1- Casos de estudo sobre evacuação de centros comerciais

Referências	Síntese
(Han et al, 2021)	O artigo aborda uma pesquisa realizada num centro comercial localizado em Weiyang na China. Face ao aumento do fluxo de visitantes e à estrutura do edifício, foi utilizado o software PathFinder de forma a realizar uma avaliação das condições atuais de evacuação e a elaboração de uma nova proposta de um esquema ideal que resolvesse a discrepância entre o número de pessoas e a quantidade de escadas de evacuação. Neste sentido, o esquema otimizado após utilização da ferramenta de simulação foi considerado um sucesso face ao anterior tendo a solução passado pelo aumento de placas sinalizadoras e sua respetiva realocação.
(Wang et al, 2021)	Este estudo visa a diminuição do número de vítimas em incêndios em shoppings subterrâneos. Neste sentido, foi utilizada a ferramenta Pyrosim, considerando o pior caso, um modelo de localização da fonte de incêndio num local com múltiplas saídas. O teste realizado permitiu melhorar o modelo de evacuação anterior na medida em que clarificou a distribuição do risco da evacuação em cada zona do edifício, fornecendo assim referências para elaborar melhor protocolo possível.
(Reis, 2014)	O estudo tem como objetivo a avaliação de todos os aspetos que possam influenciar o tempo de evacuação. Assim, utilizando o software FDS+EVAC, foram realizadas 8 simulações, sendo que 4 tinham incêndio e 4 não tinham, em 5 cenários distintos. Após a análise ser concluída, estimou-se um tempo de 17 minutos e 29 segundos, isto é, um valor com margem de segurança elevada face ao tempo disponível para evacuação. O estudo permitiu ainda identificar os pontos críticos de evacuação e oportunidades de melhoria no edifício e em projetos futuros semelhantes

Tabela 1 – Casos de estudo sobre evacuação de centros comerciais (continuação)

(Uliana, 2022)	O artigo fala sobre a evacuação do Centro de Convenções da Universidade Federal de Santa Maria/RS a nível normal e em situação de pânico. Foram avaliadas vertentes como tempo de evacuação, taxa de fluxo, fluxo específico nas portas de acesso e saídas de emergência. Para a modelagem foi utilizado o software Pathfinder, recorrendo posteriormente à simulação SFPE. Conclui-se que o maior tempo de evacuação foram 485 segundos, com a passagem de 2.21 ocupantes/segundo e com velocidade de 1.30 ocupantes/milissegundo.
(Shi et al, 2009)	O artigo apresenta um modelo de simulação de sistema chamado AIEva, no qual estão incluídos um modelo físico e um modelo matemático. Em conjunto com a tecnologia CFD, que serve para simular o incêndio, realizou-se o estudo de ginásio coberto em estrutura de aço e dimensões 33x33m com uma altura de 11x11m. Sendo assim, o cenário de incêndio é desenhado da seguinte forma: por descuido, a plataforma noroeste do edifício é queimada e ocorre um incêndio. Assim, este novo sistema de simulação, devido principalmente a possuir um sistema matemático e um sistema físico, foi considerado um sucesso naquilo que foi a simulação da evacuação através da técnica de agentes e outros métodos de inteligência artificial.
(Pelechano & Malkawi, 2008)	O estudo apresentado no seguinte artigo apresenta uma revisão sobre os modelos de simulação de evacuação para edifícios altos. Neste sentido, os softwares analisados foram STEPS e EXODUS. Quanto ao cenário, as simulações utilizando ambos os programas tiveram maior número de dados recolhidos no World Trade Center. Desta forma, o estudo concluiu que embora os softwares atuais baseados em abordagens de autômatos celulares tenha sido amplamente utilizado e validado, ainda há necessidade de desenvolver modelos que possam simular de perto o comportamento humano. Para além disso, é importante considerar também as interações físicas entre os indivíduos e o impacto que estas interações têm no comportamento dos humanos virtuais.
(Ivanov & Chow, 2023)	Neste estudo foram realizadas duas experiências num novo edifício de escritórios de 107 metros de altura localizado na Bulgária. A primeira serviu para estimar as características de movimento livre em condições “normais” para determinar a duração média da evacuação e a amplitude da velocidade vertical. A segunda simulação foi realizada com o máximo de número possível de ocupantes, de forma a avaliar o maior tempo de evacuação. A duração destas evacuações foi estimada de acordo com o software Pathfinder, que concluiu que no primeiro caso o tempo total de evacuação foi de 6:26 min, enquanto na segunda experiência, como era previsto, um valor muito maior de 24:48 min.

Tabela 1 – Casos de estudo sobre evacuação de centros comerciais (continuação)

(Jevtić, 2014)	O artigo fala sobre um estudo de simulação de evacuação realizado no centro comercial Zona I. Ainda que o modelo de simulação tenha sido criado em PathFinder, seria possível criar o mesmo em programas como AutoCad ou PyroSim e posteriormente inserir no programa PathFinder. Este centro comercial localizado em Niš tem dimensões de 56m x 20.5m. Desta forma, a simulação da evacuação foi feita para diferentes velocidades e para diferente número de ocupantes por andar. O estudo permitiu calcular os diferentes tempos de evacuação consoante estes dois parâmetros, permitindo realizar gráficos de duas variáveis. Assim, analisando os dados recolhidos, foi possível localizar diferentes potenciais rotas de evacuação de acordo com o número de ocupantes.
(Klүpfel & MeyerKönig, 2005)	O artigo trata a utilização do software PedGo, que se baseia em autómatos celulares em 2D, ideal para a simulação de estruturas de grandes dimensões. O estádio em análise foi modelado de forma virtual, tendo 7 andares. Através do programa foi possível avaliar valores máximo, mínimo e média de velocidade, inércia, frequência e tempo de reação. Foram ainda avaliadas as situações de congestionamento, considerando este caso quando a densidade de pessoas é superior a 4 por metro quadrado. Foi refletido que se esta densidade for maior do que 10% do tempo total, então o congestionamento revela-se um problema. Assim concluímos que o estudo trouxe duas grandes vantagens: maior facilidade em lidar com situações de evacuação e ainda, as animações provenientes do estudo permitem analisar a evacuação de forma mais intuitiva.
(Zang & Mei & Liu, 2021)	Neste artigo foi analisado se os obstáculos nas salas de aula são benéficos numa situação de evacuação. Para isso, foi utilizado o programa PathFinder, criando modelos com ou sem obstáculos e variando o número de evacuados, atribuindo saídas de segurança. Esta experiência foi realizada num edifício modelo, replicando uma estrutura de grandes dimensões destinada a ensino. Após as simulações, podemos concluir que foi possível obter informações detalhadas sobre cada andar em específico, calculando o tempo exato de evacuação para cada um destes. Para além disso, obtiveram-se informações sobre a densidade da evacuação e assim, por fim criou-se o melhor caminho possível. Neste sentido, os resultados confirmaram que o tempo global de evacuação no modelo com obstáculos foi menor do que no modelo sem obstáculos devido a que uma disposição densa e regular das carteiras como obstáculos nas salas de aula produz uma distribuição da densidade de evacuados mais razoável, enquanto também desempenha um papel positivo na segregação física e no desvio da multidão.

Tabela 1 – Casos de estudo sobre evacuação de centros comerciais (continuação)

<p>(Khan et al, 2017)</p>	<p>O artigo trata a simulação de incêndio e evacuação num complexo comercial de apenas um andar, localizado no Bangladesh, através de técnicas computacionais dinâmicas. Desta forma, através da combinação dos programas FDS+EVAC, foi simulado o incêndio, estimando o tempo total de evacuação, variando fatores como a taxa de libertação de calor, geometria do interior do centro comercial, entre outros. Assim, foi concluído através da combinação destas duas ferramentas que algumas alterações deviam ser feitas de forma a obter melhores resultados, isto é, menor tempo evacuação. Neste sentido, por exemplo, verificou-se que existindo duas portas de uso exclusivo de evacuação, o tempo de saída seria reduzido significativamente. Também o aumento da largura das saídas trouxe resultados bastante positivos, culminando no final o tempo total de evacuação de 450 segundos.</p>
<p>(Sherman & Peyrot et al, 2011)</p>	<p>Este estudo trata um teste de regressão linear para identificar preditores significativos de atraso pré-evacuação numa amostra de evacuados inscritos no Estudo de Evacuação do World Trade Center. Assim, para realizar esta análise, utilizaram dados recolhidos através de chamadas telefónicas entre 3 de dezembro de 2003 e 23 de janeiro de 2004 com 803 indivíduos que foram evacuados das torres em 11 de setembro de 2001. Posteriormente, testaram então um modelo analítico de regressão linear baseado em teorias que abordam desastres comunitários e evacuações em caso de incêndios em edifícios de grandes dimensões. Concluindo, este estudo foi importante, uma vez que abriu caminho para a compreensão dos fatores que podem ter contribuído para as decisões dos evacuados, mostrando a importância de, na realização de um plano de evacuação, não incluir apenas variáveis demográficas, mas também variáveis de processo de forma a prever comportamentos.</p>

Tabela 1 – Casos de estudo sobre evacuação de centros comerciais (continuação)

(Gravit et al, 2022)	O seguinte artigo realiza uma comparação do fluxo de pessoas durante a evacuação por simulação. Neste caso em específico, as duas arenas desportivas de grandes multidões comparadas são o coliseu romano e o moderno estádio Gazprom arena, localizados em Itália e Rússia, respetivamente. Utilizando o software Sigma FS, foi desde início facilmente reconhecido que as decisões de planeamento espacial do Coliseu eram mais vantajosas em comparação com a Arena Gazprom no cálculo do tempo de evacuação e do processo da organização da evacuação. Neste sentido, através da simulação, calculou-se que o fluxo específico médio era de 1.14 pessoa/s/m no coliseu e de 0.65 pessoa/s/m, ainda que a largura de marcha seja de 2.6m e de 4m, respetivamente. Concluindo, através da utilização da simulação, verificou-se que o coliseu cumpre os padrões atuais para evacuação dentro do prazo, enquanto as modernas arenas desportivas e de entretenimento são projetadas com serviços adicionais, infraestruturas e, em geral alta comercialização.
(Klүpfel et al, 2003)	O estudo realizado neste artigo visa apresentar dados empíricos sobre um exercício de evacuação numa escola primária. Cerca de duzentos alunos e professores participaram neste exercício, tendo sido realizados 3 treinos. As instalações localizadas em Duisburgo, Alemanha, estão divididas em edifícios distintos, sendo que o maior contém 6 salas de aula com cerca de 120 alunos. Utilizando software de modelagem por autómatos celulares (C-A model) e comparando os resultados aos obtidos durante a experiência real, concluímos que os resultados estavam com uma diferença significativa. Esta diferença deve-se ao facto de o software, inicialmente, não ter em conta fatores como a motivação das crianças que, motivadas pelos professores e pelo facto de ser uma atividade fora do normal, foram a cada teste sendo cada vez mais rápidos.
(Jiang et al, 2014)	O artigo fala sobre um estudo de evacuação realizado no hospital SJ, localizado em Shenyang, na China. Sendo assim, foi realizada uma análise de correlação entre as características comportamentais dos ocupantes do hospital e a velocidade de caminhada dos pedestres, bem como a correlação com o seu comportamento de decisão de evacuação. Sendo assim, foi utilizado o software FDS+EVAC, concluindo que os ocupantes do hospital andam lentamente numa proporção de 70 a 90% em comparação com as pessoas saudáveis nos edifícios públicos comuns. Para além disso, mais de 1/3 dos ocupantes estão mais propensas a perder a ideia quando ocorre uma situação emergente. Desta forma, a simulação da evacuação mostrou que a largura da saída e as instruções de evacuações eficientes são as estratégias mais importantes para melhorar o plano de evacuação.

Tabela 1 – Casos de estudo sobre evacuação de centros comerciais (continuação)

(Tserng et al, 2012)	<p>A pesquisa deste artigo científico centrou-se em três grandes questões: falta de fiabilidade em simulações de software, risco moral de exercícios na vida real e se a escala de evacuações de grandes multidões é ou não equivalente à da saída de uma multidão do mesmo tamanho. Assim esta pesquisa concentrou-se em ginásios de grandes dimensões, utilizando os softwares Simulex e Exodus. Neste sentido, os resultados mostram que uma grande variação no valor de risco é obtida através de diferentes processos de análise de software. É ainda proposto pelos autores do artigo um conceito denominado de “Áreas Quentes” para diminuir o impacto de questões morais e económicas. Em última análise, verifica-se que o tempo de saída de 2089 pessoas diferiu 45% dos resultados da simulação de software, logo, a saída de multidões em grande escala não equivale à evacuação do mesmo número de pessoas.</p>
(Xiao et al, 2021)	<p>Este projeto foi realizado na biblioteca do campus principal da Universidade Técnica de Liaoning e modelado através do programa Pathfinder. Considerando a carga de pessoal do local, atributos de pessoal, velocidade de evacuação e proporção de pessoal, foi realizada uma simulação para analisar o efeito da quantidade e localização dos itens empilhados e o efeito do número de itens, como mesas, cadeiras e estantes, e outros fatores sobre o tempo necessário para a evacuação através de uma passagem de evacuação interna. Os resultados revelam que a área de gargalo de evacuação é o corredor interno e a saída das escadas de evacuação. A quantidade de empilhamento e o planeamento da localização dos itens na área de leitura influenciam muito o tempo de evacuação. Assim, medidas restritivas deverão ser tomadas quando o número de funcionários atingir um certo valor. Concluindo, os resultados obtidos por este estudo podem fornecer uma base teórica para o planeamento razoável das vias de evacuação e a futura gestão da segurança das bibliotecas universitárias.</p>

2.4. Evacuação de centros comerciais - Conceitos e fatores que influenciam

Segundo (Rodríguez & Quarantelli et al, 2007), o termo evacuação refere-se à ação de remover pessoas de uma área específica devido a uma ameaça, perigo real ou perigo previsto. A quantidade de tempo necessária para esse processo é flexível, podendo a evacuação durar qualquer quantidade de tempo e ocorrer mais de uma vez, no caso de se verificarem ameaças secundárias, uma repetição ou intensificação da ameaça original.

Desta forma, a evacuação é dividida em três atividades e períodos diferentes: o período de validação, onde é realizado um alerta de perigo, detetado através de estímulos externos; período de tomada de decisão, no qual ocorre a validação e resposta aos indicadores de perigo; período de movimentação, em que existe mobilização para um local seguro (Freitas, 2012).

Assim, divide-se o processo de evacuação em duas etapas distintas: a pré-evacuação e o período de evacuação. A pré evacuação abrange o intervalo de tempo desde o início do incidente, isto é, quando o alarme é desencadeado, até à tomada de decisão para evacuar e o início efetivo da evacuação. Por outro lado, o período de evacuação tem início quando as ações de evacuação são efetivamente iniciadas. (Kinateder et al, 2015)

De acordo com (Saadatseresht et al, 2009), é necessário preparar planos de evacuação de forma a ter uma boa resposta numa emergência, no entanto, é necessário ter em conta alguns fatores. O maior desafio no desenvolvimento de um plano de evacuação é determinar qual a distribuição dos evacuados nas áreas seguras, isto é, decidir para onde e por onde cada evacuado deve seguir. Sendo assim, é essencial considerar estes e outros fatores e satisfazer todos simultaneamente.

Neste sentido, de acordo com (Freitas, 2012), refere alguns fatores mais importantes que influenciam a evacuação de edifícios e, entre eles, centros comerciais. Primeiramente, as características de um edifício e a forma como as pessoas interagem com o mesmo tem um impacto direto na resposta ao perigo. Sendo assim, a familiarização tem uma importância fundamental no processo de evacuação, na medida em que, a escolha do caminho de evacuação é determinada pelo nível de conhecimento espacial, pelo nível de diferenciação arquitetónica e pela presença de sinalização de segurança.

Já (Proulx, 2001), realizou um estudo mais intenso sobre os fatores que têm impacto no comportamento humano em situação de incêndio, resultando na Tabela 2.

Tabela 2- Fatores que impactam o comportamento humano em situações de incêndio (Proulx, 2001)

Caraterísticas dos ocupantes	Caraterísticas do edifício	Caraterísticas do incêndio
Perfil: <ul style="list-style-type: none"> • Género • Idade • Habilidade • Limitações 	Tipo de edifício: <ul style="list-style-type: none"> • Residencial • Fábrica • Hospital • Hotel • Cinema • Centro comercial • Universidade ou escola 	Visuais: <ul style="list-style-type: none"> • Chama • Fumo (Cor, Densidade) • Efeito nas paredes, chão e teto
Conhecimento e experiência: <ul style="list-style-type: none"> • Familiaridade com o edifício • Experiências passadas com fogo • Treino com simulações de incêndios e outras emergências 	Arquitetura: <ul style="list-style-type: none"> • Número de pisos • Área do piso • Localização das saídas • Localização das escadas • Acesso visual • Forma do edifício 	Olfativos: <ul style="list-style-type: none"> • Cheiro a queimado • Cheiro desconfortável e irritante

Tabela 2 – Fatores que impactam o comportamento humano em situações de incêndio (Proulx, 2001)
(continuação)

<p>Condições na altura do evento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sozinho ou com pessoas • Sob efeito de drogas/álcool/medicação • Nível de atenção 	<p>Atividades no edifício:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabalho • Fazer compras • Comer • Dormir • Ver um filme, peça, espetáculo, etc. 	<p>Audíveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Objetos a cair • Vidro a partir
<p>Personalidade:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Influência pelos outros • Liderança • Reação negativa • Autoridade • Ansiedade 	<p>Recursos de segurança contra incêndios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sinal de alarme de incêndio (tipo, audibilidade) • Sistema de comunicação por voz • Plano de evacuação • Staff treinado • Área de abrigo 	<p>Outros:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calor
<p>Papel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visitante • Dono • Trabalhador 		

Desta forma, prever o comportamento dos ocupantes é desafiador, uma vez que as várias características mencionadas acima são combinadas em diferentes padrões mediante a situação.

2.5. Evacuação de centros comerciais – Tempos de evacuação

Durante um incidente num determinado edifício, os ocupantes que buscam evacuar apresentam diferentes tempos de resposta, desde o momento em que recebem um alerta até à decisão de iniciar a evacuação. Sendo assim, diversos fatores complexos anteriormente referidos podem influenciar o processo de evacuação, desde o conhecimento sobre as rotas de evacuação, habilidade de operar equipamentos de evacuação, densidade de pessoas no ambiente e estado físico e psicológico dos ocupantes (Lin & Wu, 2018).

De acordo com (Pursals & Garzón, 2009), é possível calcular de forma analítica a quantidade de indivíduos capazes de evacuar um edifício num momento específico, através de modelos de deslocamento humano. Consequentemente, é possível calcular o tempo necessário para que um determinado número de pessoas abandone um edifício por uma saída específica.

Neste sentido, a (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009) oferece várias estimativas de tempo de pré- movimentação em situações de incêndio, mediante o tipo de alarme (W) e o tipo de ocupação do edifício, sendo possível observar na Tabela 3.

O código W1 indica que o alarme é transmitido através de um sistema de comunicação por voz em tempo real, controlado a partir de uma sala de comando. Este sistema tem a função de alertar sobre uma emergência e instruir sobre os procedimentos de evacuação. É especialmente adequado para iniciar a pré-movimentação das pessoas que estão numa área pequena onde o incêndio teve início.

O código W2 reflete que as orientações do procedimento de evacuação são fornecidas através de mensagens pré-gravadas e/ou de sinalética de evacuação. Para os ocupantes de um local espaçoso em chamas, deve-se utilizar como referência o tempo de W2.

O W3, significa que o aviso de emergência é dado através do alarme de incêndio e através de funcionários sem formação para orientar os ocupantes durante a emergência. Deve-se usar o W3 como referência, quando os ocupantes estão afastados do incêndio e não conseguem ver as chamas e o fumo.

Tabela 3- - Estimativas do tempo de pré-movimentação em situação de incêndio (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)

Tipo de ocupação	W1	W2	W3
Escritórios, edifícios comerciais e industriais, escolas e universidades (Os ocupantes estão acordados e familiarizados com o edifício, com o sistema de alarme e com o procedimento de evacuação).	<60 s	180 s	>240 s
Lojas, museus, centros desportivos e outros edifícios de lazer (Os ocupantes estão acordados, mas podem não estar familiarizados com o sistema de alarme do edifício e com os procedimentos de evacuação).	<120 s	180 s	>360 s
Dormitórios e edifícios residenciais médios e altos (Os ocupantes podem estar a dormir, mas normalmente conhecem o edifício, o sistema de alarme e o processo de evacuação).	<120 s	240 s	>300 s
Hotéis e pensões (Os ocupantes podem estar a dormir, mas estão familiarizadas com o edifício, com o sistema de alarme e com o processo de evacuação).	<120 s	240 s	>360 s
Hospitais, centros de cuidados médicos e outros estabelecimentos institucionais (Contêm um elevado número de pessoas que necessitam de assistência).	<180s	300 s	>480 s

2.6. Evacuação de centros comerciais - Legislação

Através do Decreto-Lei nº368/99, de 18 de Setembro, que revoga o Decreto-Lei nº61/90, de 15 de Fevereiro, é possível a consulta das medidas de segurança contra riscos de incêndio a aplicar em estabelecimentos comerciais.

No Decreto-Lei anteriormente referido é possível verificar, no respetivo anexo, várias medidas de segurança e regras que os estabelecimentos comerciais devem seguir.

Neste sentido, o ponto 1 do Anexo fala sobre os objetivos da implementação de segurança nos estabelecimentos comerciais, enquanto que o ponto 2 refere-se aos caminhos de evacuação, como saídas, portas, escadas e câmaras corta-fogo. Já o ponto 3 é relativo às características construtivas, isto é, estruturas dos edifícios e elementos de compartimentação. Quanto ao ponto 4, este fala sobre os revestimentos interiores, referindo que estes, entre outras medidas, no ponto de vista de reação ao fogo não devem constituir um risco particular quanto à propagação do fogo, fumos e gases tóxicos. O ponto 5 é relativo às instalações elétricas, como postos de transformação, fontes de alimentação de emergência, instalação de iluminação de emergência de segurança e aquecimento, que apenas pode ser assegurado por sistemas de aquecimento central ou por aparelhos elétricos fixos.

Sendo assim, o ponto 6 aborda instalações que utilizem combustíveis líquidos e gasosos, como é o caso de casas de caldeira, a distribuição de fluidos combustíveis e aparelhos de queima de gás. De seguida, o ponto 7 explora os sistemas de ventilação que deve ser natural ou mecânica e, ainda no ponto 8 e 9, os ascensores e meios de alarme, alerta e de primeira intervenção, respetivamente. Já o ponto 10 abrange os depósitos de água privativos para o serviço de incêndio, seguido do 11 que fala sobre os planos de emergência, nomeadamente instruções de segurança e sistemas de evacuação e ainda regras acerca das plantas de emergência.

Por fim segue-se o ponto 12 que fala sobre a manutenção de todas as condições de segurança abordadas nos pontos anteriores. O ponto 13 fala sobre os materiais e elementos de construção e por fim os pontos 14 e 15 que versam sobre a conformidade com as normas – ensaios laboratoriais e critérios de dimensionamento, respetivamente.

Revisão Bibliográfica

3. Métodos e Aplicação

Neste capítulo, inicialmente será explorada a organização do Vila do Conde Fashion Outlet, com o objetivo de detalhar a planta, acessos, saídas e o layout em geral do centro comercial.

Numa segunda instância, será apresentada a interface gráfica do modelo desenvolvido usando o software Pathfinder, juntamente com as diversas funcionalidades utilizadas para a sua criação. Em seguida, irá ser feita a validação do modelo, comparando os tempos registados no centro comercial com os tempos obtidos através do Pathfinder.

3.1. Modelação do edifício de análise

Como foi mencionado em capítulos anteriores, a presente dissertação tem como objetivo a melhoria da evacuação do processo de evacuação de um centro comercial. Neste sentido, o centro em análise foi o Vila do Conde Fashion Outlet, localizado no endereço Avenida Fonte Cova 400, 4485-592 em Vila do Conde. Na figura 2, podemos observar a localização do centro comercial no *Google Maps*.

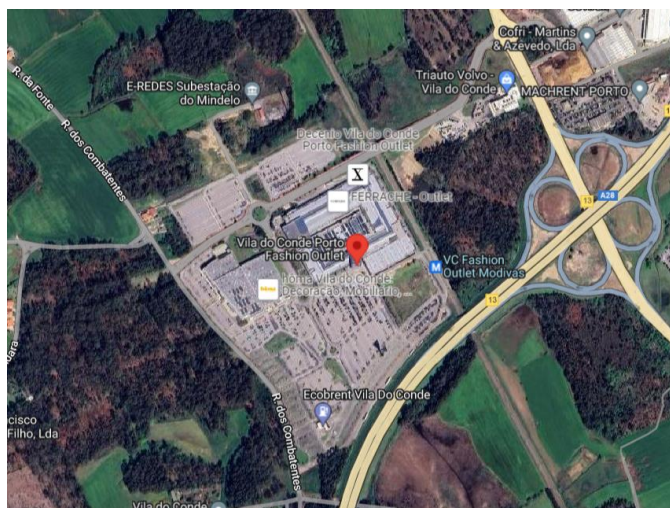


Figura 2- Vista satélite do centro comercial

O edifício foi inaugurado em novembro de 2004 e é considerado um importante centro de compras na região norte de Portugal, maioritariamente devido aos seus elevados descontos, oferecendo uma ampla variedade de lojas de marcas nacionais e internacionais. Ainda que apenas possua um andar, o centro conta com cerca de 150 lojas distribuídas por $15.000m^2$ aos quais se adicionam 1600 lugares de estacionamento localizados nas imediações do centro comercial.

Na figura 3 é possível observar a planta do Vila do Conde Fashion Outlet.

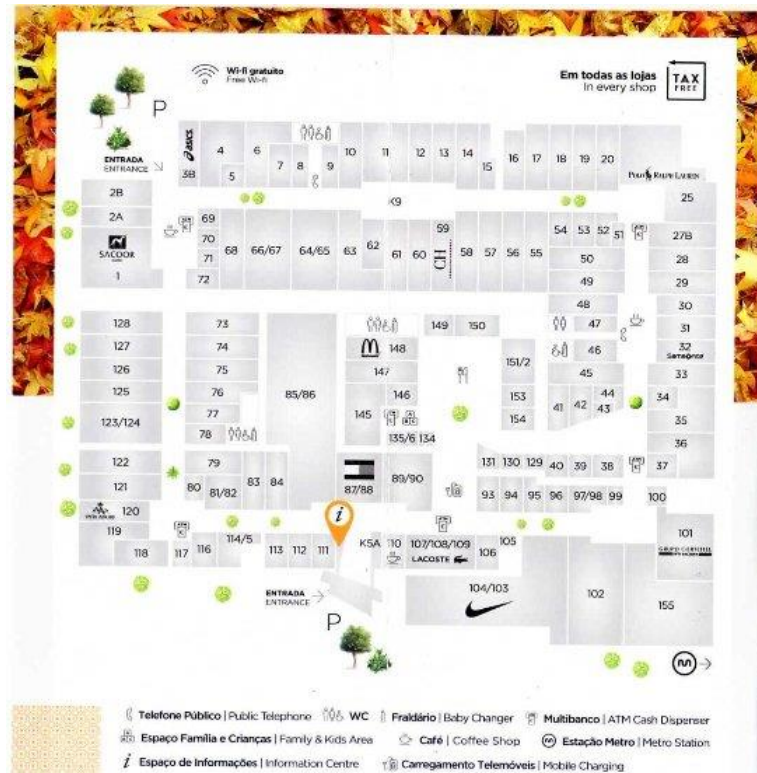


Figura 3- Planta do edifício

O centro possui duas saídas principais, denominada de saída Norte e saída Sul. Ambas têm grande importância em emergência, uma vez que correspondem às saídas com maior capacidade de evacuação, isto é, que permitem a evacuação de maior número de pessoas para o exterior por unidade de tempo. Na figura 4, podemos observar a saída Norte.



Figura 4- Saída Norte

Na figura 5, podemos observar, por sua vez, a saída Sul.



Figura 5- Saída Sul

Para além das saídas principais, o centro comercial possui ainda várias saídas de emergência que, contrariamente às saídas principais, apenas são utilizadas pelos clientes em situações de evacuação. Na figura 6 podemos observar as portas corta-fogo que sinalizam estas mesmas saídas.



Figura 6- Porta corta-fogo

Métodos e Aplicação

Por sua vez, estas portas servem como ligação a corredores técnicos que vão dar ao exterior. Em condições normais de funcionamento do centro comercial, estes corredores são utilizados não só pelos trabalhadores das lojas, staff e equipa de limpeza, mas também servem para a realização de cargas e descargas durante o período noturno. Na figura 7, podemos observar um dos vários corredores espalhados por todo o edifício.



Figura 7- Corredor de emergência

Para além disso, o centro comercial está também equipado com um mecanismo específico contra incêndios, localizado na zona Sul do mesmo. Este consiste num conjunto de portas corta-fogo, juntamente com duas paredes móveis, também resistentes a fogo, que, aquando da deteção de perigo fecham automaticamente. Desta forma, é possível isolar o risco, permitindo o melhor controlo do mesmo e posterior evacuação da população. Na figura 8, é possível observar o mecanismo descrito.



Figura 8- Mecanismo corta-fogo

Em adição, a detecção e identificação do perigo, neste caso, um fogo, é feita através de dezenas de sensores espalhados pelos vários corredores que constituem o centro comercial. Em conjunto com estes aparelhos, o edifício está ainda equipado com dezenas de *sprinklers*, isto é, aspersores de incêndio que são ativados aquando da deteção de perigo. Este conjunto de equipamentos é observado na figura 9.



Figura 9- Sprinklers e detetores de incêndio

3.2. Estudo de simulação

A análise da evacuação de emergência do Vila do Conde Fashion Outlet foi realizada utilizando ferramentas de simulação computacional. Sendo assim, o software selecionado para esta tarefa, como mencionado anteriormente, foi o *Pathfinder*. Este programa não apenas facilita a criação de um modelo de simulação, mas também permite a configuração de variáveis e de dados necessários para simular diferentes estratégias de evacuação de forma simples e intuitiva.

De forma a aumentar a aproximação à realidade na construção do modelo de simulação, foram facultadas não só as plantas do centro comercial, mas também as devidas plantas de emergência que se demonstraram úteis para a semelhança do modelo ao edifício real.

Concluindo, de forma a validar o sistema, foram conduzidas várias medições de tempo de evacuação em diferentes locais do edifício por parte de um ocupante, como será possível observar nos capítulos que se seguem.

3.2.1. Modelo Computacional

O software *Pathfinder* exibe, como tela inicial, uma interface semelhante à mostrada na figura 10. A partir deste ponto, é possível iniciar a criação de modelos. No lado esquerdo da tela, existe um menu em árvore que contém todos os elementos adicionados ao projeto, além de uma série de ícones com diversas funcionalidades que serão explicadas posteriormente.

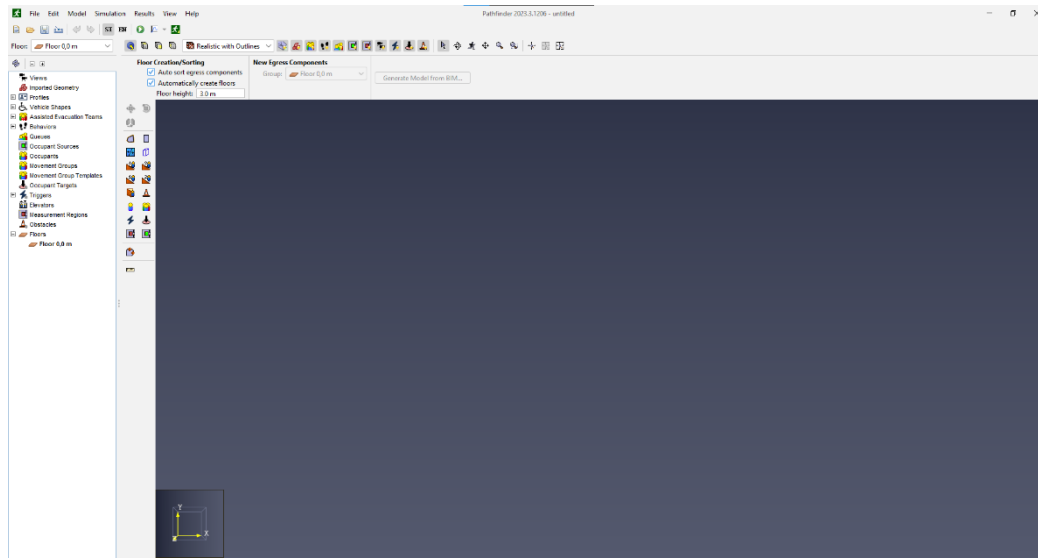


Figura 10- Interface inicial Pathfinder

Tal como descrito anteriormente, foram obtidas as plantas do edifício em análise, às quais foram efetuadas medições preliminares antes de começar a construção do modelo.

De seguida, através da funcionalidade do *software "Import"*, foi importada a planta do centro comercial, no formato *AutoCad*, com o objetivo de ajudar a elaboração do edifício. Na figura 11, é possível observar como aceder a esta ferramenta.

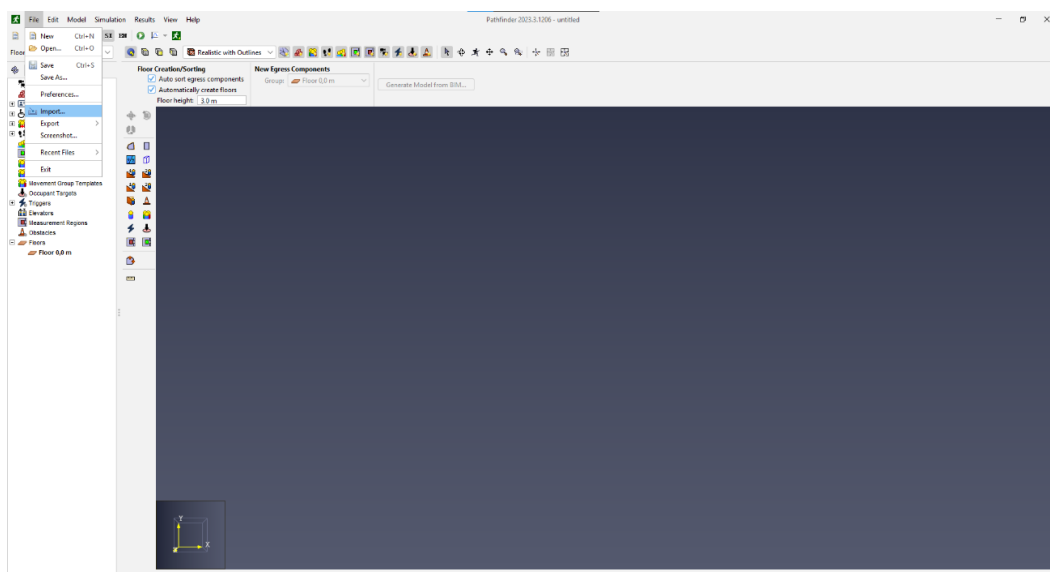


Figura 11- Caminho no software para importar a planta

Posteriormente, a partir da planta anteriormente importada, foram criadas as várias divisões, neste caso, as várias lojas, casas de banho e corredores. Para isso, é utilizada a ferramenta "Add a polygonal room" ou "Add rectangular room", dependendo da geometria da divisão. A figura 12 mostra a criação de uma loja através da funcionalidade "Add a rectangular room".

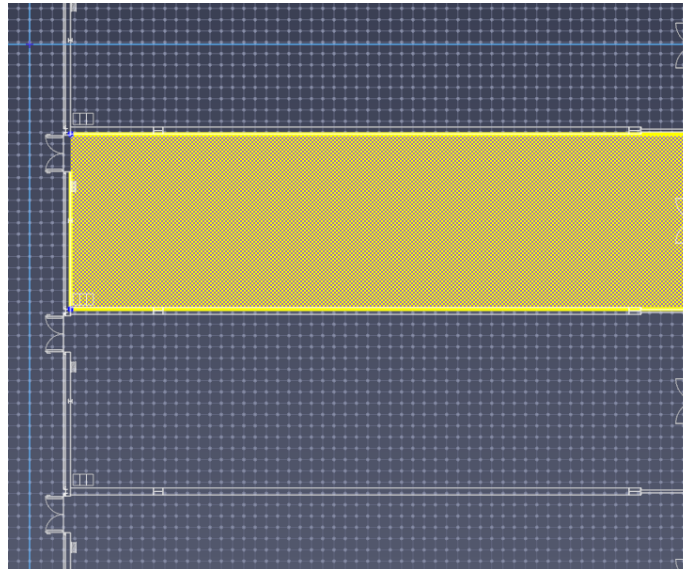


Figura 12- Ferramenta "Add a Rectangular Room"

Após a criação de todas as divisões, é necessária a conexão não só entre os vários compartimentos do centro comercial, mas também a criação de saídas para o exterior. Neste sentido, é utilizada a ferramenta "Add a New Door", que permite ao utilizador escolher a localização e dimensão da porta que pretende inserir no modelo. Também é possível editar outros parâmetros importantes, tais como a sua cor, opacidade, estado inicial (aberta, fechada, passagem apenas em um sentido) e taxa de fluxo de ocupantes. Nas figuras 13, é possível observar uma porta que conecta duas divisões.

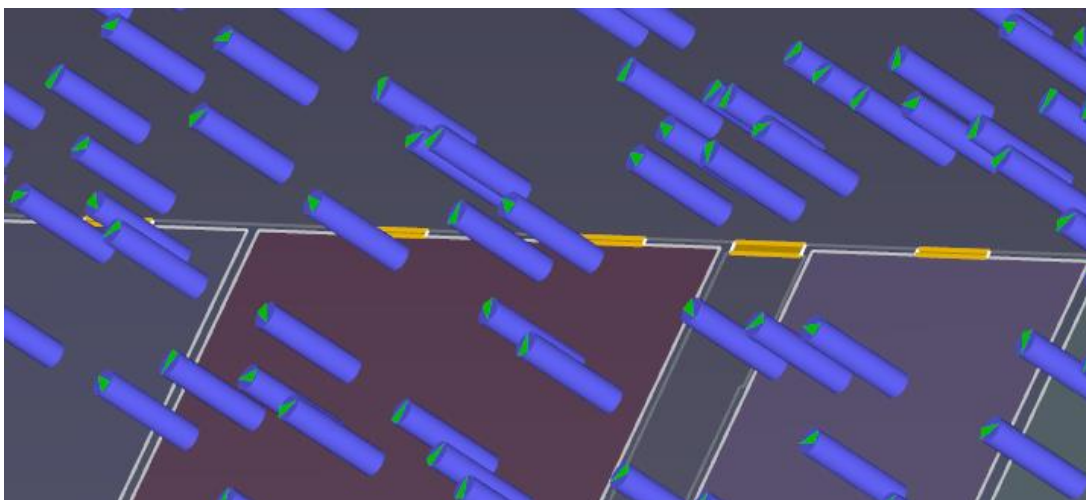


Figura 13- Representação computacional de portas que conectam divisões

Por outro lado, na figura 14 é possível observar uma porta que simboliza uma saída para o exterior.

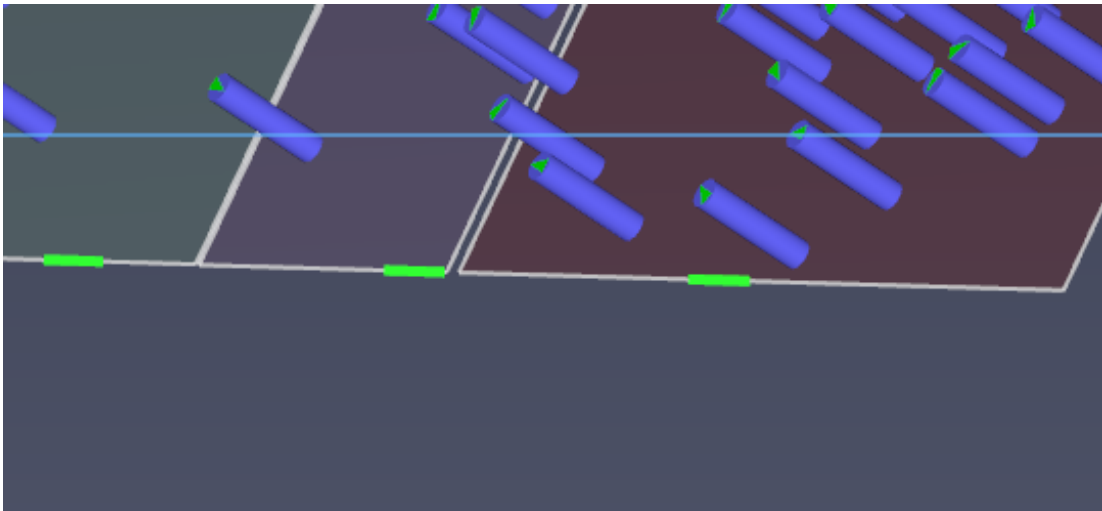


Figura 14- Representação computacional de portas de saída para o exterior

No final da criação do modelo para simulação, foi necessária a adição de obstáculos presentes nos corredores comuns, tais como quiosques, esplanadas e zonas de lazer e descanso. Para esta representação é utilizada a ferramenta “*Add na Obstacle*”. Dessa forma, é criada uma zona onde, aquando da simulação, os ocupantes demoram mais tempo a atravessar a mesma, representando a situação de contorno ou desvio que se verifica na vida real. Na figura 15, observamos uma das zonas criadas no modelo.

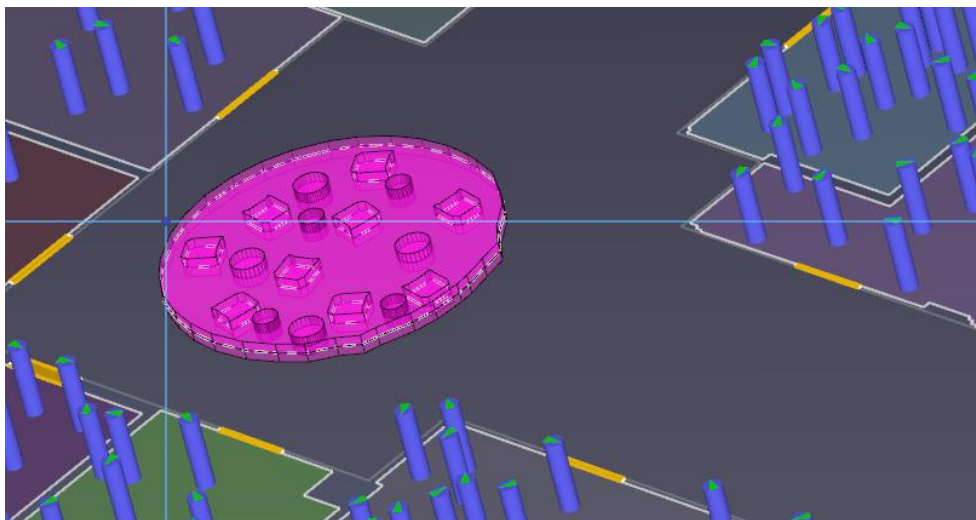


Figura 15- Representação computacional de um obstáculo

O software oferece ainda a funcionalidade de criar escadas, rampas e elevadores, no entanto, uma vez que a zona comercial do Vila do Conde Fashion Outlet é um edifício de apenas um andar, estas ferramentas não foram exploradas no presente trabalho.

Assim, após a criação do modelo, vem a etapa de preencher o espaço, isto é, adicionar ocupantes ao centro comercial. A situação representada é referente a um dia de lotação máxima do edifício, ou seja, 8.000 ocupantes. Sendo assim, o *software* dispõe da funcionalidade “Add an Occupant” para adicionar apenas um ocupante de cada vez ou “Add Occupants to a Region” para adicionar um certo número de ocupantes, definidos pelo utilizador, numa região específica. Para este modelo foi utilizada esta última ferramenta, sendo possível observar o resultado na figura 16.

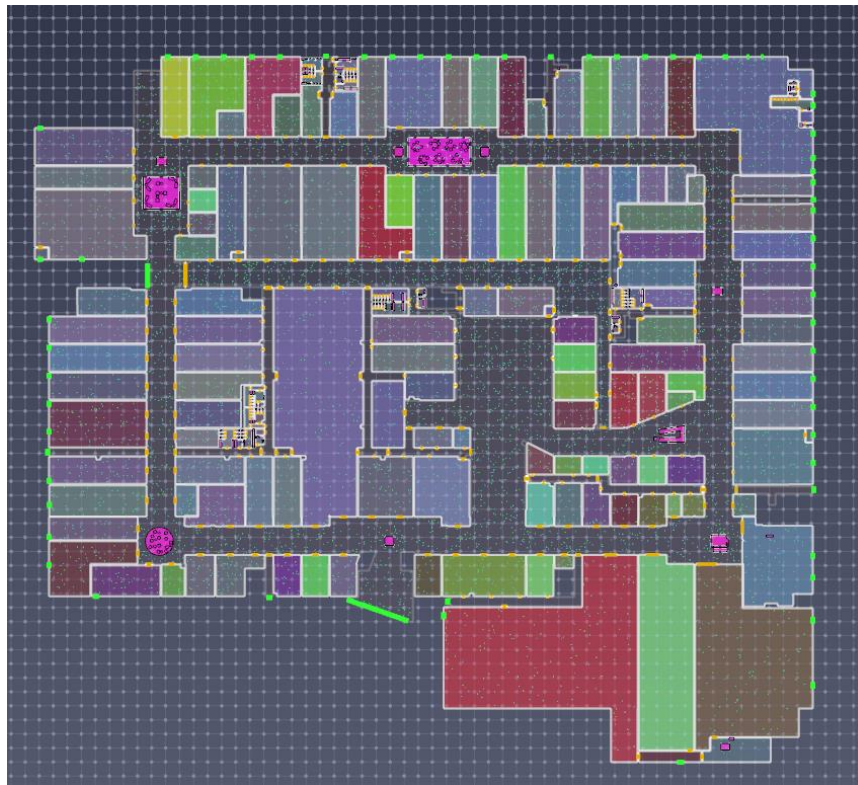


Figura 16- Modelo computacional final do edifício

Por último é necessário editar os ocupantes do edifício, isto é, através da definição do seu “Profile”, gerir parâmetros como velocidade, tamanho, fator de redução, diâmetro, utilização de diferentes caminhos, etc. Neste sentido, e de forma a abranger o máximo número de faixas etárias através de apenas um perfil, foi utilizada uma distribuição normal para o cálculo da velocidade de cada ocupante. Assim, os parâmetros da distribuição foram valores mínimo e máximo de 1.2 m/s e 1.6 m/s, respetivamente, com uma média de 1.4 m/s e um desvio-padrão de 0.2 m/s, tal como é possível observar na figura 17. Estes valores irão ser explicados nos capítulos que se seguem.

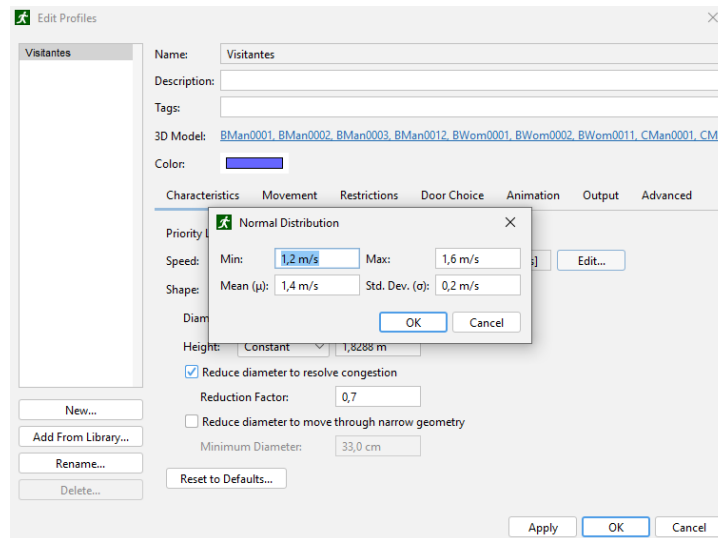


Figura 17- Parâmetros da distribuição normal da velocidade dos ocupantes

Depois de concluída a etapa de construção do modelo, procedeu-se então à simulação. O software possibilita a visualização 2D e 3D em tempo real, apresentando posteriormente não só o formato multimédia dos resultados, mas também em forma de gráfico. Os resultados apresentados são a utilização de divisões, na medida em que observamos o número de ocupantes da divisão por tempo e o fluxo de pessoas que atravessa uma certa porta no decorrer do tempo da evacuação.

3.2.2. Validação do Modelo de Simulação Desenvolvido

De forma a proceder à validação do modelo de simulação desenvolvido, foi necessária a comparação dos tempos de uma evacuação real com tempos recolhidos através da simulação da evacuação do Vila do Conde Fashion Outlet no *Pathfinder*.

Neste sentido, de forma a averiguar se o modelo desenvolvido é válido ou não, foram efetuadas 15 cronometragens, do tempo de deslocação de um único ocupante de diversas localizações do edifício, como por exemplo lojas, até as diferentes saídas ou também outras lojas existentes no centro comercial. Em todas as medições, o ocupante procurou manter uma velocidade constante, iniciando o movimento aquando do início da cronometragem.

Sendo assim, a tabela 4 analisa e compara os tempos medidos e apresenta o erro percentual existente entre a simulação real e a simulação computacional.

Tabela 4- Erro percentual entre simulação real e computacional

<i>Localização inicial</i>	<i>Localização final</i>	<i>Simulação real (s)</i>	<i>Simulação Computacional (s)</i>	<i>Erro percentual (%)</i>
<i>Ralph Lauren</i>	Saída principal Norte	149	135.5	9.06%
<i>Nike</i>	Saída Sul	194	216	11.34%
<i>Salsa Jeans</i>	Salsa	127	137.3	8.11%
<i>McDonalds</i>	Saída principal Norte	80	74.5	6.88%
<i>Sacoor</i>	Ralph Lauren	144	138.3	3.96%
<i>Sacoor</i>	Carolina Herrera	80	78.3	2.13%
<i>Carolina Herrera</i>	Ralph Lauren	59	54.3	7.97%
<i>Samsonite</i>	Nike	63	59.5	5.56%
<i>Ralph Lauren</i>	Saída de emergência sul	50	53.8	7.60%
<i>Sacoor</i>	Saída de emergência este	31	29.8	3.87%
<i>Carolina Herrera</i>	Samsonite	94	96.8	2.98%
<i>Ralph Lauren</i>	Samsonite	43	46	6.97%
<i>Nike</i>	Ralph Lauren	105	104.5	0.47%
<i>Administração</i>	Saída de emergência oeste	75	79.3	5.73%
<i>Administração</i>	Saída principal Norte	89	81.8	8,09%

Analisando a tabela 4, podemos concluir que o menor erro percentual existente é de 0.47% e o maior é de 11.34%. Desta forma, a média de erros percentuais é de 6.05%, o que permite concluir que não há uma variação significativa dos tempos cronometrados em relação aos tempos resultantes da simulação computacional e, sendo assim, o sistema desenvolvido demonstra ser válido.

3.3. Análise dos cenários de evacuação

Para a análise dos cenários de evacuação foi necessária a criação de variáveis, para averiguar o comportamento dos intervenientes dentro do centro comercial. Desta forma, num dia de muito movimento, como é o caso do final de semana, podem estar presentes 7000 ocupantes.

Assim, os diferentes cenários são baseados na mudança de algumas variáveis verificar o tempo total de duração do edifício. Essas variáveis são:

- Número de saídas: nos diferentes cenários analisados, foram estudados tanto o número de saídas disponíveis quanto às diversas combinações possíveis dessas saídas. O objetivo foi examinar o comportamento dos ocupantes e determinar o tempo total necessário para a evacuação.
- Velocidade de evacuação: Segundo (Oullette & Rea, 1989), a velocidade de evacuação dos ocupantes pode ser influenciada pelo nível de iluminação no piso. Na figura 18 é possível analisar a relação entre as duas variáveis.

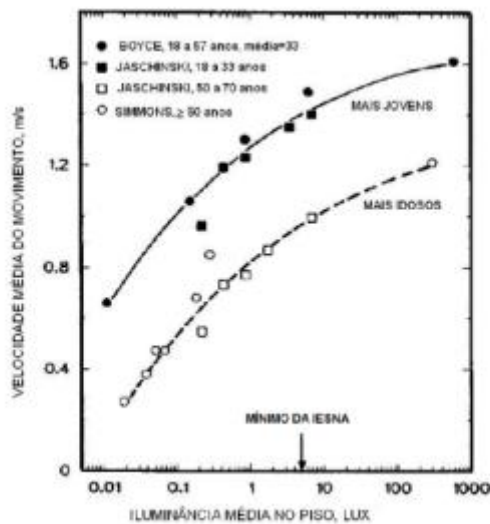


Figura 18- Gráfico que relaciona a velocidade de movimento e iluminação média (Oullette & Rea, 1989)

Desta forma, a velocidade dos ocupantes, tendo por base a figura 18, irá ter, obrigatoriamente, seu valor entre 1.2 m/s e 1.6 m/s. Como já foi explicado anteriormente, a solução utilizada foi uma distribuição normal com valores mínimo e máximo de 1.2 e 1.6 metros por segundo, uma média de 1.4 metros por segundo e desvio padrão de 0.2.

- Comportamento: o comportamento dos ocupantes no modelo de simulação computacional baseia-se na busca pela saída mais próxima e apropriada. A este comportamento é dado o nome de “Go to Any Exit”, não possuindo os ocupantes qualquer tipo de orientação relativamente aos locais para onde se devem deslocar, utilizando o caminho mais curto em direção a uma saída.
- Tempo de pré evacuação: Através da tabela 3, apresentada no capítulo 2.5, constata-se que o tempo de pré-evacuação para esta dissertação é de 120

segundos, uma vez que este edifício se trata de um conjunto de lojas e edifício de laser. Para além disso, o tipo de alarme presente no centro comercial são uma série de mensagens previamente gravadas, que iniciam a transmissão após deteção do perigo, instruindo os ocupantes sobre as instruções de evacuação. Desta forma, corresponde ao tipo de alarme W1.

3.3.1. Cenário 1 – Edifício com todas as saídas disponíveis

Neste primeiro cenário, todas as saídas do Vila do Conde Fashion Outlet estão acessíveis para utilização dos ocupantes, no caso de evacuação. Neste sentido, o objetivo da simulação é averiguar o tempo necessário para a evacuação total de todos os 7000 ocupantes criados no *Pathfinder*.

Na tabela 5, encontram-se os resultados para este primeiro cenário.

Tabela 5- Resultados cenário 1

Tempo de pré evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	507
Tempo total (s)	627
Tempo médio de evacuação das pessoas (s)	122
Distância média percorrida (m)	77

Na figura 19, verifica-se a evolução, ao longo do tempo, do número de pessoas evacuadas no edifício.

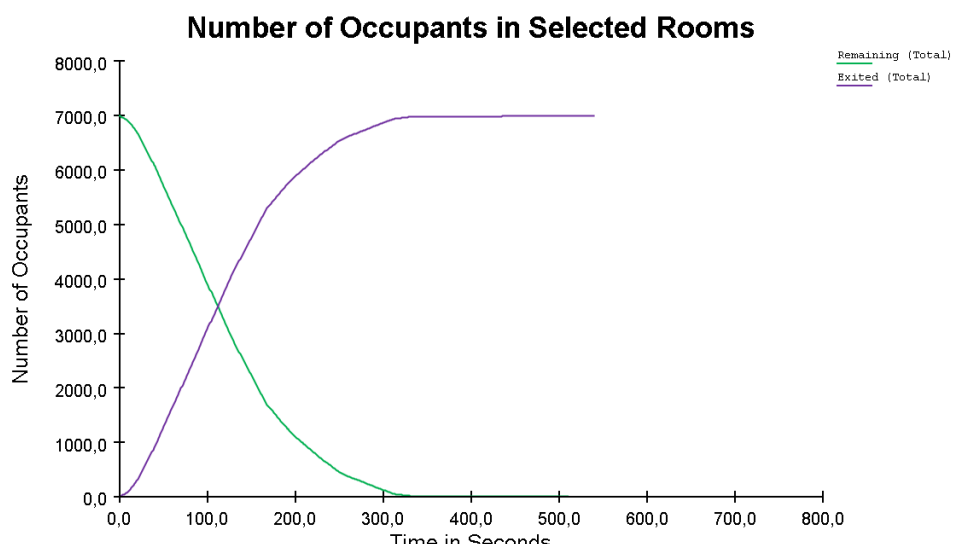


Figura 19- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 1

Através da figura 19, podemos concluir que, aos 112 segundos, os primeiros 50% dos ocupantes terminaram o processo de evacuação. No entanto, a partir dos 300 segundos, aproximadamente, o fluxo de saída dos ocupantes decresce abruptamente, o que levou a mais 200 segundos para a evacuação total das últimas 35 pessoas.

Na figura 20, é possível observar o fluxo de saída dos ocupantes do edifício, ao longo do tempo, mediante a porta escolhida.

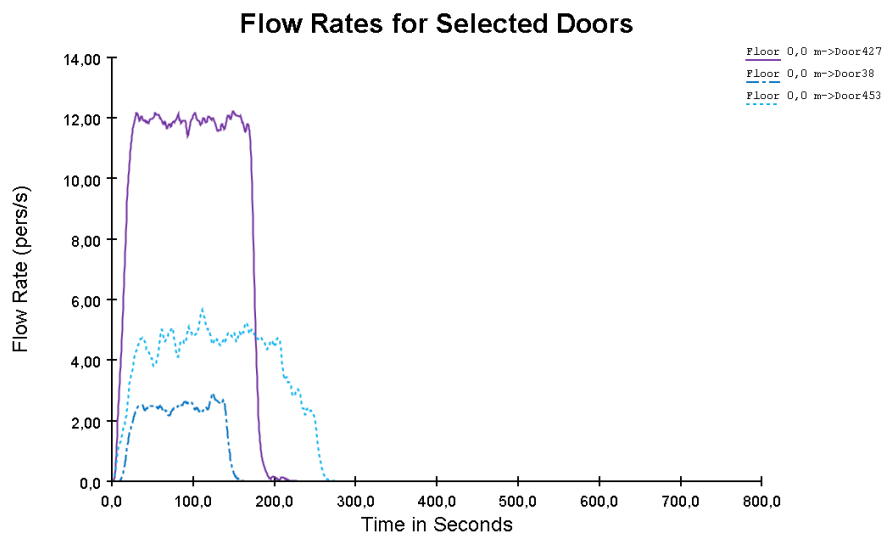


Figura 20- Gráfico do fluxo de pessoas por porta por unidade de tempo cenário 1

Esta visão detalhada proporcionada pela figura 20, permite concluir que não apenas o tamanho da porta influencia, mas também a sua localização na planta do edifício, uma vez que a saída principal norte corresponde à linha intermédia do gráfico e a saída sul à linha roxa.

3.3.2. Cenário 2 – Edifício com saídas do lado Esquerdo/Este bloqueadas

No segundo cenário analisado, foi explorada a situação da existência de um incêndio na zona este, isto é, o lado esquerdo da planta anteriormente apresentada. Neste contexto, as saídas desta zona do centro comercial foram bloqueadas.

Assim, o objetivo deste cenário foi avaliar a mudança no tempo total de evacuação, através da alteração do número de saídas, mas mantendo o número de ocupantes, isto é, 7000 pessoas. Neste aspeto, a tabela 6, apresenta os resultados da simulação computacional deste novo cenário.

Tabela 6- Resultados cenário 2

Tempo de pré evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	629.8
Tempo total (s)	749.8
Tempo médio de evacuação das pessoas (s)	187.1
Distância média percorrida (m)	98.3

Através da análise da tabela 6, podemos constatar que, em comparação ao primeiro cenário, existe uma alteração significativa em todos os valores registados. Primeiramente, o tempo de evacuação, após o bloqueio de duas portas na zona Este, sofre um aumento natural de, aproximadamente, 127 segundos. Sendo que o tempo de pré-evacuação se mantém, então a evacuação sem estas duas saídas é, efetivamente, mais lenta. Em adição, sendo que o tempo total de evacuação é maior, verifica-se um aumento do tempo médio de evacuação dos ocupantes, o que é explicado através da distância média percorrida aumentar significativamente, devido aos ocupantes da zona Este não poderem utilizar as saídas dessa mesma zona e terem de se deslocar para outras zonas do centro comercial.

No seguinte gráfico apresentado na figura 21, podemos observar a evolução do número de ocupantes que saem e os que permanecem no edifício, ao longo do tempo de evacuação.

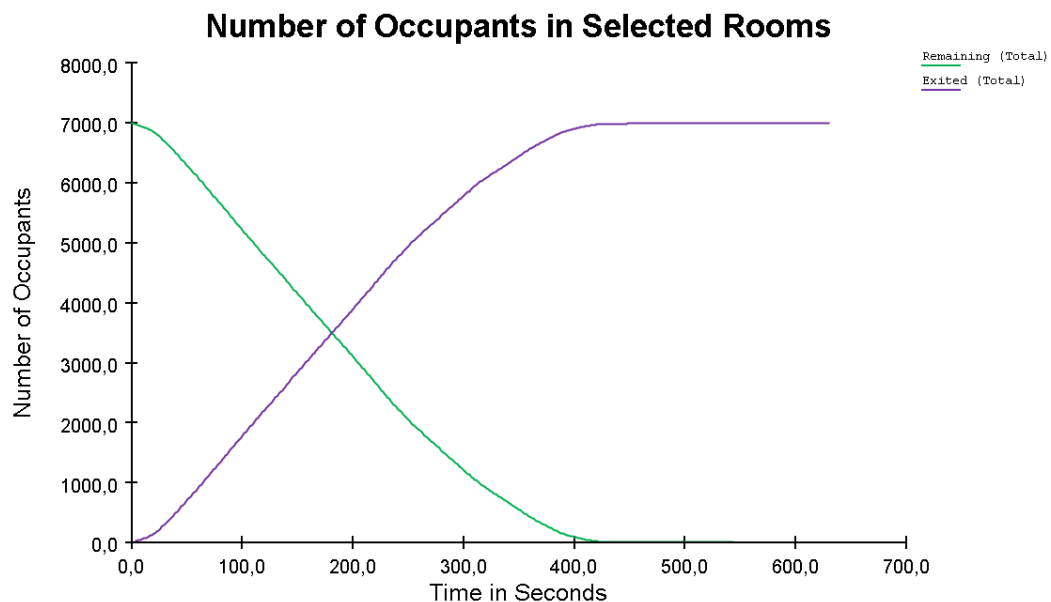


Figura 21- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 2

Através da análise da figura 21, verifica-se que, aproximadamente, aos 180 segundos, metade dos ocupantes do centro comercial já tinham evacuado o mesmo. No entanto, nos últimos 150 segundos, a partir dos 400 segundos, existe um decréscimo significativo do declive do gráfico, o que permite concluir que, na etapa final de evacuação, existe um grande congestionamento junto às saídas, correspondendo esta etapa à evacuação das últimas 100 pessoas.

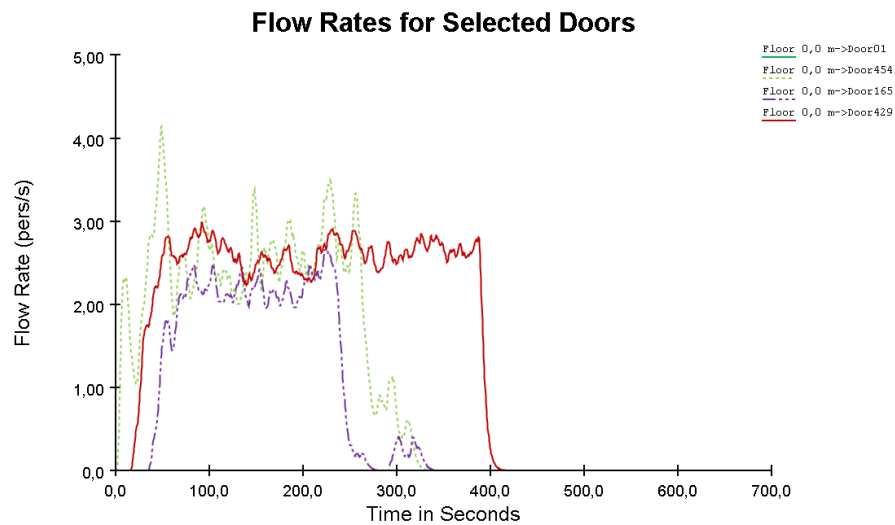


Figura 22- Gráfico do fluxo de pessoas por porta por unidade de tempo cenário 2

Na seguinte figura 22, verificamos o fluxo de pessoas, por unidade de tempo, em 3 portas específicas, duas localizadas na zona norte do centro, sendo que uma delas é a saída principal, e a outra na zona oeste do centro comercial.

Pela análise da figura 22, e comparando esta com o mesmo gráfico do cenário 1, podemos tirar algumas conclusões importantes. Verifica-se, ao longo do tempo, e comparando as 3 portas analisadas, uma maior estabilidade, isto é, os valores de fluxo de pessoas por segundo são mais semelhantes do que os do cenário 1. Neste sentido, conclui-se que, o congestionamento que se verifica nas portas é equivalente, independentemente da localização da saída e o seu tamanho.

3.3.3. Cenário 3 – Edifício com saídas do lado Direito

Neste terceiro cenário, foi alterada a localização do suposto perigo. Desta forma, foi simulada uma evacuação do Vila do Conde Fashion Outlet com os corredores de emergência do lado oeste do edifício bloqueados.

Neste aspeto, o objetivo da análise deste cenário foi verificar a diferença no tempo de evacuação registado após alteração das saídas bloqueadas, mas mantendo o número de ocupantes, ou seja, 7000 pessoas. Assim, a tabela 7 apresenta os resultados da simulação computacional deste novo cenário.

Tabela 7- Resultados cenário 3

Tempo de pré evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	737
Tempo total (s)	857
Tempo médio de evacuação das pessoas (s)	142.9
Distância média percorrida (m)	91.4

Analisando os resultados da tabela 7, podemos concluir que, comparando ao cenário 2, há uma diferença notória, nomeadamente no tempo total de evacuação. Quanto aos valores de distância média percorrida, estes são relativamente semelhantes, no entanto, ligeiramente menores devido à localização da praça de alimentação central ser levemente mais próxima da zona este do edifício. Quanto ao tempo médio de evacuação das pessoas este revela-se significativamente menor.

Na figura 23, podemos observar o gráfico que expressa a evolução, ao longo do tempo, do número de ocupantes que evacuam e os que permanecem dentro do edifício.

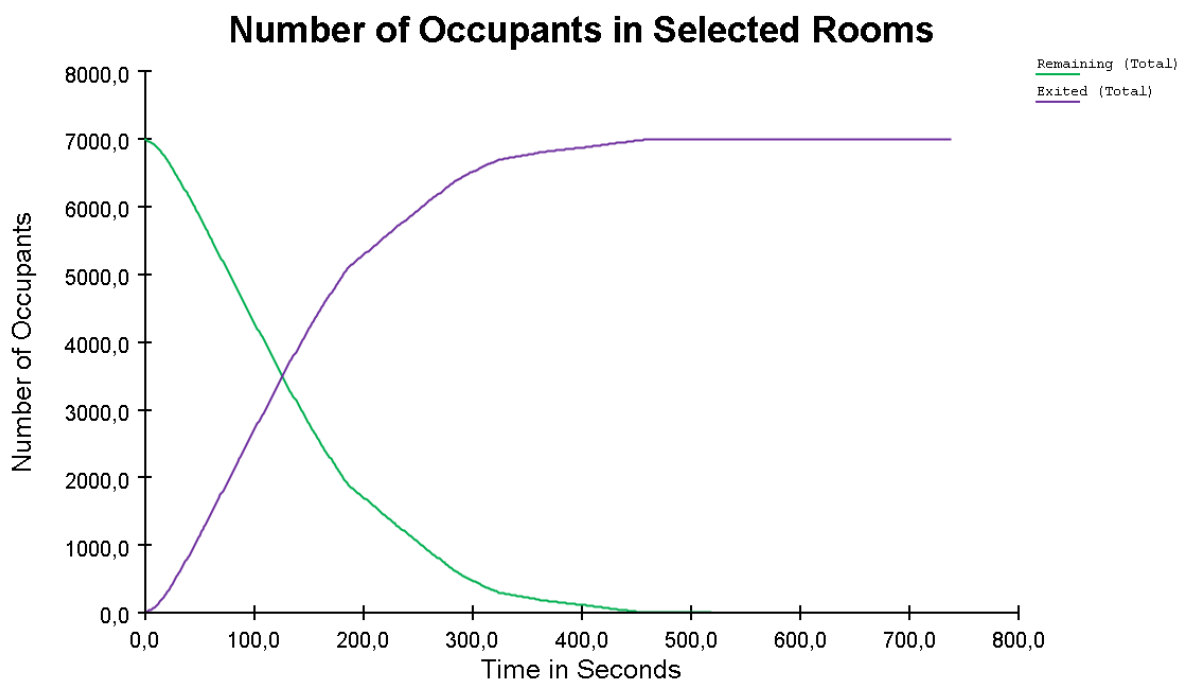


Figura 23- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 3

Após análise da figura 23, podemos concluir que ao final de 124 segundos, já 50% dos ocupantes tinham evacuado o edifício. No entanto, o declive do gráfico diminui drasticamente a partir dos 300 segundos, o que levou a que as últimas 250 pessoas demorassem 437 segundos a evacuar. Concluímos desta forma que o congestionamento nas saídas foi muito elevado neste cenário.

Na figura 24, podemos observar o fluxo de pessoas por unidade de tempo em duas portas específicas, neste caso, a saída Norte principal e um corredor de emergência na zona norte também. Deste gráfico, podemos retirar e confirmar a mesma conclusão que no cenário 1.

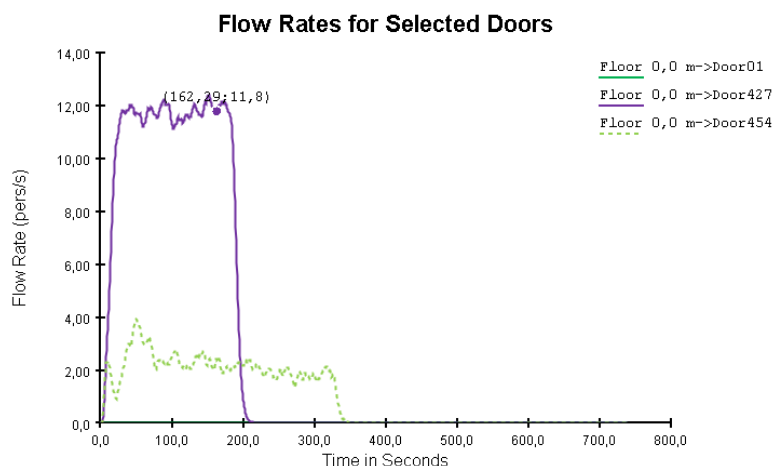


Figura 24- Gráfico do fluxo de pessoas por porta por unidade de tempo cenário 3

3.3.4. Cenário 4 – Edifício com saídas do lado Superior/Sul bloqueadas

Neste cenário, decidiu-se continuar o mesmo registo do cenário anterior, no entanto, alterando novamente o foco do incêndio. Assim, neste quarto cenário foi explorada a simulação computacional com 7000 ocupantes, bloqueando os dois corredores de emergência localizados na zona sul do edifício.

Na tabela 8, observa-se os resultados verificados no *Pathfinder*.

Tabela 8- Resultados cenário 4

Tempo de pré evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	823
Tempo total (s)	943
Tempo médio de evacuação das pessoas (s)	136.4
Distância média percorrida (m)	85.8

Pela análise aos resultados, concluímos que é uma evacuação claramente mais lenta. O tempo de evacuação demonstra-se mais elevado pelo facto da zona superior do centro comercial possui bastantes obstáculos, tais como quiosques e respetivas esplanadas. Desta forma, o tempo total é o maior dos 4 cenários para já apresentados, ainda que a distância média percorrida seja a segunda menor.

Na figura 25, observa-se o respetivo gráfico correspondente ao número de pessoas presentes e evacuadas do edifício ao longo da evacuação.

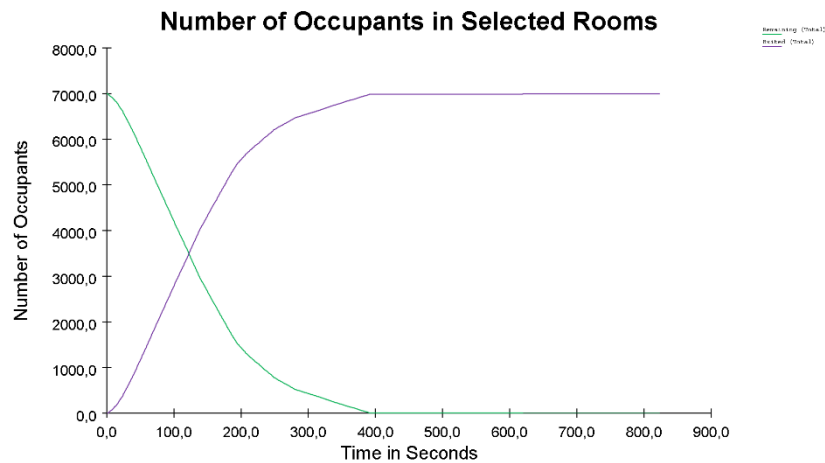


Figura 25- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 4

Pela observação da figura 25, podemos constatar que o início da evacuação decorre bastante rápido e que 50% dos ocupantes são evacuados nos primeiros 110 segundos. No entanto, o típico decréscimo da evolução deste gráfico demonstra-se longa e as últimas 10 pessoas são evacuadas em 400 segundos.

3.3.5. Cenário 5 – Edifício com saídas do lado Inferior/Norte bloqueadas

Neste quinto cenário, a zona Norte, na qual estão presentes a saída principal e uma saída de emergência, encontra-se bloqueada, simulando dessa forma uma situação de perigo na zona inferior da planta do edifício.

Assim, a situação simulada neste cenário tem como objetivo a evacuação de 7000 pessoas pelas restantes saídas, eliminando a saída principal, que corresponde à saída com maior tamanho e fluxo de ocupantes.

Desta forma, na tabela 9, verifica-se os resultados da simulação computacional.

Tabela 9- Resultados cenário 5

Tempo de pré evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	665.8
Tempo total (s)	785.8
Tempo médio de evacuação das pessoas (s)	204.3
Distância média percorrida (m)	100.3

A partir dos resultados verificados na tabela 9 é possível tirar algumas conclusões interessantes. O tempo de evacuação verificado após bloqueio das duas saídas presentes na zona Norte do edifício é o mais baixo em cenário de bloqueio de saídas. Já o tempo médio e distância percorrida são valores significativamente mais elevados do que os verificados em cenários anteriores, o que permite concluir que ainda que os ocupantes percorram um caminho maior e demorem mais tempo a sair, este acontecimento é benéfico na evacuação, uma vez que se verifica um menor congestionamento nas saídas e o fluxo de pessoas a sair é mais equilibrado.

Na figura 26, observa-se o gráfico que apresenta a quantidade de pessoas ainda presentes e as já evacuadas do centro comercial, por unidade de tempo.

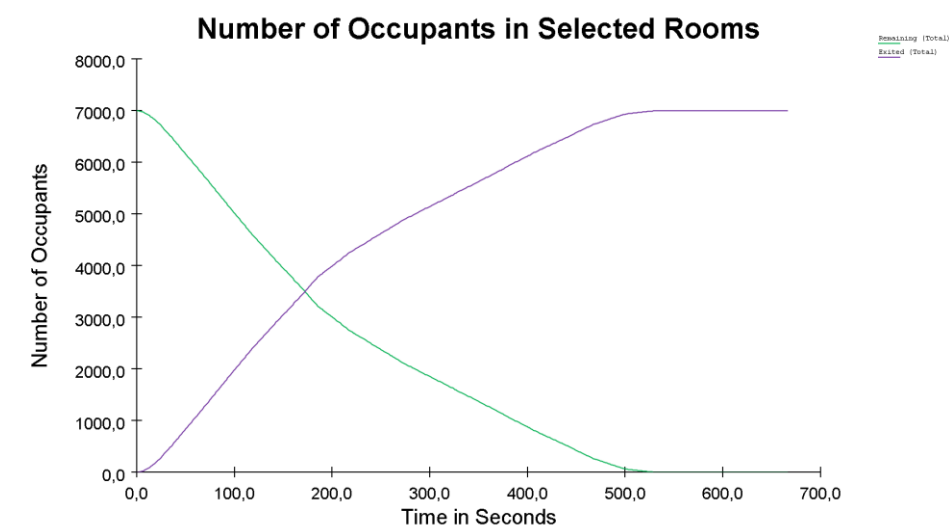


Figura 26- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 5

Neste sentido, a interpretação do gráfico da figura 26, confirma as afirmações anteriores, verificando-se que aos 170 segundos, já 50% dos ocupantes abandonaram o edifício em segurança. Em adição, verifica-se que a estabilidade da linha roxa, correspondente aos ocupantes ainda dentro do edifício, ocorre num período mais avançado e tem menor tamanho, isto é, o congestionamento final da evacuação, verificado em cenários anteriores, neste cenário 5, ocorre mais tarde e tem menor duração o que é positivo e permite uma maior eficiência da evacuação.

3.3.6. Cenário 6 – Todas as saídas bloqueadas menos as saídas Inferior/Norte

Neste sexto e último cenário, face à situação 5 anteriormente testada, sentiu-se a necessidade de verificar a viabilidade e importância da saída principal Norte e, neste sentido, todas as outras saídas foram bloqueadas e apenas estão abertas as saídas localizadas na zona inferior da planta do edifício.

Assim, foi simulada a evacuação do centro comercial de 7000 pessoas apresentando os seguintes resultados visíveis na tabela 10.

Tabela 10- Resultados cenário 6

Tempo de pré evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	759.3
Tempo total (s)	879.3
Tempo médio de evacuação das pessoas (s)	297.6
Distância média percorrida (m)	157.8

Pela interpretação da tabela 10, podemos confirmar a importância da saída principal, uma vez que o tempo total de evacuação, ainda que superior aos registados em cenários anteriores, não tem uma diferença muito grande. Neste sentido, os restantes valores são facilmente compreensíveis, já que o tempo médio de evacuação aumenta devido à maior distância percorrida pelos ocupantes que se encontram noutras zonas do edifício sem ser a zona Norte.

Na figura 27, observa-se o gráfico que demonstra a evolução das pessoas presentes e evacuadas do edifício.

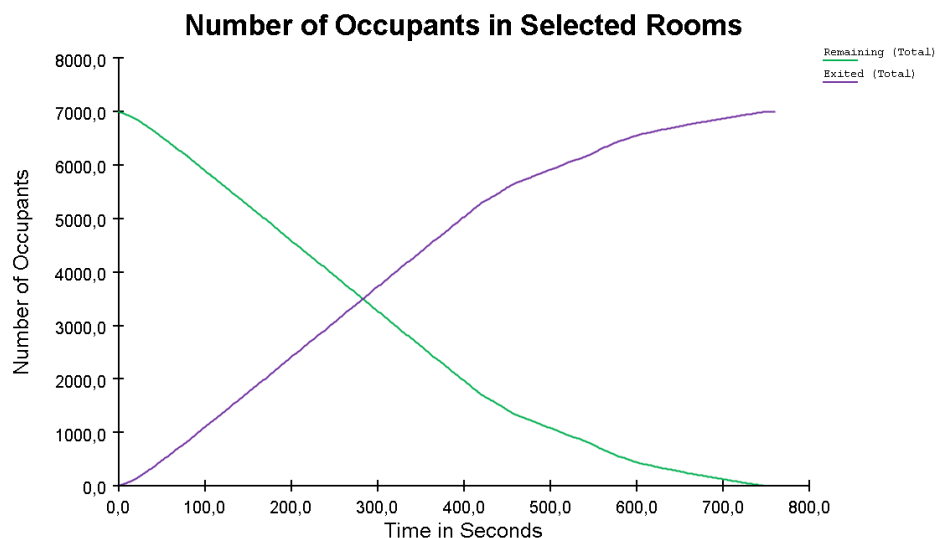


Figura 27- Gráfico do número de ocupantes por unidade de tempo cenário 6

Pela interpretação do gráfico da figura 27, verificamos a maior distância percorrida e aumento do tempo médio de evacuação neste cenário em específico, uma vez que 50% das pessoas são evacuadas apenas aos 290 segundos. Ainda assim, verifica-se que a aproximação da linha verde ao eixo das abcissas ocorre num momento muito tardio e durante um intervalo de tempo reduzido. Este acontecimento decorre do pouco congestionamento nas saídas e uniformidade do fluxo de evacuação.

4. Resultados e Discussão

Após a criação dos diferentes cenários discutidos anteriormente, foi feita uma análise aos tempos de evacuação. Este capítulo visa apresentar e discutir os resultados obtidos.

A tabela 11, apresenta os tempos de evacuação verificados em cada cenário, de forma a analisar o tempo mais rápido e mais lento de evacuação, mantendo a velocidade considerada neste estudo.

Tabela 11- Tempo total de evacuação em cada cenário

Cenário	Condições	Tempo total de evacuação (s)
1	Todas as saídas disponíveis	627
2	Saídas do lado esquerdo/Este bloqueadas	749.8
3	Edifício com saídas do lado Direito/Oeste bloqueadas	857
4	Edifício com saídas do lado Superior/Sul bloqueadas	943
5	Edifício com saídas do lado Inferior/Norte bloqueadas	785.8
6	Todas as saídas bloqueadas menos as Saídas Inferior/Norte	879.3

Pela análise da tabela 11 conclui-se que o tempo necessário para a evacuação total do Vila do Conde Fashion Outlet, com 7000 ocupantes presentes, está compreendido entre os 627 e 943 segundos (entre 10.45 e 15.72 minutos), para a distribuição de velocidade anteriormente referida.

A presente dissertação permitiu avaliar o impacto da localização do incêndio ou outra situação de perigo, no tempo total de evacuação do Vila do Conde Fashion Outlet. Na sequência, conseguimos concluir que quanto maior for a disponibilidade de portas de saída para os ocupantes, maior será a rapidez média de evacuação total por pessoa e menor será a distância média percorrida por cada ocupante. A mesma conclusão obtém-se no caso inverso da disponibilidade de portas de saída ser menor.

Resultados e Discussão

Por outro lado, também foi possível retirar algumas conclusões relacionadas com a localização de uma situação de perigo mais prejudicial para a evacuação ideal do edifício. Neste aspeto, constata-se que o cenário 4, isto é, a situação em que um incêndio está ativo na zona Sul do centro comercial, conseqüentemente bloqueando as saídas de emergência desta zona, provoca a evacuação mais lenta registada. Por outro lado, o cenário 1 demonstra ter a evacuação mais rápida, visto que é o cenário em que todas as saídas estão disponíveis.

5. Conclusão

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do mestrado de Engenharia Mecânica, especialidade de Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Esta dissertação consistiu no desenvolvimento de um modelo de simulação computacional no *software Pathfinder*, com o objetivo de analisar diferentes cenários de evacuação, descobrindo as melhores estratégias, que proporcionassem o menor tempo de evacuação, permitindo apresentar sugestões de melhoria ao Vila do Conde Fashion Outlet.

Neste capítulo, são apresentadas conclusões acerca do trabalho e procedimentos realizados, abordando as dificuldades encontradas e ideias para futuros trabalhos.

5.1. Principais contributos do trabalho

A realização desta dissertação permitiu:

- Elaborar um modelo do edifício do centro comercial Vila do Conde Fashion Outlet no software Pathfinder;
- Averiguar o impacto da velocidade, número de saídas e obstáculos no tempo de evacuação de ocupantes;
- Possuir uma ferramenta mais didática para conhecer processo de evacuação de Vila do Conde Fashion Outlet;
- Identificar as zonas e saídas mais importante numa evacuação;

A realização do projeto permitiu dar a conhecer várias estratégias de evacuação de um centro comercial com uma lotação de 7000 ocupantes, retratando a situação de maior afluência do edifício, registada nos dias de final de semana ou feriados. Desta forma, possibilitou uma melhor compreensão dos diferentes tempos de evacuação, analisando variáveis como a zona de incêndio e diferentes combinações de saídas disponíveis para realizar a evacuação.

Ainda que o Vila do Conde Fashion Outlet já possua uma estratégia de emergência bem definida, esta é terceirizada, isto é, realizada por uma empresa parceira. Neste sentido, o centro comercial possui a oportunidade de tornar este setor mais otimizado, tornando-se uma referência a nível nacional na área de evacuação de centros comerciais.

Conclusão

Este estudo permitiu ainda conhecer a importância da simulação em *shoppings* com um elevado número de ocupantes, situação na qual se torna importante uma rápida resposta de evacuação, de forma a evitar situações agravadas.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

As maiores dificuldades encontradas ao longo da dissertação passaram pela aprendizagem do *software Pathfinder* utilizado. Sendo que era um programa com o qual nunca tinha trabalhado exigiu uma pesquisa e aprendizagem intensa inicial, de forma a conhecer as funcionalidades necessárias para a modelação de simulação do edifício.

Ainda que a área da simulação computacional já seja bastante utilizada na evacuação de grandes edifícios, como é o caso do Vila do Conde Fashion Outlet e outros centros comerciais, penso que no futuro novos cenários poderão ser realizados, devido à elevada possibilidade de combinações de saídas. Destaca-se também a possibilidade de integrar no modelo de simulação áreas do edifício que não a zona comercial, como é o caso de zonas de manutenção, que possuem um fator de risco mais elevado e também áreas de administração.

Para além disso, também seria interessante no futuro explorar mais funcionalidades do *Pathfinder*, tornando o projeto ainda mais completo, sendo um exemplo a orientação dos ocupantes do edifício e a ferramenta "*Current Door Preference*" e o impacto das mesmas nos tempos de evacuação.

Referências

- Abreu, C. E. M., Gonzaga, D. R. B., dos Santos, F. J., de Oliveira, J. F., de Moraes Oliveira, K. D., Figueiredo, L. M., & dos Santos Gonçalves, G. A. (2017). Indústria 4.0: Como as empresas estão utilizando a simulação para se preparar para o futuro. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 12(12), 49-53.
- Coelho, P. M. N. (2016). Rumo à indústria 4.0, Universidade de Coimbra(Portugal).
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2011). The case study approach. *BMC Medical Research Methodology*, 11(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100/TABLES/9>
- CFPA. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings, CFPA - E No 19:2009 F.
- Erboz, G. (2017). How to define industry 4.0: Main pillars of industry 4.0. *Managerial trends in the development of enterprises in globalization era*, 761, 761-767.
- Freitas, D. R. (2012). Fatores que influenciam a evacuação de edifícios, Universidade do Minho (Portugal).
- Gan, H. S., Richter, K. F., Shi, M., & Winter, S. (2016). Integration of simulation and optimization for evacuation planning. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 67, 59-73.
- Gravit, M., Kirik, E., Savchenko, E., Vitova, T., & Shabunina, D. (2022). Simulation of evacuation from stadiums and entertainment arenas of different epochs on the example of the Roman Colosseum and the Gazprom Arena. *Fire*, 5(1), 20.
- Han, F., Liu, L., & Zhang, Y. (2021). Pathfinder-based simulation and optimisation of personnel evacuation modelling of a shopping mall. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1757, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.
- Ivanov, M. L., & Chow, W. K. (2023). Experimental and numerical evacuation study in tall office building. *Journal of Building Engineering*, 107103.
- Jevtić, R. B. (2014). Simulation of the shopping center 'Zona I' evacuation. *Tehnika*, 69(3), 537-541.

Referências

- Jiang, Z. M., Zhang, P. H., Shang, R. X., & Tian, X. L. (2014). Investigation and simulation on human evacuation behaviour in large hospital building in Shenyang. *Procedia engineering*, 71, 101-106.
- Khan, E. A., Ahmed, M. A., Khan, E. H., & Majumder, S. C. (2017). Fire emergency evacuation simulation of a shopping mall using fire dynamic simulator (FDS). *Journal of Chemical Engineering*, 30(1), 32-36.
- Kinateder, M. T., Kuligowski, E. D., Reneke, P. A., & Peacock, R. D. (2015). Risk perception in fire evacuation behavior revisited: definitions, related concepts, and empirical evidence. *Fire Science Reviews*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40038-014-0005-z>
- Klüpfel, H., & Meyer-König, T. (2005). Simulation of the evacuation of a football stadium using the CA Model PedGo. In *Traffic and granular flow'03* (pp. 423-428). Springer Berlin Heidelberg.
- Klüpfel, H., Meyer-König, T., & Schreckenberg, M. (2003). Comparison of an evacuation exercise in a primary school to simulation results. In *Traffic and granular flow'01* (pp. 549-554). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lin, C. S., & Wu, M. E. (2018). A study of evaluating an evacuation time. *Advances in mechanical engineering*, 10(4), 1687814018772424.
- Maraboti, A., Aquino, D., Bennett, G., Abreu, P., Fragoso, R., Fontainha, T. C., & Leiras, A. (2018). Comportamento populacional na evacuação em massa. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7, 103-110.
- Ouellette, M. J., & Rea, M. S. (1989). Illuminance requirements for emergency lighting. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 18(1), 37-41. <https://doi.org/10.1080/00994480.1989.10748741>
- Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in construction*, 17(4), 377-385.
- Pidd, M., De Silva, F. N., & Eglese, R. W. (1996). A simulation model for emergency evacuation. *European Journal of Operational Research*, 90(3), 413-419.
- Proulx, G. (2001, May). Occupant behaviour and evacuation. In *Proceedings of the 9th international fire protection symposium* (pp. 219-232). Proceedings of the 9th International Fire Protection Seminar, Munich, Germany.
- Pursals, S. C., & Garzón, F. G. (2009). Optimal building evacuation time considering evacuation routes. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 692-699.
- Randon, G., & Cecconello, I. (2019). Simulação como tecnologia habilitadora da Indústria 4.0: Uma revisão da literatura. *Scientia cum Industria*, 7(2), 117-125.
- Reis, M. D. R. F. (2014). Estudo da evacuação em caso de incêndio de edifícios que recebem público: o caso do Shopping Center Fórum Coimbra, Universidade de Coimbra.

Referências

- Rodríguez, H., Quarantelli, E. L., Dynes, R. R., Sorensen, J. H., & Sorensen, B. V. (2007). Community processes: Warning and evacuation. *Handbook of disaster research*, 183-199.
- Sakurai, R., & Zuchi, J. D. (2018). As revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, 15(2), 480-491.
- Santos, B. P., Alberto, A., Lima, T. D. F. M., & Charrua-Santos, F. M. B. (2018). Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 4(1), 111-124.
- Sherman, M. F., Peyrot, M., Magda, L. A., & Gershon, R. R. M. (2011). Modeling pre-evacuation delay by evacuees in World Trade Center Towers 1 and 2 on September 11, 2001: A revisit using regression analysis. *Fire Safety Journal*, 46(7), 414-424.
- Shi, J., Ren, A., & Chen, C. (2009). Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions. *Automation in Construction*, 18(3), 338-347.
- Tserng, H. P., You, J. Y., Chang, C. Y., & Hsiung, K. H. (2012). Comparison analysis of emergency evacuation between computer simulations and real exercises for large-space buildings. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 35(6), 779-792.
- Uliana, R. S. (2022). Simulação computacional de evacuação em edificação de reunião de público: o estudo de caso do Centro de Convenções da Universidade Federal de Santa Maria.
- Ventura, M. M. (2007). O estudo de caso como modalidade de pesquisa. *Revista SoCERJ*, 20(5), 383-386.
- Wang, N., Gao, Y., Li, C. Y., & Gai, W. M. (2021). Integrated agent-based simulation and evacuation risk-assessment model for underground building fire: A case study. *Journal of Building Engineering*, 40, 102609.
- Xiao, M., Zhou, X., Han, Y., Bai, G., Wang, J., Li, X., & Sunya, S. (2021). Simulation and optimization of fire safety emergency evacuation in university library. *AIP Advances*, 11(6).
- Zang, Y., Mei, Q., & Liu, S. (2021). Evacuation simulation of a high-rise teaching building considering the influence of obstacles. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 112, 102354.

Referências

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: João Afonso Pires da Costa

ISEP, Porto, 9 de julho de 2024

