



Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo de Alto Rendimento

GUILHERME AFONSO CAMPOS

Junho de 2025

**Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de
um Centro Desportivo de Alto Rendimento**

Guilherme Afonso Campos

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

Orientador: Professor Doutor Carlos Ramos Nunes Luís Pinto Ferreira

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 com Agregação 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, junho de 2025

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), manifesto o meu profundo agradecimento pela sua orientação atenta e pelos valiosos contributos ao longo deste trabalho. Agradeço ainda o seu apoio incondicional, a orientação técnica e o incentivo prestados durante todo o processo de elaboração desta dissertação.

Ao engenheiro Rui Terrível e ao técnico Sérgio Fernandes, pela constante ajuda e disponibilidade facultada durante todo o trabalho, pelo contacto estabelecido com a autarquia e pela atenção e interesse demonstrados em ajudar durante as minhas visitas ao Centro de Alto Rendimento.

À minha namorada, pelo apoio constante e pela presença incondicional nos momentos de maior exigência e também nos de celebração, motivando-me a dar o meu melhor.

À minha família, pelo contributo essencial no meu desenvolvimento pessoal e académico.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, pela entreaajuda ao longo deste percurso e por me inspirarem diariamente a evoluir.

Resumo

A presente dissertação procurou analisar e propor melhorias no processo de evacuação num Centro Desportivo de Alto Rendimento em Portugal, considerando diferentes cenários de ocupação. Na abordagem teórica associada ao tema em questão, destacou-se a importância da indústria na gestão de infraestruturas desportivas, bem como o papel relevante da simulação computacional na análise de evacuações e respetivo enquadramento legal aplicável em território nacional. A componente prática teve como objetivo principal a avaliação dos tempos de evacuação dos ocupantes (público) no Centro de Alto Rendimento (CAR) de Anadia, procurando recriar cenários realistas de eventos desportivos realizados nas instalações, nomeadamente competições de ginástica, esgrima e judo, bem como provas de ciclismo de pista. Para além disso, procurou-se analisar o formato de evacuação quando ocupados os quartos disponíveis para estadia dos atletas, identificando e analisando de forma detalhada e exaustiva potenciais estrangulamentos e pontos a melhorar. Através das simulações efetuadas, e dos 14 cenários criados, os resultados providenciaram uma visão abrangente dos principais fatores que condicionam a evacuação, salientando a importância das características físicas do edifício, tais como a distribuição das saídas e a própria geometria interna. A partir desta dissertação, conclui-se que o tempo necessário para a evacuação total do pavilhão, em condições normais de acesso, no que concerne à assistência em provas de ginástica, judo e esgrima (Cenário 1) apresenta o valor de 285,53 segundos. O Cenário 4, respeitante às bancadas presentes no último piso e responsáveis pela assistência em provas de ciclismo indica que estas podem ser evacuadas em 290,5 segundos. Por fim, o Cenário 12, indica que a evacuação dos quartos para os 48 ocupantes consegue ser realizada em 128,3 segundos. Verificou-se que apesar da existência de períodos de congestionamento acentuado em fases iniciais, estes não comprometeram a evacuação desde que as saídas estivessem bem distribuídas e funcionais. Os cenários com bloqueios parciais em zonas distintas do pavilhão permitiram observar o comportamento dos intervenientes na procura de alternativas que reduzissem o tempo de evacuação o máximo possível, permitindo o seu escoamento sem necessidade de percorrer grandes distâncias. Estes resultados demonstraram que a bancada fixa, que possui o maior número de lugares disponíveis para assistência, leva mais tempo para evacuar em condições normais de acessos, apesar de não diferir em muito quando comparada à bancada telescópica, localizada no interior do polidesportivo. A distribuição de saídas ajuda de forma natural numa mais rápida evacuação dos adeptos, permitindo que estes consigam, apesar de em maior número, evacuar praticamente no mesmo tempo. Isto demonstra que a localização das saídas são tão ou mais importantes do que o próprio número de ocupantes, desde que a distribuição seja equilibrada e funcional. Nos quartos, a evacuação revelou-se rápida e eficaz, refletindo a menor densidade de ocupação e a boa acessibilidade às saídas, mesmo quando surgiram restrições pontuais. Em espaços com menor complexidade espacial e densidade controlada, a evacuação pode decorrer de forma segura e sem constrangimentos significativos, garantindo o bem-estar dos ocupantes.

Palavras-chave: Simulação Computacional, Evacuação, Centro Desportivo, *PathFinder*

Abstract

This dissertation aimed to analyse and propose improvements to the evacuation process in a High-Performance Sports Centre in Portugal, considering various occupancy scenarios. In the theoretical framework of this study, the importance of the industry in managing sports infrastructures was highlighted, as well as the significant role of computational simulation in evacuation analysis and its respective legal framework applicable in Portugal. The practical component primarily focused on assessing the evacuation times of occupants (public) at the Centro de Alto Rendimento (CAR) de Anadia, aiming to recreate realistic scenarios of sporting events held in these facilities, including gymnastics, fencing, and judo competitions, as well as track cycling events. In addition, the evacuation process was analysed when the accommodation rooms for athletes were occupied, identifying and thoroughly examining potential bottlenecks and areas for improvement. The simulations provided, based on the 14 scenarios developed, a comprehensive understanding of the main factors influencing evacuation, underscoring the relevance of the building's physical characteristics, such as the layout of the exits and the overall internal geometry. From this work, it was concluded that the total evacuation time, in normal conditions, for the sports hall during gymnastics, judo, and fencing competitions (Scenario 1) was 285.53 seconds. Scenario 4, relating to the fixed seating on the upper floor for track cycling events, showed that evacuation could be completed in 290.5 seconds. Finally, Scenario 12 indicated that the evacuation of the rooms accommodating 48 occupants could be carried out in 128.3 seconds. Although there were pronounced periods of congestion during the initial stages of evacuation, these did not compromise the overall process, provided that the exits remained well-distributed and operational. The scenarios involving partial blockages in different areas of the sports hall demonstrated how occupants actively sought alternative routes to minimise their evacuation time, managing to leave the venue without needing to cover excessive distances. These results showed that the fixed stands, which have the largest seating capacity, required the most time to evacuate under normal access conditions, although the difference was not substantial when compared to the telescopic stands located within the indoor arena. The natural distribution of exits facilitated a faster evacuation of spectators, allowing them, despite being in greater numbers, to leave in almost the same amount of time. This demonstrates that the location and accessibility of exits are as important as, if not more important than, the total number of occupants, provided that the distribution of those exits is balanced and functional. Regarding the accommodation rooms, the evacuation process was found to be quick and effective, reflecting the lower density of occupants and the good accessibility of exits, even in the presence of minor restrictions. In areas with simpler spatial configurations and controlled density, evacuation can proceed safely and without significant obstacles, ensuring the well-being of occupants.

KEYWORDS: Computer Simulation, Evacuation, Sports Centre, PathFinder

Índice

Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xv
Acrónimos e Símbolos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do trabalho.....	1
1.2. Objetivos do trabalho.....	2
1.3. Organização e Estruturação da Dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. A Indústria 5.0 no contexto dos Centros Desportivos de Alto Rendimento.....	5
2.2. Contributos da simulação para a melhoria da excelência operacional das empresas industriais ou de serviços.....	8
2.3. Casos de Estudo – Aplicações tecnológicas para a melhoria do funcionamento de Centros Desportivos.....	12
2.4. A importância da Evacuação para a segurança das pessoas.....	17
2.4.1. Simulação como ferramenta de suporte na evacuação.....	18
2.5. Legislação em Portugal para a evacuação de edifícios.....	20
2.5.1. Evacuação em recintos desportivos.....	20
3. Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo.....	22
3.1. Centro de Alto Rendimento de Anadia.....	22
3.2. Distribuição Funcional.....	23
3.2.1. Piso -1.....	24
3.2.2. Piso 0.....	26
3.2.3. Piso 1.....	28
3.3. Análise da simulação.....	31
3.3.1. Representação virtual do edifício.....	31
3.4. Validação do Modelo de Simulação.....	38
3.5. Análise crítica dos planos de evacuação.....	40
3.5.1. Cenário 1: Todas as saídas disponíveis – CDP 35% (Bancada telescópica).....	42
3.5.2. Cenário 2: Todas as saídas disponíveis – CDP 70% (Bancada telescópica).....	43
3.5.3. Cenário 3: Saídas do lado nascente disponíveis – CDP 35% (Bancada telescópica)	45
3.5.4. Cenário 4: Todas as saídas disponíveis – CDP 35% (Bancada fixa).....	48
3.5.5. Cenário 5: Todas as saídas disponíveis – CDP 70% (Bancada fixa).....	51
3.5.6. Cenário 6: Saídas do lado poente disponíveis – CDP 35% (Bancada fixa).....	53

3.5.7. Cenário 7: Saídas do lado poente disponíveis + porta bloqueada – CDP 35% (Bancada fixa).....	55
3.5.8. Cenário 8: Saídas do lado poente disponíveis – CDP 70% (Bancada fixa)	59
3.5.9. Cenário 9: Saídas do lado nascente disponíveis – CDP 35% (Bancada fixa)	61
3.5.10. Cenário 10: Saídas do lado nascente disponíveis + porta bloqueada – CDP 35% (Bancada fixa).....	63
3.5.11. Cenário 11: Saídas do lado nascente disponíveis – CDP 70% (Bancada fixa) 66	66
3.5.12. Cenário 12: Todos os acessos e saídas disponíveis – CDP 35% (Quartos)...	68
3.5.13. Cenário 13: Escadas centrais bloqueadas – CDP 35% (Quartos)	71
3.5.14. Cenário 14: Saída do Piso 0 bloqueada – CDP 35% (Quartos).....	73
4. Resultados e Discussão	77
4.1. Apresentação de resultados.....	77
4.1.1. Bancada Telescópica (Cenários 1 a 3).....	78
4.1.2. Bancada Fixa (Cenários 4 a 11)	79
4.1.3. Quartos (Cenários 12 a 14)	81
4.2. Discussão de resultados	83
4.2.1. <i>Current Door Preference</i> : Uma análise comparativa de cenários.....	83
4.2.2. Geometria e distribuição de acessos	84
5. Conclusão.....	87
5.1. Conclusões finais.....	87
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	88
Referências.....	89
Declaração de Integridade	97

Lista de Figuras

Figura 1- Indústria 5.0 “ <i>Framework</i> ” (Ivanov, 2023).....	5
Figura 2- Tecnologias da Indústria 5.0 (Breque et al., 2021)	7
Figura 3- Abordagens baseadas em simulação aplicadas ao contexto da indústria 4.0 (de Paula Ferreira et al., 2020).....	9
Figura 4- Estrutura metodológica para o desenvolvimento de um modelo de simulação Salas-Navarro et al. (2024)	10
Figura 5- Análise do panorama de emissões: Redução de Emissões (eixo y) e rendimento do terminal (eixo x) em milhões de toneladas (Neagoe et al. (2021).....	11
Figura 6- Quantidade de desastres naturais no mundo entre 2000 e 2023 (<i>Statista Search Department, 2024</i>).....	17
Figura 7- Localização do Centro de Alto Rendimento (<i>Google Maps, 2025</i>)	22
Figura 8- Centro de Alto Rendimento de Anadia (Fundação do Desporto, 2018)	23
Figura 9- Planta do Piso -1 (Retirado de R. Rosmaninho, Velódromo Nacional – Centro de Alto Rendimento de Anadia, 2022)	24
Figura 10- Entrada do público para acesso às bancadas telescópica e fixa (Piso -1).....	25
Figura 11- Escadas para acesso à bancada fixa.....	25
Figura 12- Planta do Piso 0 (Retirado de R. Rosmaninho, Velódromo Nacional – Centro de Alto Rendimento de Anadia, 2022)	26
Figura 13- Exemplo de uma casa de banho (Piso 0)	27
Figura 14- Acessos à bancada fixa (Piso 0).....	27
Figura 15- Planta do Piso 1 (Retirado de R. Rosmaninho, Velódromo Nacional – Centro de Alto Rendimento de Anadia, 2022)	28
Figura 16- Corredor de acesso aos quartos (Piso 1)	29
Figura 17- Acessos (escadas e elevador) - lado poente	29
Figura 18- Bancadas fixas (nascente).....	30
Figura 19- Bancadas fixas (lado poente)	30
Figura 20- Exemplo da Planta do piso 1 (formato “ <i>DWG</i> ”).....	31
Figura 21- Funcionalidade de importar ficheiros para o <i>PathFinder</i>	31
Figura 22- 3 Pisos alinhados pelo elevador e escadas (<i>Top View</i>)	32
Figura 23- Aplicação da função "Extract Room From Imported Geometry" num espaço do centro	32
Figura 24- Representação da bancada telescópica no <i>PathFinder</i>	33
Figura 25- Representação das bancadas fixas no <i>PathFinder</i>	33
Figura 26- Representação dos ocupantes dos quartos triplos (Piso 1).....	34
Figura 27- Representação dos 2 tipos de portas existentes - (<i>Preto - Acesso comum; Vermelho - Saída de emergência</i>).....	34
Figura 28- Representação de uma escada no <i>PathFinder</i>	35
Figura 29- Representação do elevador no <i>PathFinder</i>	35
Figura 30- Tipo de ocupantes criados	36
Figura 31- Perfil (<i>profile</i>) para o público com mobilidade condicionada.....	36

Figura 32- Diferentes comportamentos (<i>behaviors</i>) criados	37
Figura 33- Distribuição do público (bancada telescópica)	42
Figura 34- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo – Cenário 1	43
Figura 35- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 2	44
Figura 36- Representação das saídas disponíveis do cenário 3 (Rodeadas a laranja)	45
Figura 37- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 3	46
Figura 38- Taxa de utilização das saídas disponíveis no cenário 3.....	47
Figura 39- Distribuição do público (Bancada Fixa – lado poente).....	48
Figura 40- Distribuição do público (Bancada Fixa - lado nascente)	48
Figura 41- Taxa de utilização da saída "Door362" – Cenário 4.....	49
Figura 42- Taxa de utilização das saídas "Door368" e "Door369" - Cenário 4.....	50
Figura 43- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 4	50
Figura 44- Taxa de utilização da saída "Door362" - Cenário 5.....	51
Figura 45- Taxa de utilização das saídas "Door368" e "Door369" - Cenário 5.....	52
Figura 46- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 5	52
Figura 47- Representação das saídas disponíveis do lado poente (Rodeadas a laranja).....	53
Figura 48- Taxa de utilização da saída "Door362" - Cenário 6.....	54
Figura 49- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 6	55
Figura 50- Representação da saída bloqueada (rodeada a laranja)	56
Figura 51- Representação da mudança de percurso (retângulo laranja) pelos ocupantes (<i>PathFinder</i> - Cenário 7).....	57
Figura 52- Taxa de utilização das saídas "Door362", "Door65" e "Door69" - Cenário 7	57
Figura 53- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 7	58
Figura 54- Taxa de utilização da saída "Door362" - Cenário 8.....	59
Figura 55- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 8	60
Figura 56- Representação das saídas disponíveis no lado nascente (Rodeadas a laranja).....	61
Figura 57- Taxa de utilização das saídas "Door368" e "Door369" - Cenário 9.....	62
Figura 58- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 9	63
Figura 59- Representação da saída bloqueada (amarelo)	64
Figura 60- Representação da mudança de percurso (seta laranja) pelos ocupantes (<i>PathFinder</i> - Cenário 10).....	65
Figura 61- Taxa de utilização das saídas "Door369" e "Door395" - Cenário 10.....	65
Figura 62- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 10.....	66
Figura 63- Taxa de utilização das saídas "Door368", "Door369" e "Door395" - Cenário 11	67
Figura 64- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 11	67
Figura 65- Representação da distribuição de adeptos durante a evacuação – Cenário 12.....	68
Figura 66- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 12.....	69
Figura 67- Taxa de utilização das saídas "Door362" e "Door66" - Cenário 12	70
Figura 68- Representação das escadas bloqueadas (amarelo) - Cenário 13	71
Figura 69- Representação da distribuição dos ocupantes pelos acessos verticais - Cenário 13	72
Figura 70- Taxa de utilização das saídas "Door362", "Door66" e do elevador "Elevator00" – Cenário 13	72
Figura 71- Número de ocupantes presentes ao longo do tempo – Cenário 13.....	73

Figura 72- Número de ocupantes presentes ao longo do tempo – Cenário 14.....	74
Figura 73- Taxa de utilização das saídas “Door65” e “Door66” – Cenário 14.....	75
Figura 74- Comparação de Cenários (1,2 e 3).....	78
Figura 75- Tempos de evacuação dos Cenários da bancada fixa.....	79
Figura 76- Taxa de utilização dos acessos - Cenário 14	82
Figura 77- Congestionamentos na Bancada Telescópica.....	84
Figura 78- Congestionamentos na Bancada Fixa	84

Lista de Tabelas

Tabela 1- Casos de estudo - Tecnologias para melhoramento de Centros Desportivos	12
Tabela 2- Softwares e as suas principais áreas de aplicação, (Xiao et al., 2022)	19
Tabela 3- Comparação dos tempos de evacuação (Real vs. Simulado)	39
Tabela 4- Dados relativos ao Cenário 1.....	42
Tabela 5- Dados relativos ao Cenário 2.....	43
Tabela 6- Dados relativos ao Cenário 3.....	45
Tabela 7- Comparação de Cenários (1 e 3)	46
Tabela 8- Dados relativos ao Cenário 4.....	49
Tabela 9- Dados relativos ao Cenário 5.....	51
Tabela 10- Dados relativos ao Cenário 6.....	53
Tabela 11- Dados relativos ao Cenário 7.....	56
Tabela 12- Comparação de Cenários (6 e 7)	56
Tabela 13- Dados relativos ao Cenário 8.....	59
Tabela 14- Dados relativos ao Cenário 9.....	61
Tabela 15- Comparação de Cenários (4 e 9)	62
Tabela 16- Dados relativos ao Cenário 10.....	64
Tabela 17- Comparação de Cenários (9 e 10)	64
Tabela 18- Dados relativos ao Cenário 11.....	66
Tabela 19- Dados relativos ao Cenário 12.....	69
Tabela 20- Dados relativos ao Cenário 13.....	71
Tabela 21- Dados relativos ao Cenário 14.....	73
Tabela 22- Comparação de Cenários (12 e 14)	74
Tabela 23- Tabela resumo dos cenários elaborados.....	77
Tabela 24- Condições de cada Cenário da bancada Fixa	80

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

BMS	<i>Building management system</i>
BIM	<i>Building information modeling</i>
CAD	<i>Computer-aided design</i>
CAR	Centro de Alto Rendimento
CDP	<i>Current Door Preference</i>
DES	<i>Discrete Event Simulation</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
IEQ	<i>Indoor Environmental Quality</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LED	<i>Light Emiting Diode</i>
NEC	<i>Nippon Electric Company</i>
TF-IDF	<i>Term Frequency-Inverse Document Frequency</i>

1. Introdução

No seguinte capítulo, é realizado o enquadramento do trabalho, onde é abordado o tema central de investigação, estabelecendo as suas bases teóricas e práticas, bem como as temáticas que o complementam e justifiquem a sua relevância no contexto atual. Numa fase seguinte, são expostos os objetivos da pesquisa de uma forma detalhada. O capítulo termina com a apresentação da estrutura do relatório, descrevendo os capítulos enumerados, organizados de uma forma lógica para garantir uma melhor compreensão e base sólida da temática envolvente.

1.1. Enquadramento do trabalho

A evolução da tecnologia tem transformado profundamente diversos setores, incluindo o desportivo, onde a procura pela excelência operacional e segurança é um objetivo comum (Orunbayev, 2023).

Para Orunbayev (2023), no contexto dos Centros Desportivos de Alto Rendimento, a integração dos princípios da Indústria 5.0 representa uma oportunidade estratégica para melhorar a sua eficiência, o desempenho humano, a proteção de atletas, técnicos e público envolvente (Orunbayev, 2023).

A elaboração de modelos de simulação de evacuação acaba por possibilitar a investigação e análise de diversos estímulos que podem surgir durante o processo de evacuação, permitindo avaliar a eficiência de um plano de evacuação específico (Takabatake et al., 2023).

Numa primeira parte é dada atenção especial à temática da segurança, com destaque na importância de planeamentos de evacuação que sejam eficazes e no cumprimento da legislação portuguesa vigente, de forma a garantir a proteção de todas as pessoas envolvidas. Este enquadramento sustenta a relevância deste estudo, que procura incorporar inovação tecnológica a um compromisso com a segurança e a excelência, respondendo às exigências do desporto moderno.

O presente trabalho insere-se nesta interseção entre tecnologia e segurança, explorando de forma detalhada a forma como as abordagens baseadas em simulação podem ser aplicadas no contexto dos centros desportivos de alto rendimento, discutindo o impacto destas soluções na gestão de fluxos de evacuação e otimização operacional aplicadas e um centro de treinos desportivo localizado em Portugal.

1.2. Objetivos do trabalho

Tendo em consideração o problema de investigação previamente identificado, a presente dissertação tem como objetivo principal explorar, através da aplicação de um *software* de modelação computacional, diferentes cenários de evacuação no Centro de Alto Rendimento de Anadia. Através da simulação de situações com variações nos acessos, bloqueios parciais e parâmetros comportamentais, procura-se avaliar o impacto dessas alterações no desempenho da evacuação, recriando condições plausíveis e representativas da realidade.

Paralelamente, o trabalho analisa previamente o papel das tecnologias e da simulação computacional no contexto da segurança e operação de centros desportivos, com especial atenção na otimização dos percursos de evacuação em emergências. Ao conjugar teoria e prática, pretende-se obter uma visão crítica e fundamentada sobre a eficácia das soluções atuais e potenciais melhorias a implementar em espaços desportivos de elevada complexidade e ocupação.

Este tema adquire uma relevância crescente no contexto da modernização dos espaços desportivos, onde a segurança dos ocupantes e a eficiência operacional são prioridades fundamentais (Khairul et al., 2015).

Para concretizar este propósito, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os principais fatores de risco e limitações associados aos atuais processos de evacuação em infraestruturas desportivas, onde se encontram situações de alta densidade ocupacional.
- Investigar como é que certas tecnologias podem auxiliar a análise e otimização dos fluxos de evacuação em cenários de emergência.
- Caracterizar funcionalmente o CAR de Anadia, com base na sua distribuição espacial e nos circuitos de acesso e evacuação existentes, tendo em vista a construção de um modelo virtual.
- Modelar, simular e analisar diversos cenários de evacuação com o auxílio do software *Pathfinder*, considerando variações na disponibilidade de saídas, obstruções parciais, comportamento dos ocupantes (*Current Door Preference - CDP*) e utilização de meios alternativos.

1.3. Organização e Estruturação da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 distintos capítulos, nomeadamente:

- O primeiro capítulo, introdução, estabelece o enquadramento do trabalho, apresentando a relevância do tema no contexto atual, os objetivos gerais e específicos, e a estrutura geral do relatório.
- No capítulo 2, revisão bibliográfica, é realizada uma análise teórica sobre tópicos inerentes ao tema central desta pesquisa, incluindo o papel da tecnologia na gestão de evacuações, a importância da evacuação para a segurança das pessoas e normativas legais aplicáveis em Portugal. São também apresentados alguns casos de estudo que permitem demonstrar a aplicação de tecnologias em centros desportivos. Para além disso, é ainda realizada uma análise dos conteúdos discutidos, reforçando ao seu alinhamento com os objetivos da dissertação, principais limitações e trabalhos futuros.
- No capítulo 3, é realizada uma análise do processo de evacuação do Centro de Alto Rendimento de Anadia. Inicia-se com a caracterização funcional do edifício, distribuída pelos três pisos principais, permitindo compreender a organização espacial. Segue-se a simulação computacional do processo de evacuação, suportada por uma representação virtual e validada praticamente. Por fim, procede-se à análise crítica dos planos de evacuação existentes, através da simulação de vários cenários com diferentes níveis de ocupação e acessibilidade, com o objetivo de identificação de melhorias operacionais e de segurança.
- No 4º capítulo são interpretados os resultados obtidos a partir das simulações. A análise centra-se na comparação entre os diferentes cenários testados, evidenciando os principais constrangimentos identificados durante o processo de evacuação. A discussão foca-se também na eficácia das rotas de saída, nos tempos de evacuação e na resposta dos ocupantes perante diferentes níveis de ocupação e acessibilidade.
- Por fim, o último capítulo encerra o trabalho efetuado, procurando recapitular a problemática por de trás do tema, destacando os principais resultados obtidos e conclusões retiradas.

Introdução

2. Revisão Bibliográfica

Neste segmento, são abordadas várias temáticas relacionadas com o tema previamente exposto. Procede-se a uma análise da relação das ideologias da indústria 5.0 na sua interação em ambientes de serviços, como os centros desportivos, evidenciando ainda a simulação como ferramenta para análise de processos em diferentes setores.

Salienta-se a apresentação de vários casos de estudo referentes a aplicações tecnológicas em recintos de treino, o seu conceito, fatores que influenciam, bem como a legislação que é exercida na evacuação dos espaços desportivos.

2.1. A Indústria 5.0 no contexto dos Centros Desportivos de Alto Rendimento

Conforme argumentado por Alves et al. (2023, citado por Ivanov, 2022), enquanto a indústria 4.0 passa por uma aproximação centrada na digitalização tecnológica, já a 5.0 recai numa abordagem mais centrada nas pessoas, sustentada por 3 pilares principais: resiliência, sustentabilidade e centralidade humana, tal como indicado na Figura 1.

Industry 5.0			
	Resilience	Sustainability	Human-Centricity
Society Level	<i>Viability of intertwined supply networks</i>	<i>Sustainable usage of resources and energy on the earth</i>	<i>Viability of human-centric ecosystems</i>
Network Level	<i>Supply chain resilience</i>	<i>Supply chain sustainability</i>	<i>Cyber-physical supply chains</i>
	<i>Reconfigurable supply chain</i>	<i>Life cycle assessment of value-adding chains</i>	<i>Digital supply chains</i>
Plant Level	<i>Resilience of manufacturing and logistics facilities</i>	<i>Reduction of CO2 emissions</i>	<i>Human-machine collaboration</i>
	<i>Reconfigurable plants</i>	<i>Energy-efficient manufacturing and logistics</i>	<i>Health protection standards and layouts</i>
Organisation: Resilient Value Creation and Usage - Human's Well-being – Sustainable Manufacturing and Society			
Management: Viability as Integrative Perspective of Resilience, Sustainability and Human-Centricity			
Technology: Collaboration – Coordination – Communication – Automation – Identification – Data Analytics			
Performance: Efficiency – Productivity – Resilience – Viability			

Figura 1- Indústria 5.0 “Framework” (Ivanov, 2023)

De certa forma, esta última pode ser entendida como uma abordagem que acaba por reconhecer o poder da indústria para atingir objetivos que possam ir mais longe além do crescimento económico (Breque et al., 2021). Esta nova fase enfatiza uma produção mais sustentável, a utilização eficiente de recursos e a criação de um ambiente de trabalho que valorize a saúde e satisfação de quem o ocupa (Breque et al., 2021).

Ora, Ivanov (2023) acrescenta os níveis abrangentes pela indústria 5.0, reforçando a ideia que a nível social, a indústria 5.0 procura focar nas pessoas, em ecossistemas essenciais, tais como: agricultura, educação, saúde, desporto, entre outros (Ivanov, 2023). O objetivo passa por promover uma abordagem centradas nas necessidades humanas, assegurando ao mesmo tempo a sustentabilidade dos recursos, e ao nível da *network*, principalmente associado à sustentabilidade das cadeias de abastecimento, interligando o físico com o digital (Ivanov, 2023). Por fim, ao nível de planta, com foco *in-house*, no controlo da produção na integração de tecnologias avançadas, dados em tempo real e digitalização, com o intuito de alinhar as operações com os princípios da sustentabilidade e inovação da indústria 5.0 (Ivanov, 2023).

Este e outros conceitos acabam por ser reforçados por outros autores, (Alves et al., 2023) mencionam o objetivo da indústria 5.0 trazer novamente a influência e o papel do ser humano de volta para as fábricas e indústrias, onde a colaboração entre humanos e máquinas acontece com o intuito de aumentar a eficiência dos processos e contribuição direta da sua criatividade e conhecimentos.

Maddikunta et al. (2022) afirmam que esta última revolução é centrada no ser humano, afirmando ainda a sinergia existente entre o homem e as novas tecnologias que se destacam. Os autores definem a indústria 5.0 como um equilíbrio entre a automação dos processos e a gestão humana, garantindo a correta e segura operação, dentro dos padrões de segurança, dos processos produtivos (Maddikunta et al., 2022).

Já Devitama et al. (2020), num estudo feito na implementação de uma rede inteligente de gestão de águas num centro desportivo, refere o ser humano como o componente mais importante neste sistema de gestão de águas. Para além disso, ressalva ainda que os humanos: “make repairs after the computer reads the damage”, complementando a ideologia presente na indústria 5.0 no que concerne à colaboração homem-máquina (Devitama et al., 2020).

Para Demir et al. (2019), a indústria 5.0 está orientada para respostas mais sustentáveis, ao contrário das transformações anteriores, onde a sustentabilidade não era matéria tão presente. O autor afirma ainda que a última transformação recorre a previsões e IO (Inteligência Operacional) no desenvolvimento e tomadas de decisão, utilizando o auxílio da recolha de informação em tempo real, e o acesso a tecnologias qualificadas (Demir et al., 2019).

De acordo com Müller (2020) estas classificam-se por um conjunto de sistemas que combinam em si diversas sinergias, tais como *smart materials*, com *bio-inspired sensors*, desta forma apenas o funcionamento como um todo através das diversas categorias, permite a utilização total das suas funcionalidades (Müller, 2020).

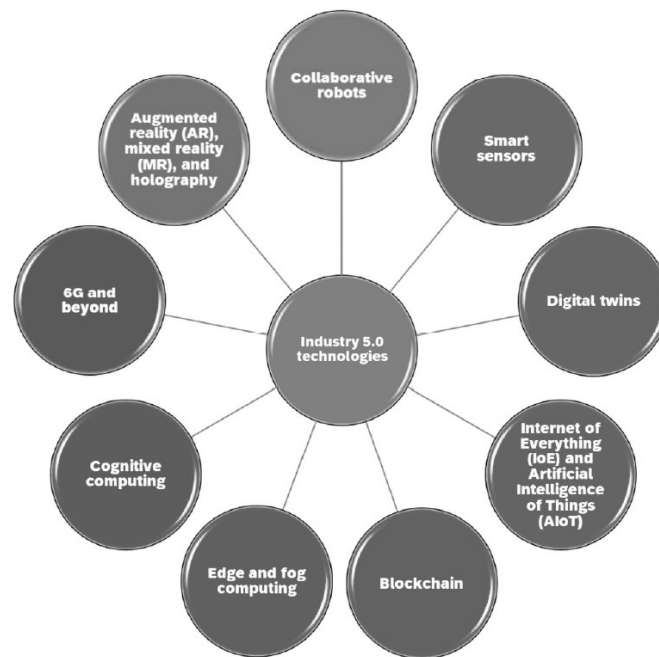


Figura 2- Tecnologias da Indústria 5.0 (Breque et al., 2021)

Dentro dos vários sistemas existentes (ver Figura 2), enfatiza-se a simulação virtual, pela utilização de softwares avançados e especializados, no contexto de possibilitação de análise de comportamentos e previsão de resultados em diferentes escalas, auxiliando na identificação de problemas e oportunidades de otimização (Müller, 2020).

Neste contexto de análise de resultados e previsões em tempo real, ressaltam-se casos práticos da aplicação de forma indireta das ideologias e tecnologias da indústria 5.0 em espaços públicos, com o objetivo de melhorar as suas condições atuais.

Fantozzi e Lamberti (2019) através de tecnologias de monitorização do ambiente dentro de um centro desportivo, pela modelação computacional na simulação de cenários ideais de qualidade/conforto térmico e sistemas inteligentes de controlo da temperatura, melhoraram as condições atuais do local de treino, contribuindo para a saúde dos praticantes (Fantozzi & Lamberti, 2019). Esta abordagem permite reforçar a teoria já mencionada e exposta por (Breque et al., 2021) e (Ivanov, 2023), onde os fatores saúde, desporto e bem-estar, apresentam um papel proeminente.

Por outro lado, no que concerne ao fator sustentabilidade, a sua consideração no contexto dos centros desportivos também está presente. Wang et al. (2019) abordaram esta temática, pela viabilidade em substituir de forma parcial a utilização de gás natural num centro desportivo universitário, por energias renováveis, através da utilização de coletores solares híbridos (Wang et al., 2019). A redução na emissão de CO₂ complementa o que já foi dito anteriormente por (Alves et al., 2023), respeitante a um dos 3 pilares característicos da indústria 5.0, a sustentabilidade.

Também Devitama et al. (2020), ao permitirem uma gestão eficiente e consciente de múltiplas fontes de água (chuva, rios e reservatórios), e melhorar a sua distribuição num centro desportivo na Indonésia, promoveram desta forma, e confirmaram a influência num dos conceitos base da indústria 5.0, em centros deste tipo (Devitama et al., 2020).

Estes são apenas alguns exemplos da presença de conteúdos respeitantes a este novo paradigma digital, onde as características e objetivos chave, tal como abordado ao longo deste capítulo, passam por procurar garantir a sustentabilidade dos processos e serviços, permitindo o bem-estar e a colaboração eficiente entre o meio digital e a parte humana.

2.2. Contributos da simulação para a melhoria da excelência operacional das empresas industriais ou de serviços

Com o avanço das tecnologias (computacionais e industriais), foram surgindo diversas ferramentas. Estas foram facilitando a recolha e o tratamento de dados, permitindo no fundo uma análise mais precisa e fundamentada, traduzindo-se num maior rigor e eficácia na tomada de decisões a nível estratégico e operacional (Gaziero & Cecconello, 2019).

Para Gaziero e Cecconello (2019), a Indústria 4.0 responsabilizou-se por introduzir oportunidades ímpares na redefinição de processos e estratégias. Tornou-se possível a tomada de decisões autónomas num ambiente de produção que simula um mercado, composto por fornecedores de serviços e consumidores (Gaziero & Cecconello, 2019).

Este modelo integra vertical e horizontalmente os processos no chão de fábrica (Dalenogare et al., 2018), promovendo um alinhamento mais eficiente com os fluxos de negócio e com as cadeias de fornecimento globais.

Para Lugert et al. (2018), as técnicas de simulação representam um papel fundamental no que diz respeito às ideologias presentes na indústria 4.0, pelo desenvolvimento de modelos de planeamento, auxiliando na resolução de problemas e advertências existentes (Lugert et al., 2018).

Esta virtualização para Ghobakhloo (2020) consiste no processo de transformar os dados obtidos através de sensores físicos, para modelos digitais, simulando a obtenção de novos produtos para os clientes, equipamentos industriais ou até mesmo fábricas completas (Ghobakhloo, 2020).

Com o desenvolvimento destes “gémeos digitais” (*digital twins*), a equipa responsável pelo desenvolvimento dos produtos pode antever o desempenho dos mesmos em situações reais, possibilitando avaliar a sua pegada digital ao longo do seu ciclo de vida (Tao et al., 2018).

Dalenogare et al. (2018) destacaram a combinação de diversas tecnologias nesta indústria, destacando a simulação e análise de modelos virtuais entre diversas terminologias na modernização dos processos industriais, capazes de representar digitalmente processos e produtos, procurando otimizar soluções antes de colocar na prática (Dalenogare et al., 2018).

A Figura 3 procura resumir as técnicas baseadas em simulação, segundo (de Paula Ferreira et al., 2020).

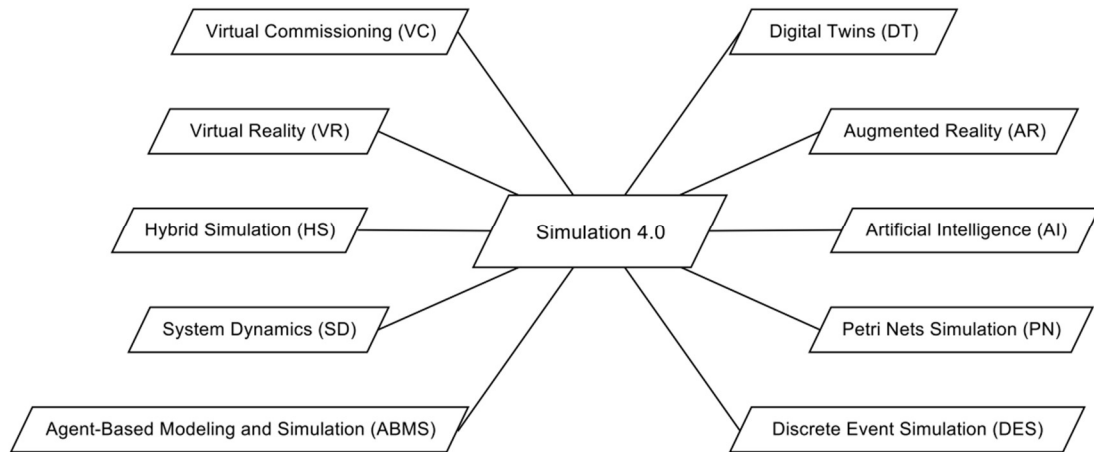


Figura 3- Abordagens baseadas em simulação aplicadas ao contexto da indústria 4.0 (de Paula Ferreira et al., 2020)

A administração de um sistema produtivo (tanto de bens quanto de serviços) requer o uso de ferramentas confiáveis que apoiem o processo de tomada de decisão (Trigueiro et al., 2019), procurando atender às necessidades dos clientes, reduzir custos e aumentar os lucros, ao mesmo tempo em que se preserva a competitividade (Salam & Khan, 2016).

No atual panorama empresarial, os processos de desenvolvimento de produtos e serviços tornam-se cada vez mais complexos. Desta forma, e sendo muito difícil a análise analítica de modelos realistas, torna-se não só necessário como essencial procurar estudar a complexidade destes modelos através de simulação (Mourtzis, 2020).

Na sua publicação Paula et al. (2020) referem-se à modelação e à simulação como “relevant techniques in the fields of industrial engineering, operations, and supply chain management”, permitindo a análise de sistemas complexos e o teste de soluções hipotéticas antes da sua concreta implementação. Os autores indicam ainda que as técnicas compreendem um conjunto de métodos e ferramentas tecnológicas que permitem testar produtos, processos e prever o funcionamento do sistema, auxiliando na tomada de decisões, reduzindo custos (Paula et al., 2020).

O fator da redução de custos é ainda reforçado por de Paula Ferreira et al. (2020), onde é destacado como das principais razões aquando da utilização de simulações, permitindo reduzir custos em protótipos e desenvolvimentos iniciais (de Paula Ferreira et al. 2020).

A modelação e análise são então utilizadas para ajudar na compreensão destes sistemas (industriais), para além de recolherem informações e dados reais, sem condicionar o sistema atual de funcionamento (Esmaeilian et al., 2016). O autor afirma ainda que a procura, e tempos

de processamento são consideradas as principais razões de incerteza, no que concerne aos fatores mais difíceis de gerir, neste panorama.

Para uma correta análise destes sistemas, e uma simulação realista, (Ullah et al., 2023), indicam ser necessário proceder a uma correta recolha prévia de dados, isto inclui tempos de processamento, períodos de baixa das máquinas utilizadas, entre outros parâmetros relevantes (ver Figura 4).

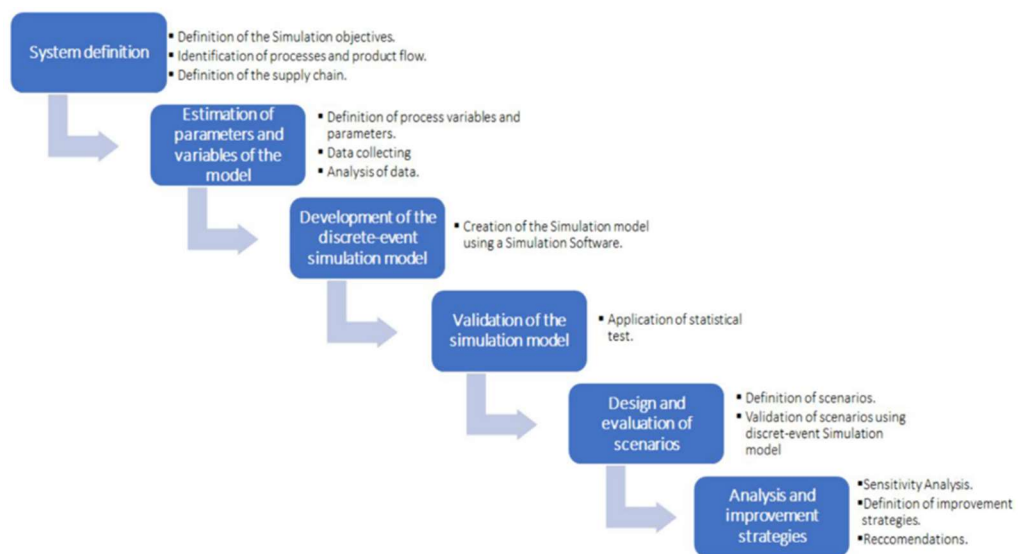


Figura 4- Estrutura metodológica para o desenvolvimento de um modelo de simulação Salas-Navarro et al. (2024)

Para além disso, seguindo o raciocínio de Ullah et al. (2023), ao permitir a combinação de diversos fatores, tais como diferentes combinações de equipamentos e alocação de trabalhadores, as modelações auxiliam na descoberta do equilíbrio mais eficiente para a linha de produção. Os resultados procuram revelar quais as áreas a melhorar, permitindo simular de forma digital um ambiente real, sem ter de interromper o processo de produção existente (Ullah et al., 2023).

Ora, Salas-Navarro et al. (2024) explica simulação por eventos discretos (*Discrete Event Simulation – DES*) como uma técnica analítica e preditiva, utilizada no estudo de sistemas complexos, podendo não só ser usada na demonstração dos benefícios de certas operações, como também no alcance de objetivos em determinados processos (Salas-Navarro et al., 2024).

Segundo Rabe et al. (2016), uma vantagem significativa é a capacidade de conseguir ser capaz de incorporar variáveis aleatórias, como tempos de espera ou procura do mercado, permitindo refletir de certa forma as incertezas e variações reais no sistema, proporcionando uma visão mais concisa e confiável do panorama em análise (Rabe et al., 2016). Os autores

utilizaram um modelo de simulação na otimização da distribuição de uma empresa de alimentos em regiões urbanas, com especial ênfase no planejamento colaborativo para conseguir melhorar a eficiência nas rotas de transporte das mercadorias, conseguindo reduções de custos de até 17% na totalidade destes percursos.

Já Neagoe et al. (2021) foram capazes de criar um modelo que analisasse o desempenho de filas de camiões, tempos de espera e respetivas emissões, em terminais portuários. No que concerne aos resultados do estudo, e ao nível do seu desempenho operacional, ocorreu uma redução de até 65% no tempo de permanência dos camiões sem motivo útil, e ainda uma redução de até 80% nas emissões de carbono (Neagoe et al., 2021). Tal informação pode ser consultada na Figura 5 seguidamente representada.

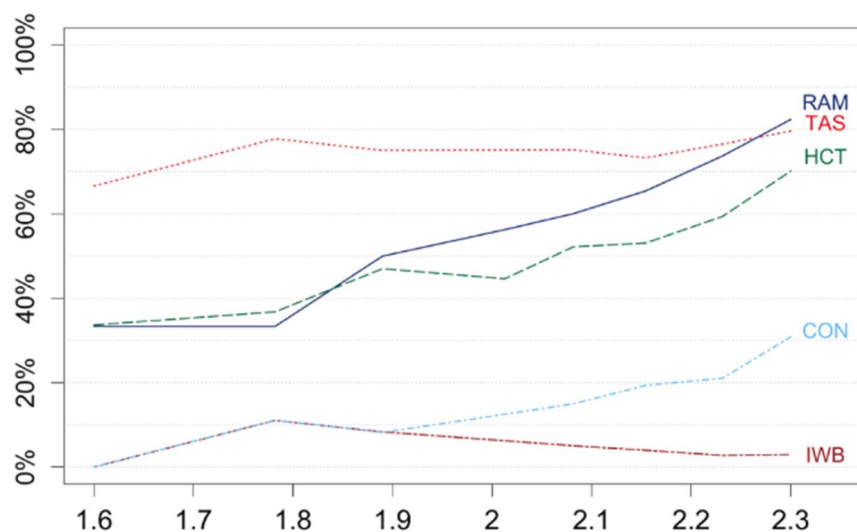


Figura 5- Análise do panorama de emissões: Redução de Emissões (eixo y) e rendimento do terminal (eixo x) em milhões de toneladas (Neagoe et al. (2021))

Na sua pesquisa, (Neagoe et al., 2021) reforçam uma vez mais as palavras de (Esmailian et al., 2016), onde destacam a simulação na sua capacidade de criar um *digital twin* (gémeo digital) da infraestrutura física, possibilitando uma representação visual do sistema real, possibilitando estudar e analisar o comportamento em condições controladas.

Para além disso, Crainic et al. (2018) referem que a utilização da simulação também possibilita a criação de cenários hipotéticos *what-if*, elencando perceções sem qualquer tipo de custos adicionais ou paragens de serviço, explorando soluções tangíveis para conflitos operacionais, permitindo testar alterações no sistema de forma segura e económica (Crainic et al., 2018).

De uma forma geral, através da simulação, é possível a criação e desenvolvimento de sistemas analíticos mais precisos (Salam & Khan, 2016), permitindo uma compreensão mais global dos problemas, e possibilitando um bom ponto de partida para tomada de decisões (Salam & Khan, 2016).

2.3. Casos de Estudo – Aplicações tecnológicas para a melhoria do funcionamento de Centros Desportivos

Na seguinte Tabela 1, encontram-se listados diversos casos de estudo que exploram a aplicação de tecnologias e variantes, que otimizam o funcionamento de centros desportivos. São analisadas soluções tecnológicas que abrangem desde a gestão de recursos e manutenção de infraestruturas, com o objetivo de melhorar a eficiência dos edifícios e orientar os resultados para a satisfação comum dos utilizadores.

Tabela 1- Casos de estudo - Tecnologias para melhoramento de Centros Desportivos

(Liebermann et al., 2002)	O estudo explora o uso de tecnologias de informação no desporto para fornecer feedback útil e aprimorar tanto a aquisição de habilidades motoras quanto o desempenho dos atletas. Enfatiza o uso de feedback visual, auditivo e proprioceptivo para otimizar o treino em diversas modalidades. A pesquisa, realizada por universidades internacionais (Calgary e Gales), utilizou ferramentas como APAS, Silicon Coach, simuladores e plataformas de força. Os resultados mostram melhorias significativas na precisão, consistência, estabilidade dos atletas e eficiência na correção de erros durante os treinos.
(Devitama et al., 2020)	O artigo em causa discute a implementação de um sistema <i>smart water grid</i> num centro de treino desportivo na Indonésia, de forma a permitir uma gestão eficiente e consciente de múltiplas fontes de água (chuva, rios e reservatórios), e melhorar a sua distribuição. Para tal, e baseado em estudos anteriores realizados noutros locais (Singapura e Japão) com o apoio da universidade de Kitakyushu (Japão), foram utilizados sensores específicos, redes sem fio, e sistemas de bombeamento e purificação de água. Com isto, verificou-se uma gestão mais eficiente das águas, um superior controlo de danos diretamente relacionados com reduzido controlo da temática, promovendo desta forma a sustentabilidade e mitigando possíveis enchentes.
(Othman et al., 2023)	O artigo destaca a integração da tecnologia nos centros desportivos, propondo um sistema de recomendação que utiliza técnicas de filtragem baseada em conteúdos para automatizar a reserva de campos desportivos. Realizado na Universidade Tecnológica Mara (Malásia), foram aplicadas técnicas TF-IDF e <i>Cosine Similarity</i> (análise de dados), para recomendar centros desportivos com base nas preferências prévias dos utilizadores. O resultado foi um aumento na precisão das sugestões e uma alta correspondência entre as preferências dos utilizadores e as opções disponíveis.

(Lu et al., 2021)	<p>O estudo no Complexo Desportivo Olímpico de Hubei (China) aplicou tecnologias de construção avançadas nas estruturas de aço, com destaque para o uso do BIM. Esta tecnologia integrou todas as fases do projeto, desde o planeamento até à manutenção, otimizando processos e melhorando a coordenação entre os departamentos civil, elétrico e mecânico. Através de simulações 3D e análises preditivas, foi possível identificar problemas antecipadamente, reduzindo custos e prazos. Os resultados mostraram uma melhoria significativa na coordenação entre disciplinas e na qualidade e segurança das estruturas.</p>
(Hutchins & Andrejevic, 2021)	<p>Realizado pela Universidade de Monash (Austrália), e no contexto preparatório dos jogos olímpicos de Tóquio 2020, o trabalho procurou examinar a implementação do sistema <i>NeoFace</i> da NEC, combinando reconhecimento facial com drones e sensores responsáveis pela monitorização de multidões e prevenção de comportamentos de risco. Para além disso, foram utilizados sensores de temperatura corporal e algoritmos de inteligência artificial para identificação de padrões de comportamento suspeitos. Os resultados obtidos indicaram uma maior eficiência no controlo de acesso e segurança.</p>
(Acosta-Pazmiño et al., 2020)	<p>O seguinte artigo, abordado num centro tecnológico no México (Monterrey), teve como principal objetivo avaliar o desempenho energético e económico de uma planta solar híbrida de baixa concentração voltaica/térmica (LCPV/T) num centro desportivo local. O objetivo passou por analisar a capacidade desta mesma tecnologia no que concerne ao fornecimento de eletricidade e calor na otimização de consumo energético de edifícios. Os resultados da planta, composta por 144 coletores, mostraram que o sistema foi capaz de cobrir 72% das necessidades de água quente durante o verão e 24% no inverno, otimizando as poupanças anuais das instalações.</p>
(Yang & Cole, 2022)	<p>O seguinte estudo, realizado no <i>Sun Devil Stadium</i>, localizado na Arizona State University (ASU) teve como objetivo demonstrar a relação das infraestruturas que utilizam <i>smart sensors</i>, plataformas de <i>cloud computing</i> e <i>machine learning</i> para recolher e analisar dados em tempo real, sobre o comportamento dos adeptos e o funcionamento do próprio estádio.</p> <p>Foram utilizadas câmaras de alta-definição e sensores espalhados pelas instalações. Este modelo permitiu otimizar a gestão de grandes multidões e melhorar a segurança, além de promover a eficiência operacional através da monitorização constante e da utilização de dados preditivos, contribuindo na redução de custos.</p>
(Elnour, Fadli, et al., 2022)	<p>O objetivo do estudo passou por analisar soluções para otimizar a gestão e automação de edifícios (BMS - <i>Building management system</i>) em instalações desportivas, com foco na eficiência energética. O trabalho foi realizado na Universidade do Qatar e na Universidade de Cardiff, no Reino Unido. Os resultados mostraram que o uso de simulações e algoritmos de otimização reduziu o consumo de energia em edifícios desportivos, especialmente em climas frios., para além disso, a integração de energias renováveis, como painéis solares, aumentou a sustentabilidade e reduziu as emissões de carbono.</p>

(Deng & Tang, 2020)	O objetivo deste estudo passou por analisar quais as oportunidades de desenvolvimento e transformação das estruturas associadas à indústria desportiva, considerando o aparecimento das novas tecnologias da informação. O trabalho foi realizado no Departamento de Desporto da Universidade de Ciência e Tecnologia Eletrónica da China, e foram aplicadas ferramentas como a análise de dados e plataformas de tecnologia da informação. Os resultados indicam que a integração da tecnologia no desporto representa um impacto direto na abertura de novos mercados (realidade virtual, mercado digital, entre outros), é responsável por inovar modelos de negócio e melhorar a competitividade da indústria, destacando novas tendências, como a digitalização e o aumento do “consumo” desportivo.
(Peng & Zhou, 2022)	O presente artigo, realizado por autores de duas universidades distintas de gestão e economia na China (<i>Three Gorges University & Northwestern Polytechnical University</i>), teve como principal objetivo estudar a distribuição e organização de meios e infraestruturas necessárias para a prática desportiva em espaços públicos, acessíveis às comunidades. Para tal, foram utilizados algoritmos de tomada de decisão multicritério <i>fuzzy</i> , e tecnologia de redes neuronais. Os resultados demonstraram que o algoritmo tinha uma precisão superior a 95% na previsão e tomada de decisão sobre a configuração de instalações desportivas, fornecendo informações de carácter valioso para órgãos responsáveis pela construção destas infraestruturas em contexto turístico.
(Muñoz et al., 2020)	O documento em questão procurou utilizar metodologias BIM (<i>building information modeling</i>), juntamente com outros softwares CAD, na modelação de um pavilhão desportivo universitário em Sevilha (Espanha). Esta abordagem permite que os elementos individuais do projeto sejam parametrizáveis e interajam entre si, criando um ambiente interligado que se atualiza de forma automática. O resultado possibilitou a modelação do pavilhão em menos tempo quando comparado com as ferramentas tradicionais existentes, além de facilitar a identificação de problemas antes da própria execução do projeto.
(Fantozzi & Lamberti, 2019)	Este artigo aborda o desafio de garantir o conforto em espaços fechados, com especial ênfase na qualidade do ambiente interno (<i>Indoor Environmental Quality – IEQ</i>) como fator fundamental no conforto em centros desportivos. O estudo, realizado pelo departamento de energia e sistemas da escola de engenharia da universidade de Pisa (Itália), procurou utilizar a abordar tecnologias de medição e monitorização ambiental em tempo real, modelagem computacional para cenários ideais de conforto térmico, e ainda sistemas de controlo inteligente (HVAC - <i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i>), ajustando-se às necessidades dos atletas. Os resultados possibilitam um melhor desempenho desportivo e contribuem para a saúde dos praticantes.

(K. Wang et al., 2019)	<p>O estudo foi realizado no Centro desportivo Universitário de Bari (Itália). Este procurou avaliar a viabilidade em substituir de forma parcial a utilização de gás natural no local, por energias renováveis, através da utilização de coletores solares híbridos (PV/T). Este artigo apresenta assim uma análise termo-económica das vantagens em relação ao sistema tradicional de aquecimento utilizado neste centro, obtendo resultados bastante favoráveis no que concerne ao consumo de gás natural e eletricidade gasta. Uma maior redução de emissões de CO₂ e uma economia de espaço são exemplo dos resultados alcançados com o investimento nesta tecnologia.</p>
(Tsai, 2024)	<p>O artigo procura comparar os efeitos económicos e sociais de investimentos por parte dos governos em centros desportivos inteligentes, quando comparados aos pavilhões tradicionais existentes. A pesquisa centrou-se em dois grandes pavilhões comunitários em Taiwan. Foram utilizados métodos de regressão geográficos para explorar a influência geográfica dos pavilhões sobre os preços do imobiliário, e o método <i>Difference-in-Differences</i> para analisar mudanças nos preços das habitações antes e depois da abertura dos centros desportivos. O centro inteligente elevou os preços das residências na sua proximidade, diretamente relacionado com a melhor infraestrutura, ao contrário do centro tradicional, indicando que o investimento em centros deste tipo como foco em sustentabilidade e eficiência energética podem trazer benefícios à comunidade, tanto em termo económicos, como qualidade de vida, justificando a sua adoção.</p>
(Elnour, Himeur, et al., 2022)	<p>O artigo procurou desenvolver um sistema de gestão baseado em redes neurais, no controlo preditivo em sistemas de aquecimento ventilação e ar condicionado, num complexo desportivo da Universidade do Qatar. Foram utilizados para tal, modelos preditivos com base em dados históricos do edifício, e algoritmos de otimização, para prever comportamentos típicos do sistema e ajustar eventuais desvios em tempo real.</p> <p>Foi possível reduzir o consumo de energia em 46%, mantendo as condições ideais de conforto térmico e qualidade do ar, representando um avanço na integração de inteligência artificial na gestão sustentável de instalações desportivas.</p>
(Suresh et al., 2019)	<p>O estudo, realizado na Manipal University (Índia), procurou otimizar a iluminação de um campo de squash, focando na eficiência energética. Através de simulações feitas em softwares específicos (DIALux evo), foi possível concluir que a substituição do atual sistema de luzes por lâmpadas LED, poderia reduzir o consumo de energia até 77%, mantendo na mesma a qualidade conforme os padrões requeridos pela Federação da modalidade, reforçando o papel da inovação tecnológica para a modernização e melhoria de gestão de centros desportivos.</p>
(Bouquet et al., 2022)	<p>O principal objetivo deste estudo, desenvolvido por pesquisadores de duas universidades italianas (Trento e Verona), passou por desenvolver um sistema de gestão <i>cloud-based</i> para 4 distintas instalações desportivas de inverno, para os jogos olímpicos de inverno de 2026. Para tal, através da utilização de tecnologias de <i>cloudcomputing</i> e sistemas de vídeo para análise de performance desportiva, é possível obter dados em tempo real, sendo possível aperfeiçoar o rendimento individual de cada atleta, bem como a experiência dos espetadores, potenciando ainda o crescimento económico da região.</p>

(Liu & Wang,
2022)

O presente estudo, realizado no politécnico de Henan (China), procurou desenvolver um sistema baseado em IoT (*Internet of things*), como fonte de controlo de instalações e controlo de espaços, para a prática de ginástica. Através da utilização de sensores de pressão e temperatura, bem como rede 5G e algoritmos de otimização, o trabalho efetuado foi capaz de atingir uma taxa de tolerância a falhas inferior a 1%, sendo capaz de controlar o ambiente em 90% do tempo. Para além disso, a otimização do *layout* para a prática desportiva melhorou as condições de treino dos intervenientes, aumentando a utilização do espaço até 85% da sua capacidade.

(Szulc et al.,
2023)

O principal objetivo deste estudo passou por avaliar a qualidade do ar em instalações desportivas, nomeadamente os principais poluentes químicos e parâmetros microclimáticos, com o intuito de melhorar as condições de saúde e segurança dentro dessas instalações. Realizado num centro desportivo da universidade técnica de Lodz (Polónia), foram utilizadas ferramentas de controlo destes parâmetros através da plataforma MiSeq com *cloud storage* par controlo de todos estes parâmetros, e ainda uma análise com o *software* Statistica 13.1, para a análise dos dados envolvidos. Os resultados demonstraram a presença de diversos poluentes, ressaltando a importância de controlar de forma constante a qualidade do ar, com considerações importantes nos sistemas de ventilação e filtragem para aplicação.

Através da análise da Tabela 1 é possível concluir a relevância e o papel considerável que a tecnologia apresenta, no que diz respeito à melhoria e otimização dos espaços de treino e centros desportivos em todo o mundo.

2.4. A importância da Evacuação para a segurança das pessoas

Algumas catástrofes naturais, tais como incêndios, terremotos, inundações e tempestades ocorrem a uma frequência cada vez maior em todo o mundo (Kako et al., 2020) (ver Figura 6).

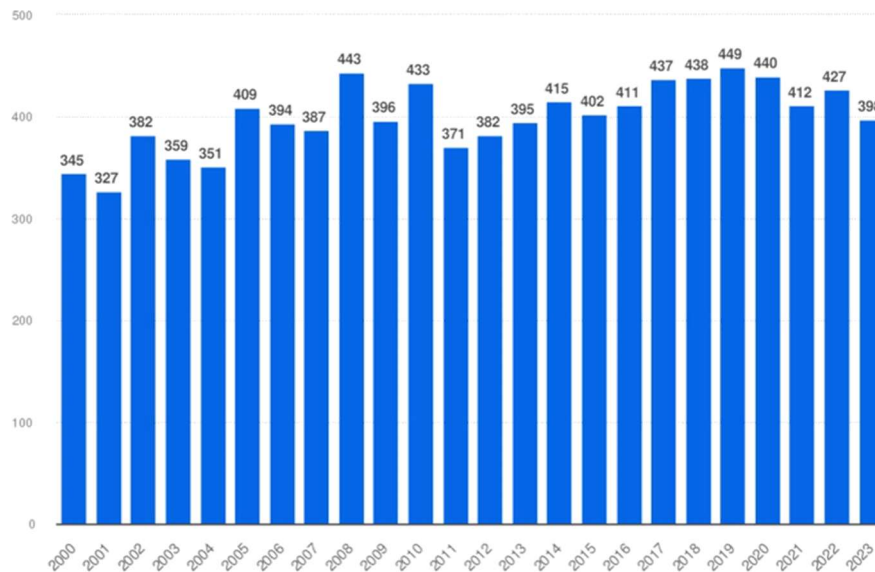


Figura 6- Quantidade de desastres naturais no mundo entre 2000 e 2023 (Statista Search Department, 2024)

Os desastres não acabam por afetar todas as pessoas de forma equivalente, existindo grupos distintos nas sociedades mais vulneráveis a certas situações, correndo riscos maiores quando comparados aos restantes elementos envolventes, sendo por isso necessário um correto e consciente plano contínuo de trabalho nesta vertente de evacuação, onde o objetivo comum é o bem-estar de todos os envolvidos (Kako et al., 2020).

De acordo com Y. Wang et al. (2021), a evacuação de emergência passa pelo processo de retirar pessoas de uma área de perigo iminente ou real à sua vida, para um local de segurança. Nos últimos tempos, esta estratégia de proteção evoluiu de forma significativa, tornando-se um elemento não só essencial como necessário da preparação social e infraestrutural (Y. Wang et al., 2021).

Em caso de emergência, a capacidade de conseguir retirar os envolvidos pode fazer a diferença no desfecho da situação, fundamentando o papel importante de uma evacuação eficaz em locais fechados (Chen et al., 2021).

Para Gai et al. (2018), as pessoas que se encontrem em locais onde exista um perigo associado devem ser retiradas o mais rapidamente possível, sendo este processo praticável através de um plano de evacuação que seja bem estruturado e capaz de orientar os envolventes para um local seguro (Şahin et al., 2019).

Para além disso, a maior parte das pessoas são seguidoras em casos de emergência (Ding et al., 2021), isto é, não reagem num primeiro momento ao acontecimento, mas tendem a aguardar pelo movimento dos outros intervenientes. Caso o “líder” seja capaz de orientar de forma correta a evacuação das pessoas, a eficiência geral do processo melhora de forma proporcional (Ding et al., 2021). Ora, seguindo o mesmo raciocínio, a evacuação das pessoas em situações que condicionam o risco de vida dos intervenientes requer uma maior atenção tendo em conta as consequências fatais das mesmas (Cordeiro & Marchetto, 2016).

É importante entender também que, segundo Mao et al. (2019), o estado emocional dos envolventes em emergências será afetado pelo seu conhecimento do meio envolvente e da própria situação, sendo mais difícil num ambiente que não lhes é conhecido manter a calma e prosseguir com as normas e procedimentos indicados (Mao et al., 2019).

Com o desenvolvimento da sociedade atual, existem cada vez mais edifícios complexos nas grandes cidades, onde normalmente os excessos de desvios e obstáculos estão envolvidos nas próprias rotas de evacuação, sendo difícil a evacuação correta dos intervenientes sem uma orientação adequada (Zhu et al., 2020).

Para Zhu et al. (2020), numa emergência, um bom sistema de sinalização acaba por reduzir o tempo de orientação das pessoas, e diminui a complexidade do edifício em questão, onde por outro lado, um formato inadequado pode vir casuar um maior constrangimento ou incorreta decisão na escolha do caminho a seguir, comprometendo a evacuação dos envolventes (Zhu et al., 2020).

Sendo que os seres humanos passam aproximadamente 90% do seu tempo em ambientes fechados, como hospitais, escolas e centros desportivos (Chen et al., 2021), ter consciência de como lidar com emergências e facilitar a evacuação dos envolventes torna-se numa questão fundamental para garantir a segurança de todos em surgimentos inesperados (Chen et al., 2021).

2.4.1. Simulação como ferramenta de suporte na evacuação

Para as ferramentas de simulação de evacuação, é essencial representar e antecipar esses acontecimentos da maneira mais realista possível (Xie et al., 2022).

Ao longo do tempo, para auxiliar neste processo de retirada das pessoas, a modelação de evacuações evoluiu de equações mais simples de engenharia onde as tendências comportamentais não eram reconhecidas, para modelos capazes de conseguir representar diversos fatores que influenciavam o comportamento e a tomada de decisão dos intervenientes (Y. Wang et al., 2021).

Tal como mencionado na publicação de (Xiao et al., 2022), a Tabela 2 procura representar os softwares de simulação mais recorrentemente utilizados para evacuações, bem como as suas principais áreas de aplicação.

Tabela 2- Softwares e as suas principais áreas de aplicação, (Xiao et al., 2022)

Software	Áreas de aplicação
Building EXODUS	Aeroportos, estações e edifícios com elevado número de pessoas
FDS + Evac	Fábricas, estádios e locais públicos
PathFinder	Grandes edifícios
Simulex	Edifícios grandes e geometricamente complexos com vários pisos e escadas
STEPS	Vários edifícios e veículos

Com o desenvolvimento de tecnologias computacionais, os métodos existentes para auxílio em necessidade de evacuações permitem estudar as abordagens praticadas atualmente e quantificar os resultados esperados, tais como tempo de evacuação e possíveis mortes (Haghani, 2020).

Se formos capazes de simular a evacuação de grandes multidões em estruturas complexas somos capazes de reduzir o caos instalado, otimizando as rotas de emergência para evacuações mais rápidas e eficazes, garantindo a segurança de todos os envolventes (Mao et al., 2019).

Na elaboração de um plano de evacuação que seja eficiente Chang et al. (2022) referem como necessário a avaliação prévia do seu desempenho através de uma modelação num software adequado para tal, sendo ainda posteriormente necessário otimizar e ajustar as suas rotas para garantir uma maior segurança dos envolventes (Chang et al., 2022).

Ora, para Chang et al. (2022), a modelação e a simulação são ferramentas que ao serem combinadas possibilitam uma avaliação mais completa e abrangente do comportamento de sistemas reais e complexos ao longo do tempo (Chang et al., 2022).

Os resultados da simulação são capazes de revelar o dinamismo do processo de evacuação do local em análise e podem ser utilizados para auxiliar na identificação de pontos de estrangulamento (*Bottleneck*) nas estruturas, colaborando para a melhoria da segurança dos edifícios (Chen et al., 2021).

Neste sentido, estes dados podem ser utilizados para conseguir identificar possíveis zonas críticas em edifícios e estruturas, que comprometam a correta e segura evacuação dos envolventes, auxiliando na melhoria dos projetos de segurança dos edifícios, bem como na segurança das pessoas (Chen et al., 2021).

2.5. Legislação em Portugal para a evacuação de edifícios

De acordo com o artigo 4º da Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro, as vias de acesso aos edifícios devem ser capazes de possibilitar o estacionamento de veículos de socorro a uma distância não superior a 30m, de uma das saídas que integram os caminhos de evacuação do edifício (Portaria n.º 1532/2008, 2008).

Analisando o artigo 75º, da Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro, inerente ao regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho, alterado pelo/a Artigo 2.º do/a Lei n.º 3/2014 - Diário da República n.º 19/2014, o estabelecimento, independentemente do serviço de segurança, deve garantir uma estrutura interna que seja capaz de assegurar as atividades de evacuação de trabalhadores e combate a incêndios, como “resgate de trabalhadores em situação de sinistro” (Lei n.º 102/2009, 2009).

Segundo o artigo 112º, da portaria n.º 135/2020, de 2 de junho, que procede à alteração do regulamento técnico de segurança contra incêndios em edifícios, a sinalização referente às indicações de evacuação e localização, nas respetivas vias de evacuação deve permanecer numa disposição perpendicular ou com uma inclinação de 45 graus face ao respetivo sentido das fugas existentes nesse percurso (Portaria n.º 135/2020, 2020).

Para além disso, no mesmo documento, o artigo 52º refere ainda o dimensionamento das vias de evacuação e de saídas, onde estas devem ter em consideração uma “densidade de fluxo constante de pessoas em qualquer secção das vias de evacuação no seu movimento em direção às saídas, tendo em conta as distâncias a percorrer e as velocidades das pessoas de acordo com a sua condição física, de modo a conseguir tempos de evacuação convenientes.” (Portaria n.º 135/2020, 2020).

2.5.1. Evacuação em recintos desportivos

De acordo com a Lei n.º 39/2009, de 30 de julho, no artigo 7º, torna-se necessário a existência de “um plano de emergência interno, que inclua o plano de evacuação do recinto, prevendo e definindo, designadamente, a atuação dos assistentes de recinto desportivo, agentes de proteção civil e voluntários, se os houver, nos termos do regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro” (Lei n.º 39/2009, 2009).

Ora, de acordo com o artigo 1º da Portaria n.º 1522-B/2002, de 20 de dezembro, os assistentes de recintos desportivos são formados com o intuito de procurar garantir a segurança dos espetadores nesses mesmos recintos (Portaria n.º 1522-B/2002, 2002). Para além disso, de acordo com o artigo 3 da mesma publicação, estes desempenham diversas funções, onde se destaca a orientação dos espetadores e envolventes, em emergências que necessitem de evacuação do recinto (Portaria n.º 1522-B/2002, 2002).

Segundo a Lei n.º 40/2023, de 10 de agosto, responsável por reforçar os mecanismos de combate à violência no desporto, alterando a lei prévia n.º 39/2009, de 30 de julho, o artigo 3º afirma que os recintos desportivos “devem dispor de regulamentos de funcionamento das

instalações desportivas que incluam instruções de segurança e planos de evacuação, nos termos do regime jurídico das instalações desportivas de uso público, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 141/2009, de 16 de junho.” (Lei n.º 40/2023, 2023).

Na mesma publicação, o artigo 13º inerente à segurança do espetáculo desportivo, reforça a decisão de evacuação, total ou parcial, ser orientada pelo comandante da força de segurança que esteja presente no local (Lei n.º 40/2023, 2023).

3. Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

Ao longo deste capítulo é analisado o centro desportivo escolhido como objeto de estudo, procurando implementar uma metodologia de análise profunda de avaliação da resposta a emergências. O foco será em cenários de grande afluência, considerando as condições normais de funcionamento do espaço.

3.1. Centro de Alto Rendimento de Anadia

O Centro de Alto Rendimento (CAR) de Anadia encontra-se localizado em Sangalhos, e apresenta-se como uma das infraestruturas desportivas com maior destaque no país, caracterizando-se como um pilar fundamental no desenvolvimento do desporto de alto rendimento nacional.

O pavilhão, inaugurado em 2009, tem como principal objetivo apoiar a formação, desenvolvimento e preparação de atletas profissionais ligados à alta competição, especializando-se na investigação e evolução dos processos e métodos ligados ao alto rendimento (Fundação do Desporto, 2018).

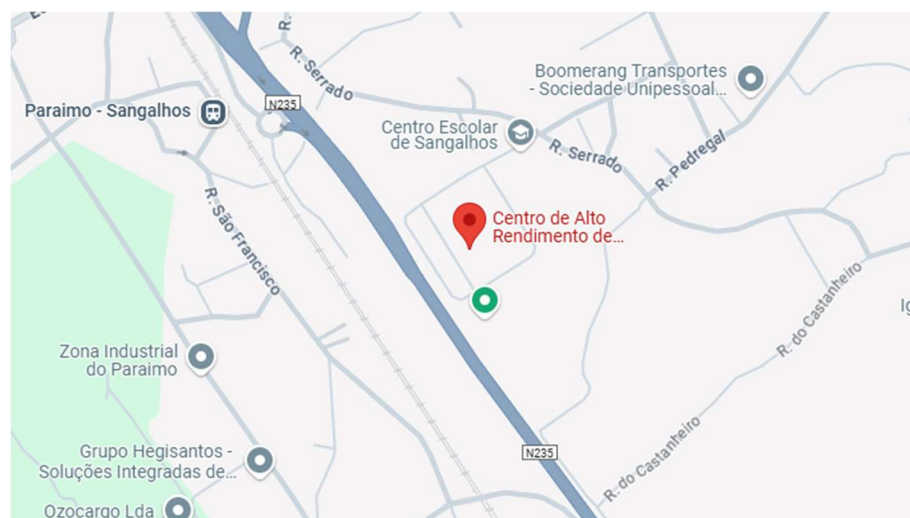


Figura 7- Localização do Centro de Alto Rendimento (Google Maps, 2025)

O centro de treinos encontra-se integrado numa rede nacional de Centros de Alto Rendimento, incorporando um conjunto de infraestruturas desportivas ao serviço das modalidades de ciclismo, esgrima, judo e ginástica (Fundação do Desporto, 2018).



Figura 8- Centro de Alto Rendimento de Anadia (Fundação do Desporto, 2018)

3.2. Distribuição Funcional

O pavilhão possui uma área desportiva com área polivalente de $2600 m^2$, e uma pista de ciclismo *indoor* com 250 metros de perímetro. O edifício apresenta 30 metros de altura, aproximadamente 118 metros de comprimento e 82 metros de largura. De forma a apoiar as estruturas desportivas incorporadas, estão incluídas diversas instalações, destacando-se: 16 quartos triplos incorporados, uma oficina de bicicletas e ainda 6 vestiários com banheiros (Highsportugal, 2019).

No que concerne à assistência em eventos desportivos, o centro é capaz de acolher uma elevada quantidade de adeptos, sendo possível em provas de ciclismo estarem presentes dentro da nave desportiva perto de 1000 pessoas. Já no piso inferior, onde são desenvolvidas as modalidades de judo, ginástica e esgrima nas suas diversas vertentes, existe lugar para cerca de 800 pessoas, aproximadamente, assistirem às competições (Fundação do Desporto, 2018).

O centro desportivo é constituído por 3 pisos claramente distintos:

O piso -1 é constituído, maioritariamente, pelo recinto desportivo polivalente, pela bancada telescópica, acessos dos atletas e principais gabinetes, ginásios e salas de apoio direto à prática das modalidades desportivas.

O piso 0, por sua vez, inclui a receção do centro de alto rendimento, as principais salas de carácter administrativo e de refeições, as entradas para acesso às bancadas para provas de ciclismo e competições no polidesportivo, entre outros espaços de apoio.

O piso 1, por fim, é constituído principalmente pelos 16 quartos triplos disponíveis para os atletas, e as bancadas fixas para ocupação do público em provas de ciclismo de pista.

3.2.1. Piso -1

A planta do piso -1 pode ser analisada na Figura 9.

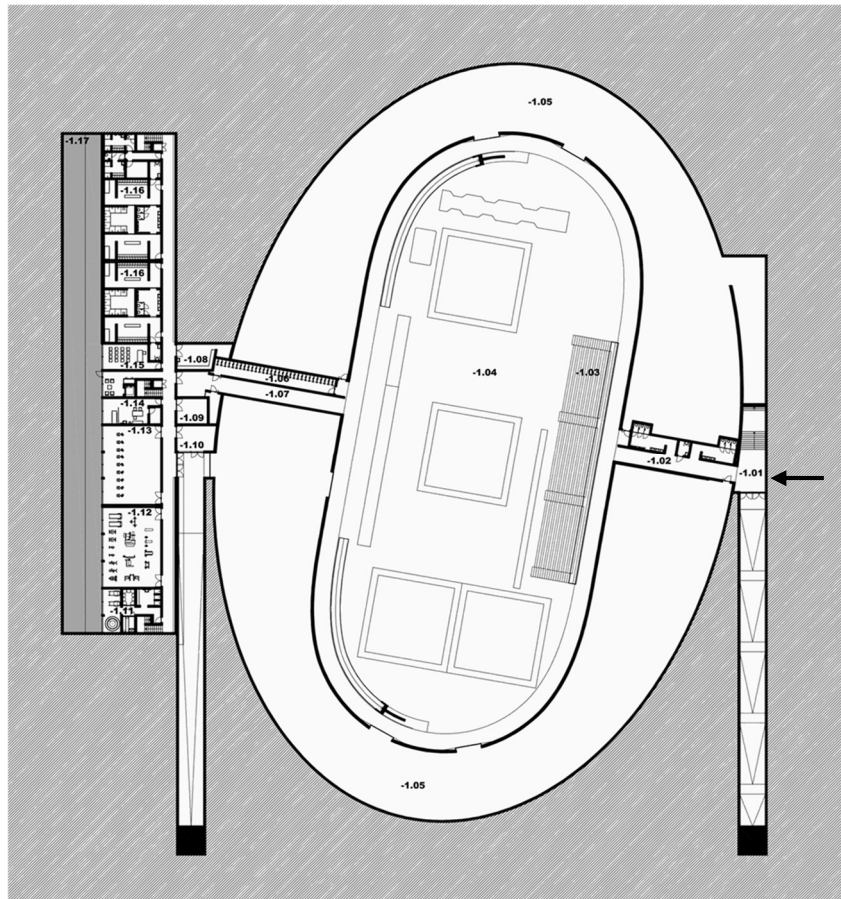


Figura 9- Planta do Piso -1 (Retirado de R. Rosmaninho, Velódromo Nacional – Centro de Alto Rendimento de Anadia, 2022)

Este piso caracteriza-se como uma área funcionalmente diversificada, concebida para conseguir dar resposta às exigências operacionais de um complexo desportivo moderno. A sua organização reflete isso mesmo, distinguindo de forma clara as zonas de acesso ao público, os espaços de utilização exclusiva dos atletas e áreas de apoio à própria infraestrutura.

Neste piso encontra-se uma das entradas principais do público (representado com uma seta na Figura 9), que leva diretamente à bancada telescópica ou fixa do recinto desportivo (consultar Figuras 10 e 11). Associado a esta zona, encontra-se também as instalações sanitárias dos utilizadores externos.

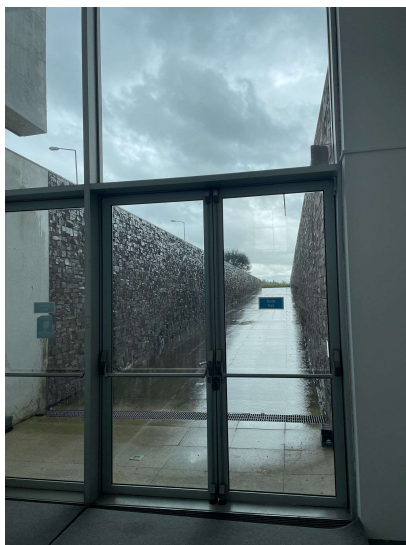


Figura 10- Entrada do público para acesso às bancadas telescópica e fixa (Piso -1)



Figura 11- Escadas para acesso à bancada fixa

Na face oposta deste piso, já em espaço reservado, encontram-se distribuídos diversos espaços de apoio à prática desportiva, nomeadamente ginásios de musculação e gabinete médico.

Para além disso, encontram-se os balneários e áreas técnicas (lavandaria, oficina), essenciais para o funcionamento eficiente do edifício.

Por fim, no que concerne à logística e armazenamento, existe ainda um espaço destinado ao armazenamento de bicicletas e equipamento desportivo variado, evidenciando uma organização funcional que procura assegurar a articulação dos diferentes utilizadores e serviços que os suportam.

3.2.2. Piso 0

A Figura 12 representa os espaços associados ao piso 0 do Centro desportivo.

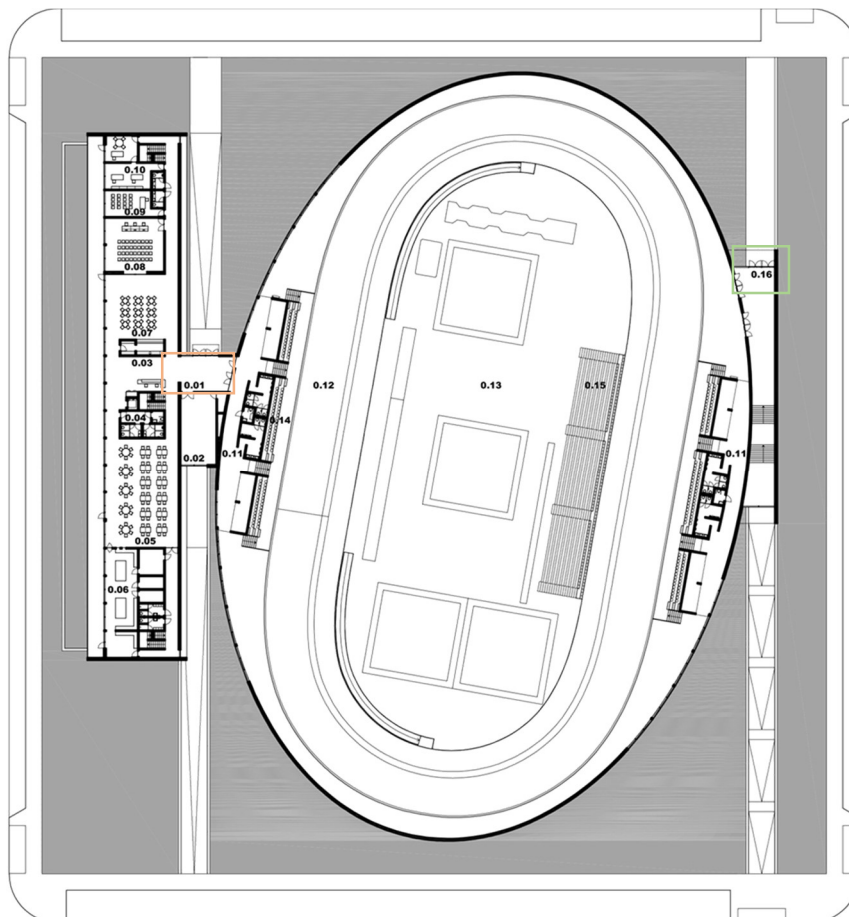


Figura 12- Planta do Piso 0 (Retirado de R. Rosmaninho, Velódromo Nacional – Centro de Alto Rendimento de Anadia, 2022)

A entrada principal localiza-se no átrio de receção (0.01 na Figura 12: Retângulo laranja), o qual estabelece a ligação entre os espaços exteriores e o interior do recinto.

A partir deste ponto, os utilizadores conseguem aceder ao recinto desportivo polivalente (piso -1), através de escadas ou elevador. Distribuídos ao longo da envolvente do edifício, encontram-se diversos espaços de apoio operacional e administrativo. Destacam-se os gabinetes administrativos e técnicos, a receção e a sala de reuniões, os quais asseguram o funcionamento e a gestão do equipamento desportivo.

Complementam-se com instalações sanitárias (Figura 13) e de apoio ao público, tanto nos acessos às bancadas fixas, como nos corredores da entrada.

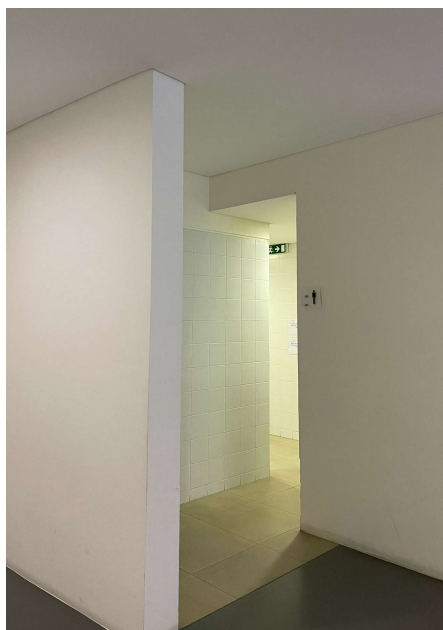


Figura 13- Exemplo de uma casa de banho (Piso 0)

A zona de apoio ao recinto inclui ainda uma zona de restauração. A integração do edifício com o exterior é reforçada através percursos pedonais que rodeiam o recinto. No piso 0 encontra-se outra entrada para o público (0.16 na Figura 12: Retângulo verde), que leva diretamente à bancada fixa do recinto desportivo.



Figura 14- Acessos à bancada fixa (Piso 0)

3.2.3. Piso 1

O último piso pode ser consultado na Figura 15.

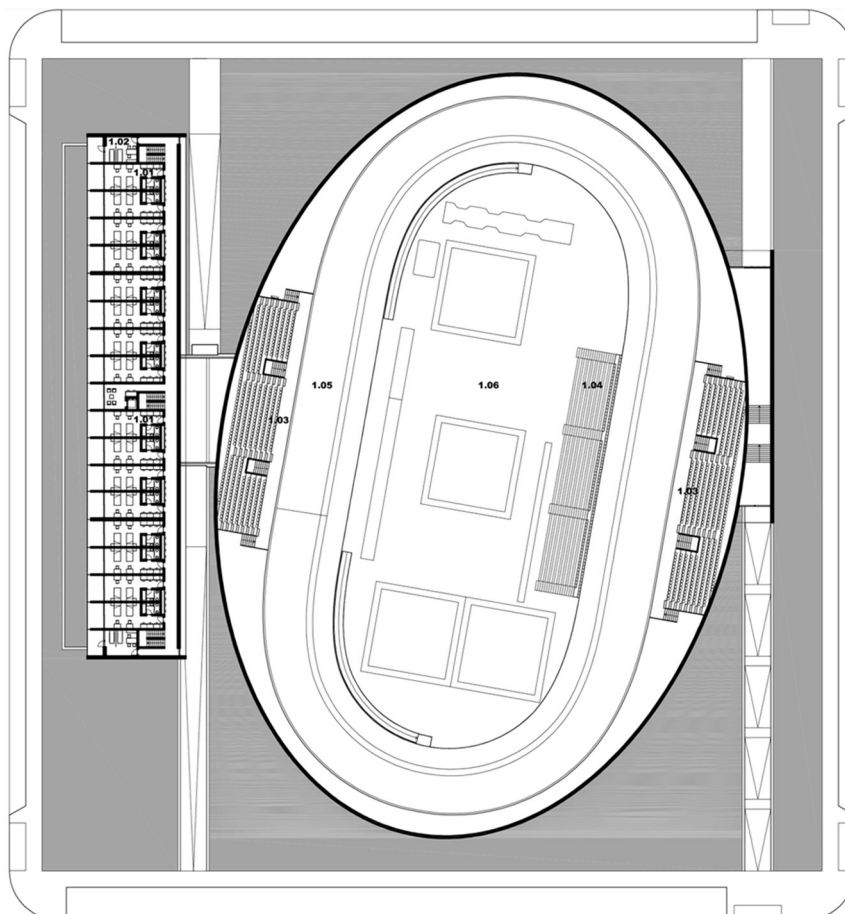


Figura 15- Planta do Piso 1 (Retirado de R. Rosmaninho, Velódromo Nacional – Centro de Alto Rendimento de Anadia, 2022)

O Piso 1 articula áreas de apoio residencial e administrativa com os espaços destinados à prática da atividade desportiva. A sua configuração promove a participação comum entre atletas, staff e público.

É neste piso que se encontram localizados os 16 quartos triplos. Estes espaços garantem condições adequadas para estadias temporárias dos atletas e das federações que utilizem este centro desportivo para a prática desportiva intensa (Figura 16).



Figura 16- Corredor de acesso aos quartos (Piso 1)

A ligação entre estes quartos e os restantes pisos do lado poente do centro desportivo fazem-se através de 3 grupos de escadas separadas de igual forma entre si e através de um elevador que conecta os 3 pisos do pavilhão (ver Figura 17).



Figura 17- Acessos (escadas e elevador) - lado poente

Ao centro do edifício, a componente desportiva adquire especial relevância, com destaque para a pista de ciclismo de 250 metros, que envolve o recinto desportivo polivalente.

Este último mantém-se como espaço central em todos os pisos, evidenciando a sua importância como núcleo funcional do edifício.

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

A presença de bancadas fixas em ambas as extremidades do pavilhão, constitui o principal destaque deste piso (Figuras 18 e 19), permitindo uma adaptação versátil da lotação conforme as necessidades em provas de ciclismo.

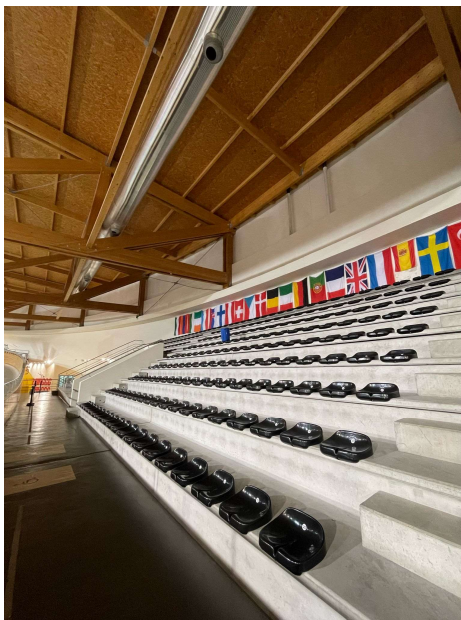


Figura 18- Bancadas fixas (nascente)

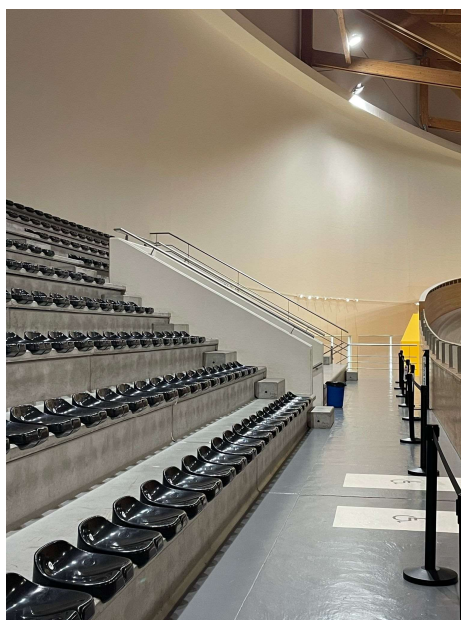


Figura 19- Bancadas fixas (lado poente)

3.3. Análise da simulação

3.3.1. Representação virtual do edifício

As simulações de evacuação foram realizadas com recurso a uma representação digital do pavilhão em estudo, desenvolvida através do *software PathFinder*.

Para tal, e para ser possível analisar detalhadamente o comportamento dos utilizadores em situações diversas de emergência, tornou-se necessário analisar detalhadamente as plantas facultadas pelo Município de Anadia (Figura 20).

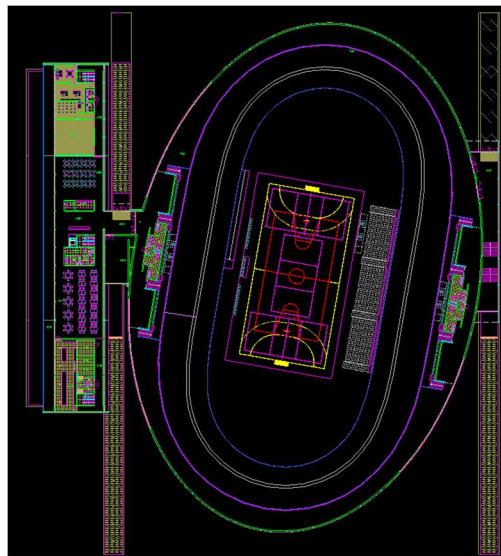


Figura 20- Exemplo da Planta do piso 1 (formato "DWG")

Na Figura 21 torna-se possível observar uma das etapas mais importantes da modelação do centro desportivo - importação das plantas fornecidas, num dos formatos suportados pelo *software* ("DWG"), através do caminho "File" – "Import".

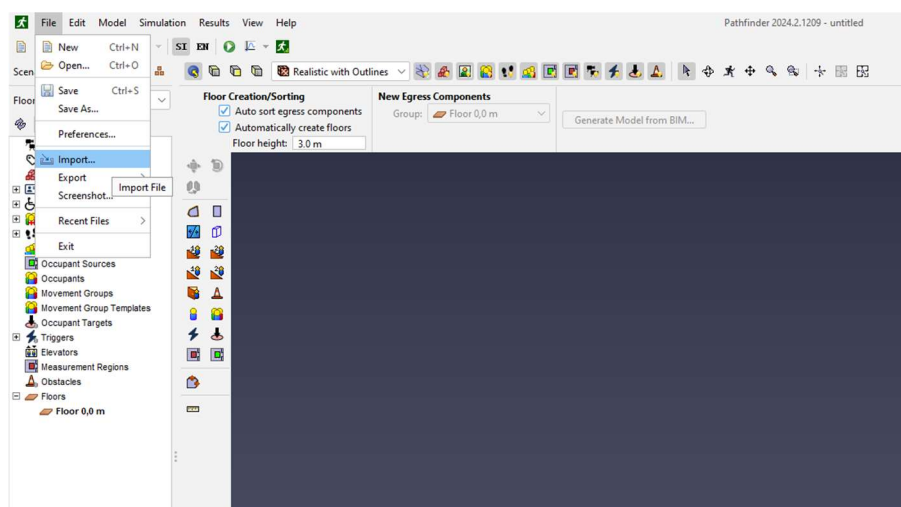


Figura 21- Funcionalidade de importar ficheiros para o *PathFinder*

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

A partir das plantas importadas para o *software*, tornou-se necessário alinhar os 3 pisos pelo posicionamento do elevador e das escadas, garantindo que o seu percurso fosse efetuado na vertical sem qualquer tipo de desvios ou interferências geométricas que condicionassem as simulações. Esta fase de preparação do modelo digital pode ser consultada na Figura 22.

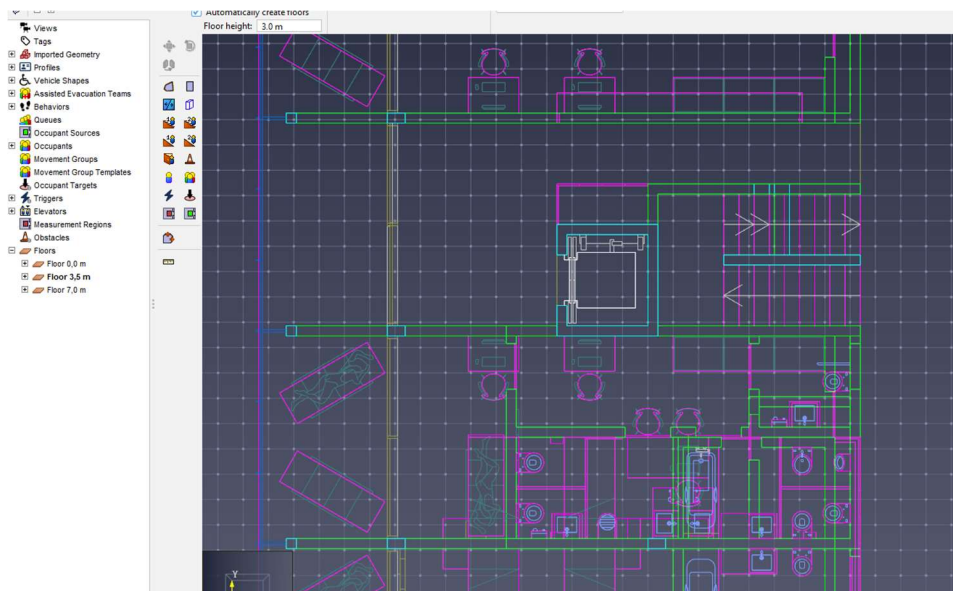


Figura 22- 3 Pisos alinhados pelo elevador e escadas (*Top View*)

Posto isto, e tendo as alturas dos 3 pisos definidas no programa (fornecidas junto com as plantas), tornou-se necessário através da funcionalidade “Extract Room From Imported Geometry” iniciar o reconhecimento e delineamento de todos os espaços fechados em cada um dos 3 pisos, permitindo completar e detalhar a representação virtual do centro de treinos. Na Figura 23 encontra-se um exemplo dessa funcionalidade numa das divisões.

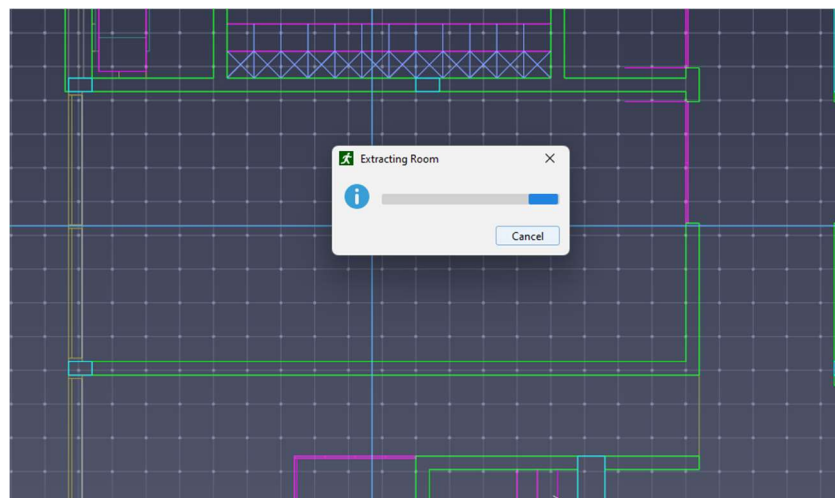


Figura 23- Aplicação da função "Extract Room From Imported Geometry" num espaço do centro

De forma a elaborar as bancadas telescópicas e fixas existentes do centro desportivo, utilizou-se novamente a funcionalidade, com o objetivo de respeitar integralmente as medidas reais e adaptar o modelo o mais fielmente possível à realidade existente, garantindo a coerência e a funcionalidade da representação (ver Figuras 24 e 25).

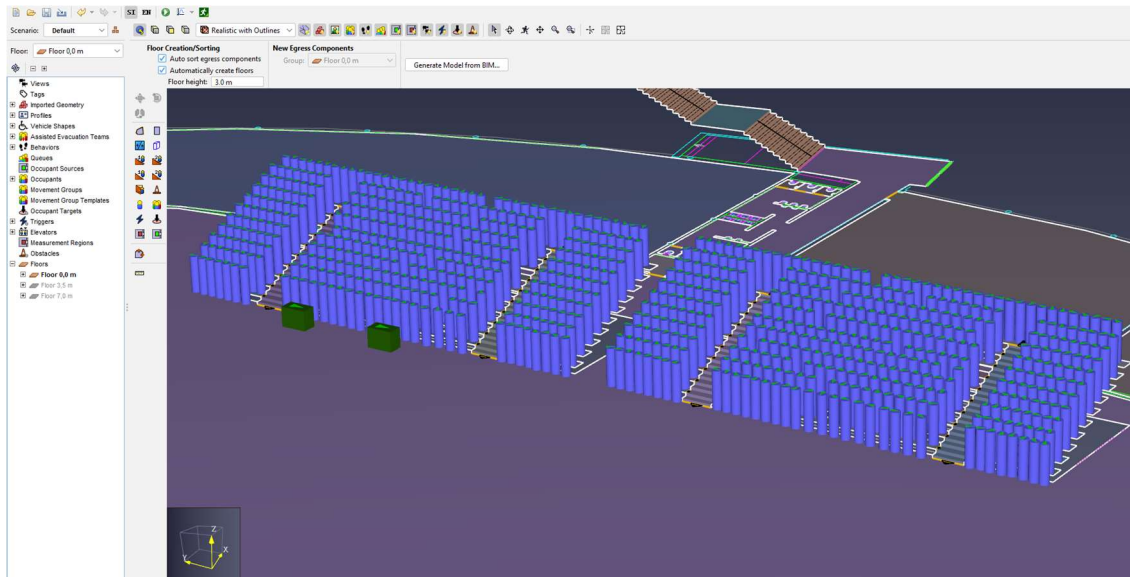


Figura 24- Representação da bancada telescópica no *PathFinder*

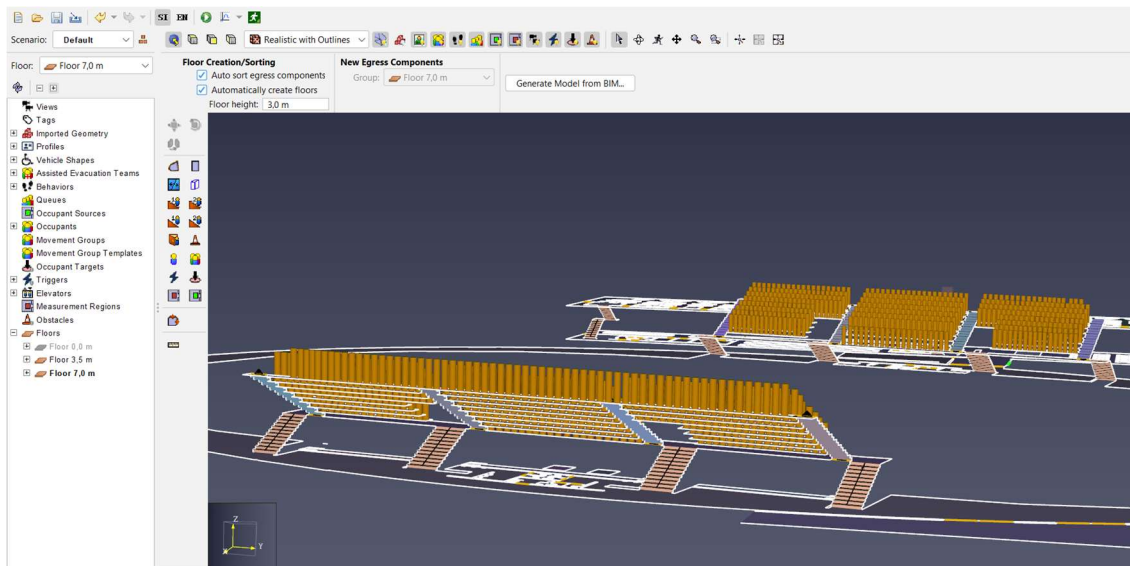


Figura 25- Representação das bancadas fixas no *PathFinder*

A representação dos ocupantes no Piso 1 pode ser consultada na Figura 26, onde se pode visualizar os 48 ocupantes em condições normais de utilização dos quartos do velódromo, e na sua posição inicial de evacuação.

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

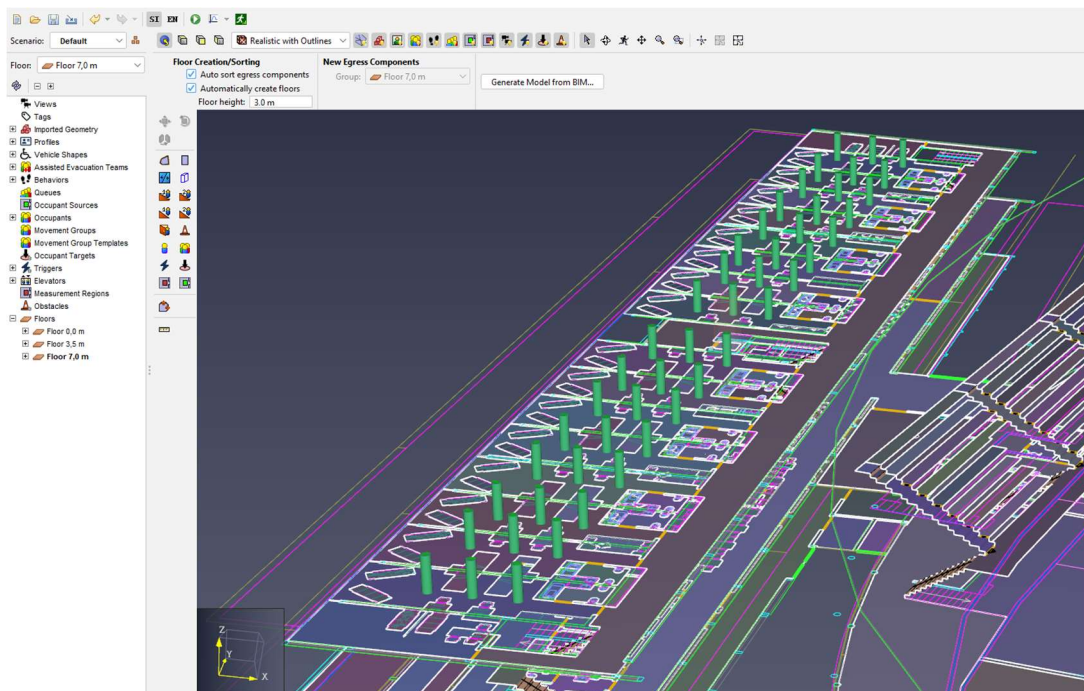


Figura 26- Representação dos ocupantes dos quartos triplos (Piso 1)

Por último, de forma a completar corretamente os diferentes pisos e permitir a passagem dos ocupantes entre as diversas divisões, procedeu-se à inclusão de portas, as quais poderão ser interpretadas como zonas de acesso comum, ou saídas de emergência de acesso ao exterior, consoante a sua localização.

A Figura 27 representa um exemplo de uma porta de ligação entre divisões e uma porta de acesso ao exterior do pavilhão (saída de emergência).

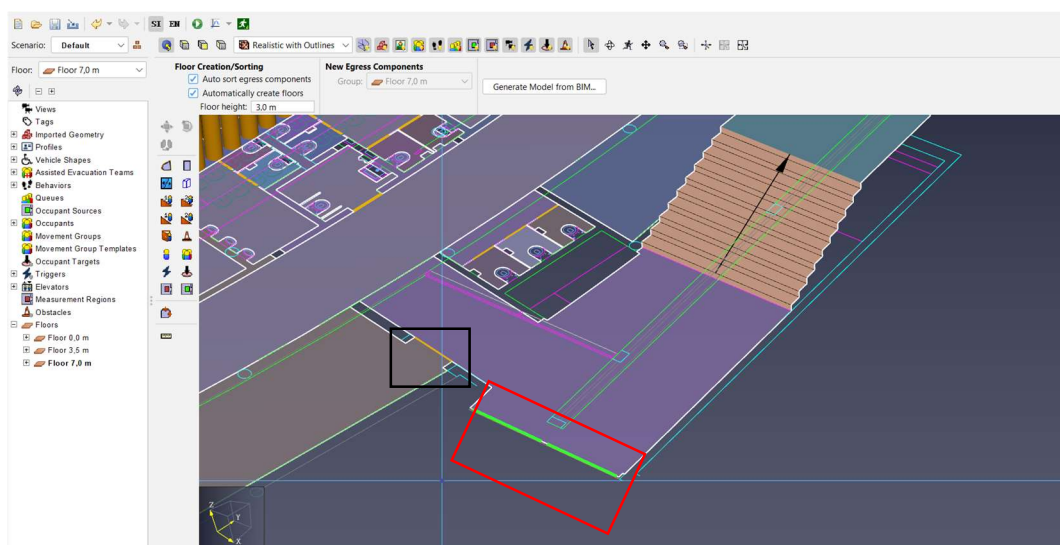


Figura 27- Representação dos 2 tipos de portas existentes - (Preto - Acesso comum; Vermelho - Saída de emergência)

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

Para além disso, foram igualmente adicionados elementos de circulação vertical, nomeadamente escadas e um elevador do lado poente, de forma a assegurar a ligação entre os diferentes pisos e desníveis existentes no pavilhão, adaptando-se às especificações de cada zona. As Figuras 28 e 29 apresentam, respetivamente, um exemplo da modelação de uma escada no *software*, através da funcionalidade “Create stairs between two edges”, e a representação do elevador.

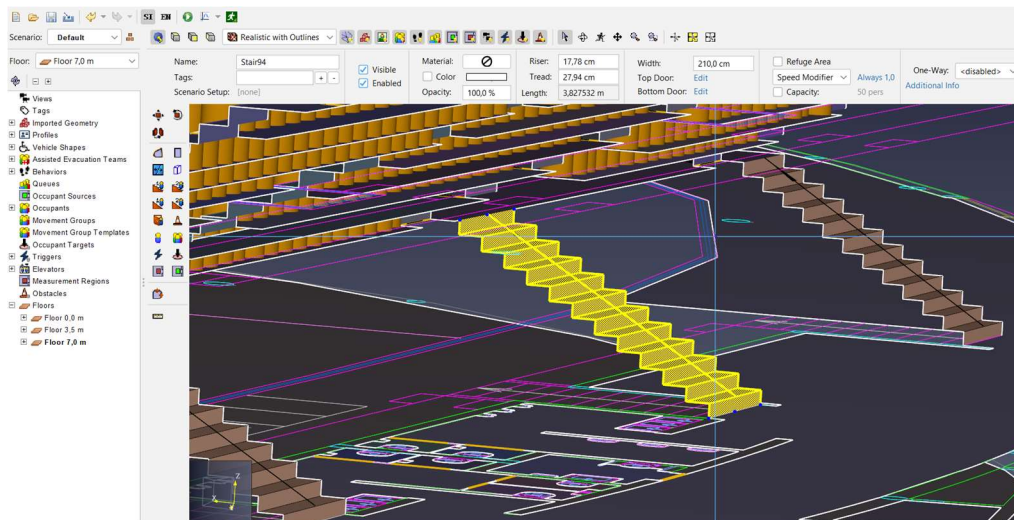


Figura 28- Representação de uma escada no *PathFinder*

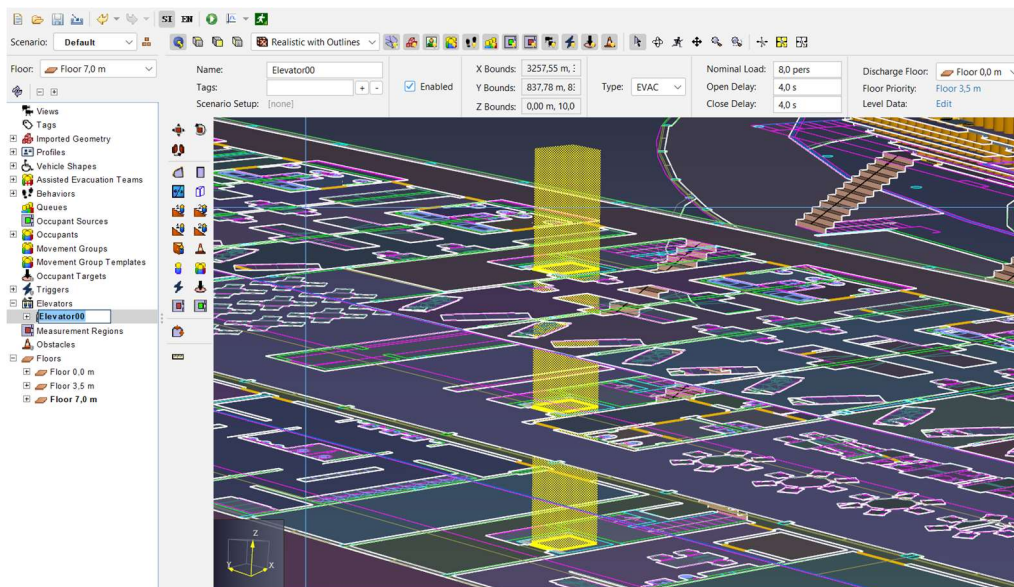


Figura 29- Representação do elevador no *PathFinder*

Numa última fase, com o intuito de aproximar ao máximo a realidade das evacuações dos ocupantes dentro do centro desportivo, procedeu-se à criação dos *profiles* e *behaviors* dos

diferentes grupos de público/atletas em condições de teste. A Figura 30 demonstra os três diferentes tipos de ocupantes utilizados para estudo nas evacuações das provas de ciclismo.



Figura 30- Tipo de ocupantes criados

Foi criado um perfil para o público geral, com o nome “Público”, e outro para o público com mobilidade condicionada, “Público_C”, onde a velocidade de deslocação, formato do utilizador e capacidade de adaptação de geometria corporal para a passagem em locais mais estreitos, são as funções afetadas, tendo sido ainda acionada a função “Requires Assistance to Move”, de forma a permitir que a velocidade deste grupo de ocupantes seja aproximada à do público geral por necessidade de assistência. A Figura 31 demonstra esse mesmo perfil.

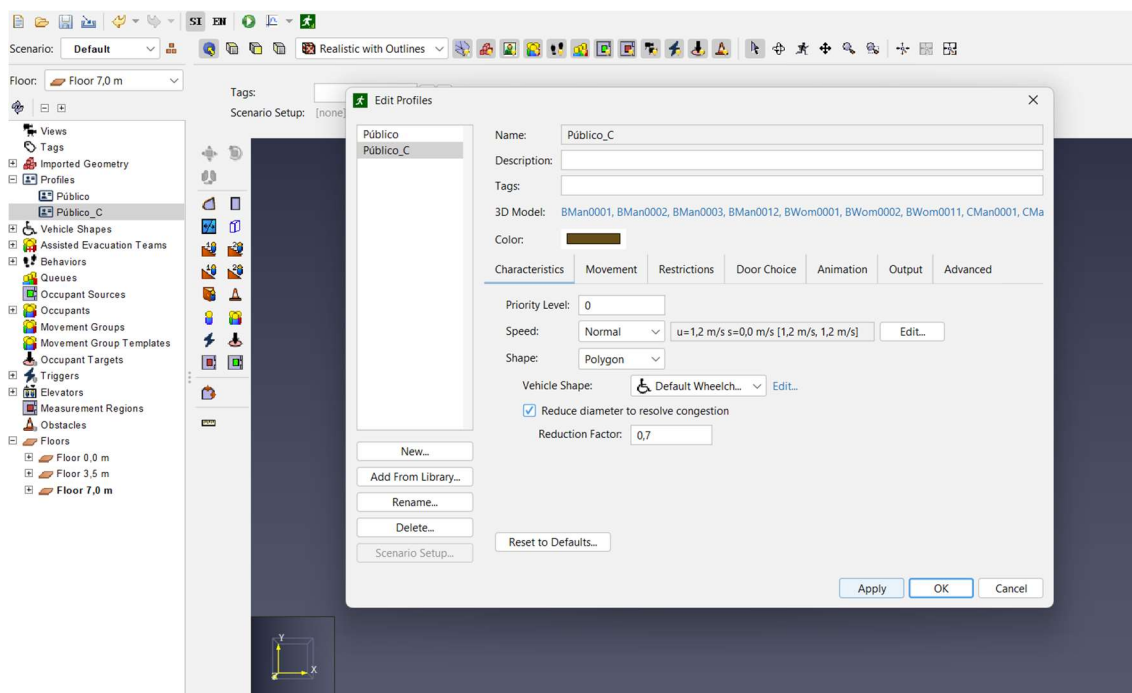


Figura 31- Perfil (*profile*) para o público com mobilidade condicionada

Para ser possível aproximar esta mesma velocidade, foram criados dois tipos de comportamentos. O primeiro, “CadeiraDeRodas”, é associado aos ocupantes nestas condições (formato de polígono), que necessitam de auxílio para se deslocarem, seguindo o procedimento

de ficar a aguardar ajuda do respetivo grupo de assistência - elementos do público em geral (segundo comportamento), atribuídos com o comportamento “Assist_C”, com permissão no socorro destes utilizadores e consequente deslocação para a saída de emergência mais adequada. A Figura 32 procura evidenciar os diferentes comportamentos criados.

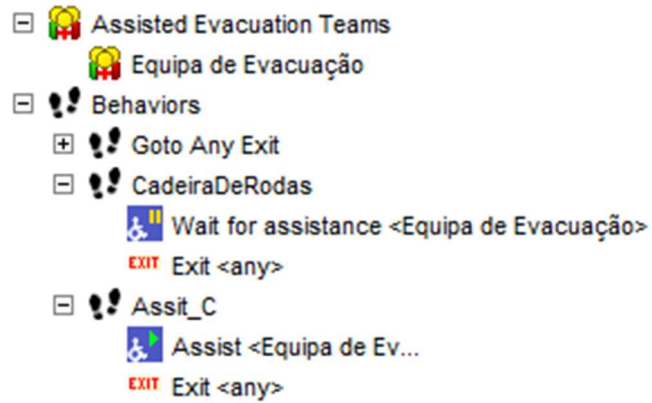


Figura 32- Diferentes comportamentos (*behaviors*) criados

3.4. Validação do Modelo de Simulação

Com o objetivo de avaliar a fiabilidade do modelo de evacuação desenvolvido no *PathFinder*, foram efetuadas medições experimentais em contexto real no Centro de Alto Rendimento de Anadia. Estas medições permitiram registar o tempo necessário para que um indivíduo, partindo de diferentes zonas do recinto (como zonas técnicas, bancadas, corredores e balneários), alcançasse a saída mais próxima em condições normais. No total, foram recolhidos 20 registos correspondentes a diferentes trajetos percorridos no interior do pavilhão.

No que diz respeito à velocidade adotada no software dos ocupantes do pavilhão, para Guo et al. (2020), ao ser mantida uma velocidade aproximada de 1,4m/s em espaços fechados, em emergências (caso de incêndio), existe um fluxo mais suave e controlado de pessoas, indicando uma situação de baixa densidade e sem obstruções (Guo et al., 2020).

Para além disso, os autores Zhou et al. (2019), referem que a velocidade normal de caminhada para pedestres varia entre 1,0m/s e 1,4m/s, dependendo das condições do ambiente e da densidade da multidão (Zhou et al., 2019).

Num outro estudo, Kardi Teknomo et al. (2002) observaram que as distribuições das velocidades dos ocupantes analisados, em cenários de gestão de multidões, assemelhavam-se a uma distribuição normal, apresentando uma velocidade média de 1,38 m/s com um desvio padrão de 0,37 m/s (Kardi Teknomo et al., 2002).

Tendo em consideração estas informações, a utilização de variabilidade natural em modelos de simulação destaca-se como um fator crucial na aproximação máxima à realidade, sendo relevante no contexto desta dissertação.

Assim, foi adotada uma distribuição normal para representar as velocidades de evacuação, com média de 1,4 m/s e desvio padrão de 0,2 m/s, considerando apenas o intervalo compreendido entre 1,2 m/s e 1,6 m/s. Esta delimitação tem como objetivo refletir com maior rigor o perfil dos utilizadores do Centro de Alto Rendimento (CAR) de Anadia, a abordagem procura refletir de forma equilibrada a variabilidade do perfil dos utilizadores envolvidos nas simulações, que incluem tanto atletas como público geral, contribuindo assim para uma simulação controlada.

Foi considerada uma velocidade média de deslocação de 0,9 m/s para utilizadores em cadeira de rodas, com um desvio padrão de 0,15 m/s, e limitada a valores entre 0,6 m/s e 1,2 m/s. Esta parametrização permite representar de forma mais realista o comportamento deste grupo em situações de evacuação, tendo em conta limitações físicas e possíveis constrangimentos.

Posto isto, a Tabela 3 procura analisar a divergência entre os tempos obtidos pelas simulações e os tempos medidos *in loco*, através do cálculo da diferença percentual, permitindo assim validar o grau de aproximação do modelo digital à realidade.

Tabela 3- Comparação dos tempos de evacuação (Real vs. Simulado)

Ponto Inicial	Tempo Medido	Tempo Simulado	Erro percentual (%)
Entrada do polidesportivo	31,13	33,2	6,65
Sala de conferências	22,33	21,2	5,06
Zona do refeitório	18,85	17,1	9,28
1º quarto (zona sul)	22,60	19,6	13,27
2º quarto (zona norte)	29,49	28,0	5,05
Último quarto (zona norte)	42,51	43,0	1,15
WC masculino (balneário)	20,82	21,2	1,83
WC feminino (balneário)	34,53	34,62	0,26
WC masculino (bancada fixa)	17,44	17,56	0,69
WC feminino (bancada fixa)	12,01	14,2	18,23
Bancada fixa (lado nascente - 1ª fila)	45,33	42,8	5,58
Bancada fixa (lado nascente - 7ª fila)	26,34	25,3	3,95
Bancada fixa (lado nascente - última fila)	40,1	42,8	6,73
Bancada fixa (lado poente - 7ª fila)	26,1	25,0	4,21
Bancada fixa (lado poente - 3ª fila)	24,71	22,9	7,32
Bancada fixa (lado poente - 5ª fila)	20,18	19,55	3,12
Bancada telescópica (zona sul - 1ª fila - 2º setor)	37,47	36,5	2,59
Bancada telescópica (zona sul - última fila)	30,25	33,2	9,75
Bancada telescópica (zona norte - 5ª fila - 3º setor)	39,5	41,3	4,56
Bancada telescópica (zona norte - 7ª fila - 2º setor)	32,1	36,6	14,02

A análise da Tabela 3 permite concluir que a média dos erros percentuais obtidos ronda os 6,17%, valor considerado bastante aceitável em simulações, quando considerando variações nos indivíduos e imprecisões de medição. Os valores demonstram, de forma geral, uma boa correspondência entre os tempos medidos em contexto real e os tempos simulados pelo modelo computacional.

A maioria dos erros percentuais situa-se abaixo dos 10%, o que reforça a fiabilidade do modelo. Segundo Lovreglio et al. (2014) é fundamental considerar a variabilidade do comportamento humano neste tipo de simulações, sendo natural a existência de pequenas discrepâncias entre os dados reais e simulados, uma vez que alguns fatores, tais como hesitações ou falta de conhecimento do espaço podem influenciar significativamente os tempos de evacuação (Lovreglio et al., 2014).

Assim, estes resultados validam a aproximação do modelo aos padrões reais de evacuação do centro desportivo em causa.

3.5. Análise crítica dos planos de evacuação

Para realizar uma análise associada às estratégias de evacuação do Centro de Alto Rendimento (CAR) de Anadia, tornou-se necessário definir um conjunto de variáveis que permitissem observar o comportamento dos ocupantes em diferentes contextos de utilização do espaço, aproximando ao máximo da realidade, averiguando o tempo total de evacuação e distribuição de ocupantes por cada saída.

Ora, estes cenários baseiam-se na alteração de duas variáveis específicas, sendo a primeira delas o número de saídas disponíveis para acesso ao exterior do pavilhão (saídas de emergência). Em cada simulação foram testadas diferentes combinações de acessos, com o intuito de analisar o seu impacto no processo de evacuação. Estes cenários incluem situações onde determinadas portas poderiam estar bloqueadas ou inacessíveis por diversos motivos (falhas técnicas ou obstruções físicas), e permitem analisar a preferência das saídas por partes dos ocupantes, que tendem a procurar a mais próxima e adequada.

A segunda variável considerada na análise das simulações foi o parâmetro *Current Door Preference* (CDP), que procura representar a probabilidade dos ocupantes em manter, ou não, a escolha da saída inicialmente definida, tendo em consideração mudanças no meio envolvente, tais como obstruções, congestionamentos acentuados e distância a percorrer.

Ora, no *PathFinder* um valor de 0% permite os ocupantes uma liberdade total no que toca à reavaliação da escolha da porta de saída em qualquer momento da simulação, enquanto um valor de 100% os impede de alterar a sua escolha inicial, independentemente do que possa surgir durante a evacuação.

Esta variável torna-se relevante na medida em que permite aproximar ao simulado, o comportamento humano em condições de evacuação, permitindo equilibrar o realismo entre a tomada de decisões rápidas que reavaliem a escolha do caminho a percorrer. O valor padrão de 35% no software serve para considerar situações onde o ocupante mantém-se constante à sua decisão de saída inicial, mas também é capaz de reavaliar essa mesma decisão durante a evacuação, refletindo o comportamento mais comumente observado em situações reais.

Posto isto, e sabendo que em grandes multidões, segundo Kinatader & Warren (2021), a adesão à escolha inicial da saída de emergência aumenta significativamente quando a proporção de pessoas dirigindo-se à mesma saída é elevada, foram testados cenários com o mesmo número de saídas disponíveis, mas variando a variável CDP entre 35% e 70%,

procurando verificar se o mesmo acontecia tendo em conta a geometria e acessos do centro desportivo em estudo.

Para além disso, em situações de ocupação dos quartos existentes no piso superior do velódromo, foi considerado ainda o cenário de utilização do elevador como opção de via de evacuação, de forma a representar um cenário inclusivo e ajustado em contextos onde as escadas não representam a única alternativa viável.

Resta mencionar a atribuição de um tempo de pré evacuação de 60 segundos para os cenários desenvolvidos, justificado por ser uma componente natural presente em situações de evacuação de edifícios, e caracterizar-se como uma opção realista, representando para C. Novellino et al. (2016), uma variável tão determinante quanto o próprio tempo de deslocamento dos ocupantes, sendo essencial para refletir o comportamento realista do público envolvente (Novellino et al., 2016). O comportamento humano e a duração do período de pré-evacuação constituem elementos cruciais no processo de evacuação dos indivíduos. Este intervalo temporal divide-se em três fases distintas: a fase de pré-alarme, durante a qual ainda não há sinalização clara de perigo, a fase de aquisição e análise de informação relevante e, por fim, a fase de tomada de decisão e resposta. O momento em que se decide iniciar a evacuação configura a transição determinante entre a etapa de pré-evacuação e a efetiva evacuação propriamente dita (Bourhim et al., 2020).

No entanto, apesar de ter sido estabelecido um tempo de pré-evacuação, este poderá, em utilizações futuras, não ser considerado de forma isolada na análise dos tempos totais de evacuação. Isto deve-se ao facto de o período de pré-evacuação ser frequentemente semelhante em diversas situações, assumindo assim um carácter transversal e pouco discriminante para efeitos de comparação entre cenários distintos.

Desta forma, ao integrar estas variáveis, torna-se possível analisar o comportamento dos ocupantes em 14 cenários distintos e, paralelamente, avaliar de que forma o mesmo influencia a eficácia das evacuações.

3.5.1. Cenário 1: Todas as saídas disponíveis – CDP 35% (Bancada telescópica)

Neste primeiro cenário, foram disponibilizadas todas as saídas disponíveis nos 3 pisos distintos para utilização dos ocupantes da bancada telescópica. Mantendo uma distribuição normal de velocidade de média 1,4 m/s como mencionado anteriormente, e a variável *Current Door Preference* no valor *default* de 35%.

O número de ocupantes diz respeito ao total de público possível de representar na bancada telescópica em provas de ginástica, esgrima ou judo, incluindo 2 lugares para pessoal com mobilidade reduzida, totalizando 784 pessoas.

Na Figura 33 torna-se possível visualizar esta bancada quando lotada.



Figura 33- Distribuição do público (bancada telescópica)

Após corrida a simulação no *software*, os resultados do tempo total de evacuação podem ser consultados na Tabela 4 imediatamente apresentada:

Tabela 4- Dados relativos ao Cenário 1

Cenário 1	
Número de ocupantes	784
<i>Current Door Preference</i> (%)	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	285,53

Pela Tabela 4 acima representada, podemos concluir que perante as condições deste primeiro cenário, verifica-se a necessidade de 285,53 segundos (4'45" – 4 minutos e 45 segundos) para evacuação.

Durante a simulação verifica-se grande afluência dos ocupantes para atravessarem o polidesportivo e utilizarem a saída do lado poente do piso -1, procurando outras opções de evacuação que reduzam o tempo de espera para chegar a uma saída de emergência.

A Figura 34 procura representar a evolução do número de ocupantes presentes no pavilhão ao longo do processo de evacuação.

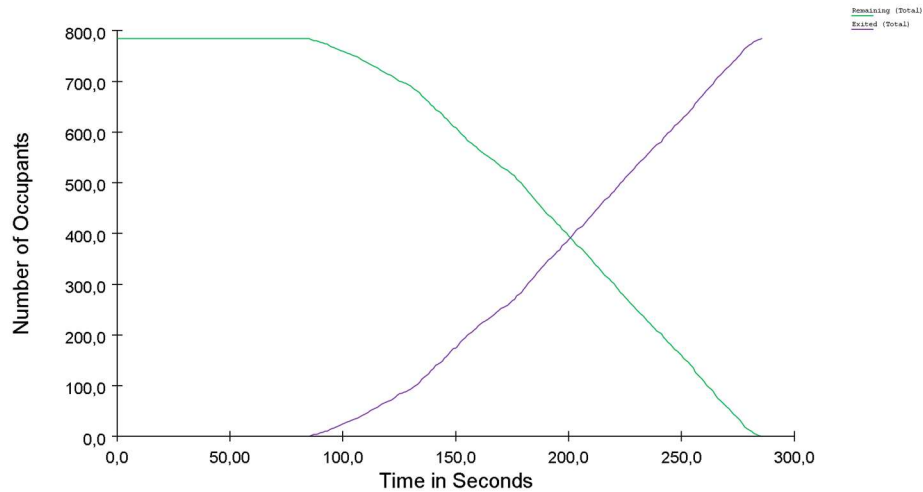


Figura 34- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo – Cenário 1

A linha verde representa o número de adeptos que ainda não evacuaram (*Remaining*), enquanto a linha roxa representa os que já abandonaram o edifício (*Evacuated*).

Através da análise do gráfico acima representado, podemos concluir que só ao fim de 200 segundos de evacuação é que 50% dos ocupantes tinham evacuado (392 pessoas).

Entre os 150 e os 200 segundos, nota-se uma acentuada inclinação em ambas as curvas, sugerindo que esta fase corresponde ao período de maior passagem nas saídas disponíveis.

De uma forma geral, o processo ocorre de forma contínua e controlada, sem interrupções significativas.

3.5.2. Cenário 2: Todas as saídas disponíveis – CDP 70% (Bancada telescópica)

Neste cenário, mantiveram-se igualmente o acesso a todas as saídas disponíveis nos três pisos do recinto para os ocupantes da bancada telescópica.

No entanto, neste caso, a variável *Current Door Preference* foi ajustada para um valor de 70%, procurando representar uma maior tendência dos ocupantes em manter a escolha inicial de saídas, perante alterações nas condições de acesso ao longo do percurso.

A Tabela 5 resume os dados da simulação efetuada nessas condições.

Tabela 5- Dados relativos ao Cenário 2

Cenário 2	
Número de ocupantes	784
<i>Current Door Preference</i> (%)	70
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	295,8

Pela Tabela 5 acima representada, podemos concluir que perante as condições deste segundo cenário, verifica-se a necessidade de 295,8 segundos (4'55'') para evacuação total.

Salienta-se a diferença de aproximadamente 10 segundos na evacuação do pavilhão, causado pela alteração da variável CDP, que representa um impacto ligeiro na simulação.

Uma vez definida a porta de saída pelos utilizadores da bancada telescópica, estes dificilmente alteram a sua escolha, sendo o aumento do tempo derivado pela preferência de saída dentro da própria bancada (qual escada utilizar), mantendo uma escolha praticamente fixa desde o início da simulação.

A Figura 35 procura representar a evolução do número de adeptos ao longo deste cenário.

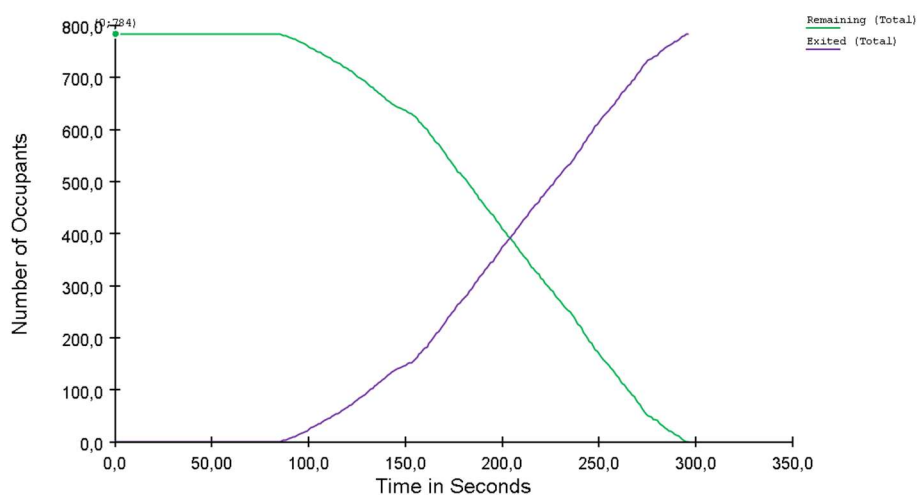


Figura 35- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 2

Apesar da alteração da variável *Current Door Preference*, a evacuação de 50% dos adeptos ocorre uma vez mais aos 200 segundos de simulação, sendo necessários apenas mais 95,8 segundos para o total escoamento dos ocupantes, concluindo que existe uma maior fluidez dos adeptos quando já metade abandonaram as instalações desportivas.

3.5.3. Cenário 3: Saídas do lado nascente disponíveis – CDP 35% (Bancada telescópica)

Neste novo cenário, procurou-se simular a obstrução das saídas de emergência localizada no piso -1, do lado poente, impedindo o seu acesso pelos ocupantes, tendo apenas sido disponibilizadas as seguintes saídas (ver Figura 36).

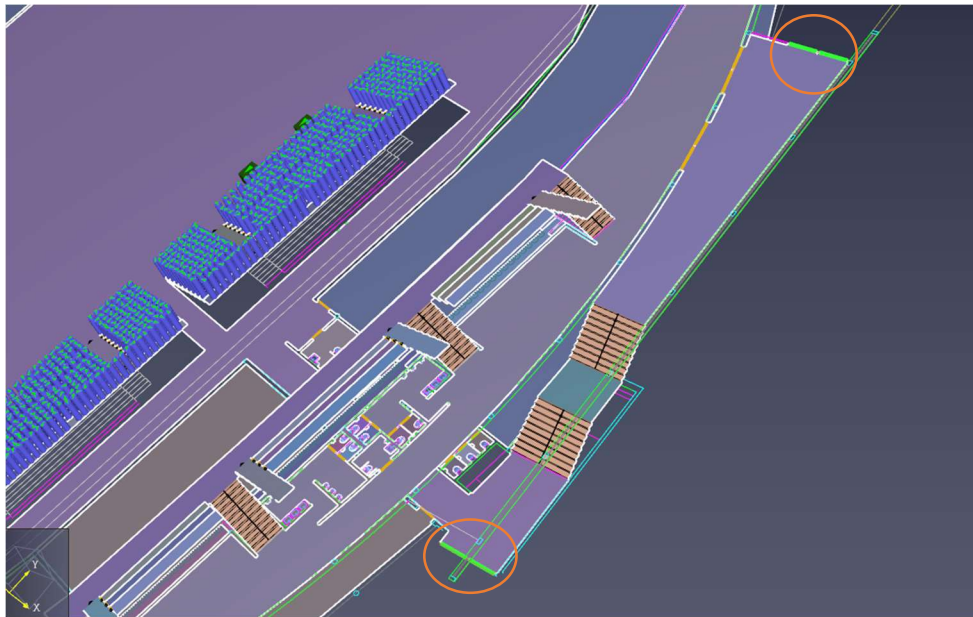


Figura 36- Representação das saídas disponíveis do cenário 3 (Rodeadas a laranja)

Todas as restantes saídas, distribuídas pelos três pisos, permaneceram inacessíveis, procurando simular um cenário de impedimento de atravessar o polidesportivo até ao lado oposto, existindo apenas a opção de sair pelo lado nascente.

A velocidade de deslocação dos indivíduos foi mantida conforme os cenários anteriores, com uma distribuição normal centrada numa média de 1,4 m/s. A variável *Current Door Preference* foi novamente fixada em 35%.

Ora, esta obstrução faz com que supostamente os ocupantes sintam a necessidade de se dividir entre estas saídas, obrigando à necessidade de terem de utilizar o lanço de escadas que conecta ao piso 0, garantindo a evacuação por este mesmo piso.

Posto isto, os resultados referentes à simulação podem ser consultados na Tabela 6.

Tabela 6- Dados relativos ao Cenário 3

Cenário 3	
Número de ocupantes	784
<i>Current Door Preference</i> (%)	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	404,78

Pela Tabela 6 acima representada, podemos concluir que perante as condições deste terceiro cenário, verifica-se a necessidade de 404,78 segundos (6'44'') para evacuação total.

Ora quando comparamos este cenário com o primeiro elaborado, onde todas as saídas se encontravam disponíveis, podemos concluir que o encerramento das saídas do lado poente do pavilhão provoca um aumento de quase 2 minutos ao tempo de evacuação necessário para a bancada telescópica. Estes dados podem ser confirmados pela Tabela 7.

Tabela 7- Comparação de Cenários (1 e 3)

Cenário 1 (todas as saídas disponíveis)	CDP	Cenário 3 (Apenas saídas do lado nascente disponíveis)
35		35
285,53	Tempo Total de Evacuação	404,78
Diferença		
119,25 segundos		

A Figura 37 procura representar a evolução do número de adeptos ao longo do tempo deste cenário.

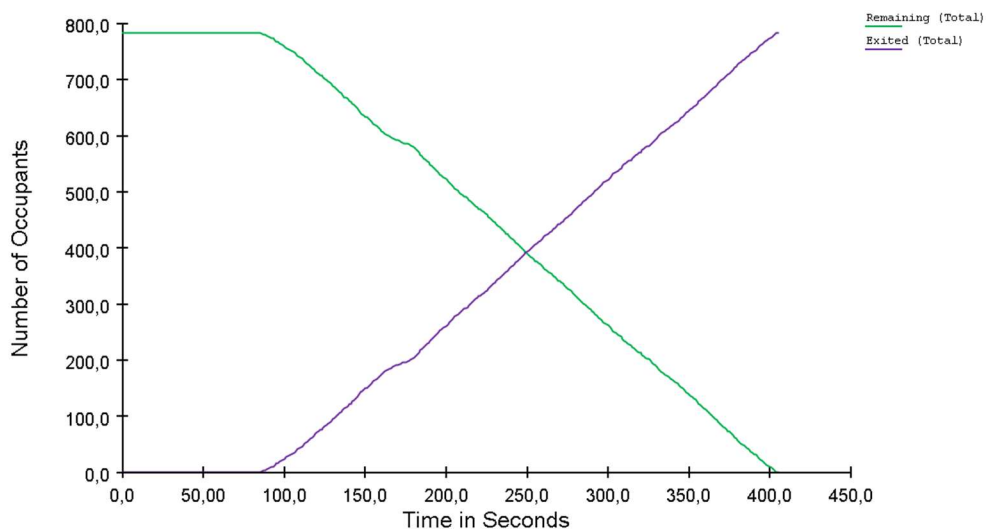


Figura 37- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 3

Através da análise deste gráfico, podemos concluir que foi aproximadamente aos 250 segundos de evacuação (contabilizando com o tempo de pré evacuação), que metade dos adeptos tinham evacuado o edifício (valor superior aos Cenários 1 e 2).

Para além disso, na evacuação, apesar de estarem disponíveis 2 opções de acesso ao exterior, os ocupantes apenas necessitaram de utilizar a saída localizada no piso -1, tal como comprovado pela Figura 38 abaixo representada.

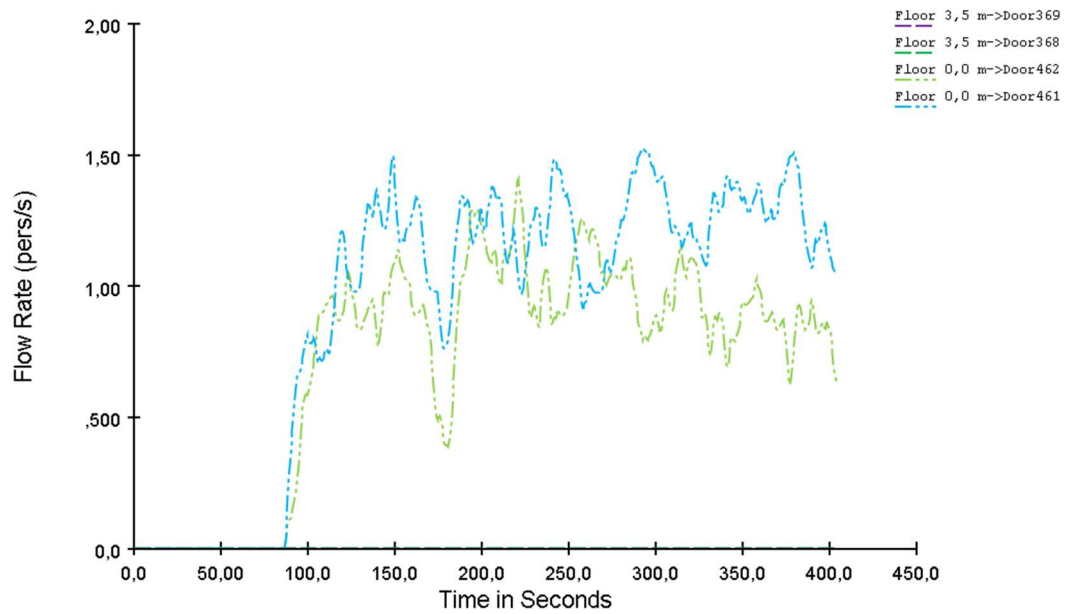


Figura 38- Taxa de utilização das saídas disponíveis no cenário 3

A taxa de utilização da “Door369” e “Door368” está alinhada com o zero de origem (portas do cima do lanço das escadas na Figura 36), indicando que nenhum ocupante durante o tempo total da evacuação utilizou essas mesmas saídas. Foi possível garantir um escoamento constante apenas utilizando as saídas do piso -1, nomeadamente “Door461” e “Door462”, tal como indicado na Figura 38.

3.5.4. Cenário 4: Todas as saídas disponíveis – CDP 35% (Bancada fixa)

Neste cenário, foi considerada a total disponibilidade de todas as saídas de evacuação do recinto desportivo distribuídas ao longo dos 3 pisos, aquando da evacuação dos ocupantes da bancada fixa em situações de provas de ciclismo, totalizando 961 pessoas e mantendo uma velocidade conforme os parâmetros definidos nos cenários anteriores.

As Figuras 39 e 40, representam, respetivamente, a distribuição dos ocupantes nos próximos cenários.



Figura 39- Distribuição do público (Bancada Fixa – lado poente)



Figura 40- Distribuição do público (Bancada Fixa - lado nascente)

A variável *Current Door Preference* foi fixada em 35% (valor *default*). Este cenário procura simular a evacuação desta bancada em situações normais de acessibilidade, associado a um comportamento adaptativo dos indivíduos que a ocupa. Os dados da Tabela 8 procuram resumir a simulação efetuada.

Tabela 8- Dados relativos ao Cenário 4

Cenário 4	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference (%)</i>	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	290,5

Pela Tabela 8 acima representada, podemos concluir que perante as condições deste cenário, verifica-se a necessidade de 290,5 segundos (4'50'') para evacuação total da bancada fixa.

Numa abordagem mais detalhada, a evacuação da bancada fixa do lado poente do pavilhão terminou mais cedo do que a do lado nascente, tal como demonstrado na Figura 41

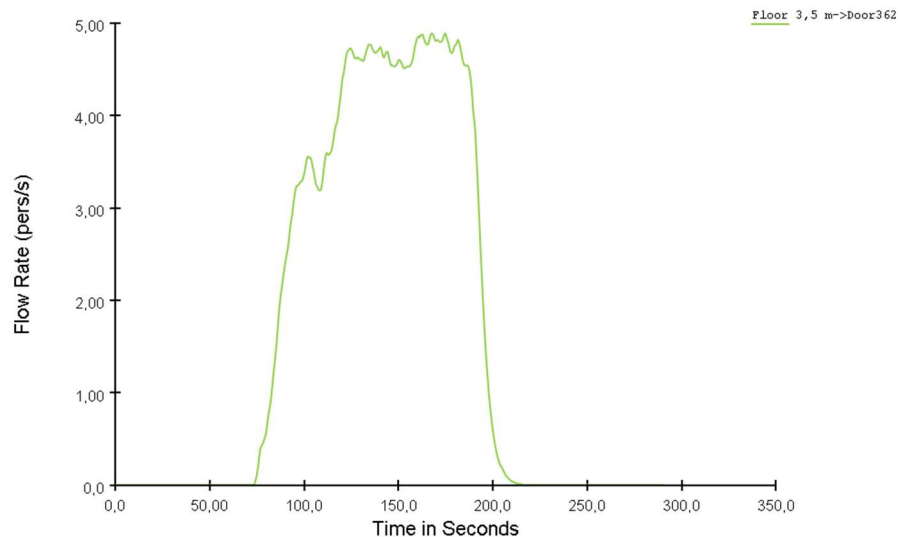


Figura 41- Taxa de utilização da saída “Door362” – Cenário 4

Verifica-se que a saída utilizada pelos adeptos da bancada fixa do lado poente, “Door362”, teve um fluxo de ocupantes apenas até aos 205 segundos de simulação, aproximadamente, quando esta terminou aos 290,5 segundos, tal como já previamente indicado na Tabela 8, indicando uma diferença de sensivelmente 85 segundos entre lados da bancada.

A Figura 42 representa a taxa de utilização das portas “Door368” e “Door369” - utilizadas pelo público do lado nascente da bancada fixa - que demonstram a sua utilização até ao fim do tempo total de evacuação simulado.

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

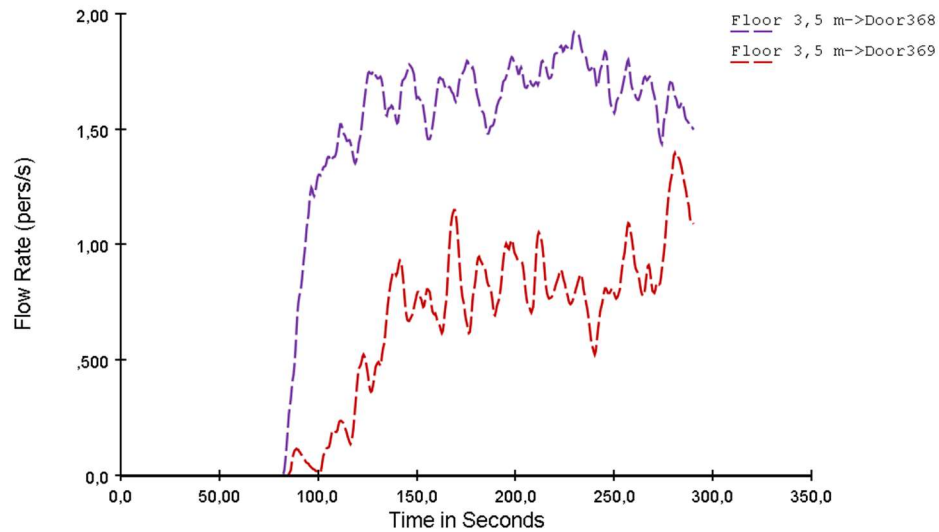


Figura 42- Taxa de utilização das saídas "Door368" e "Door369" - Cenário 4

A Figura 43 procura demonstrar o número de ocupantes ao longo do tempo na simulação deste cenário de evacuação.

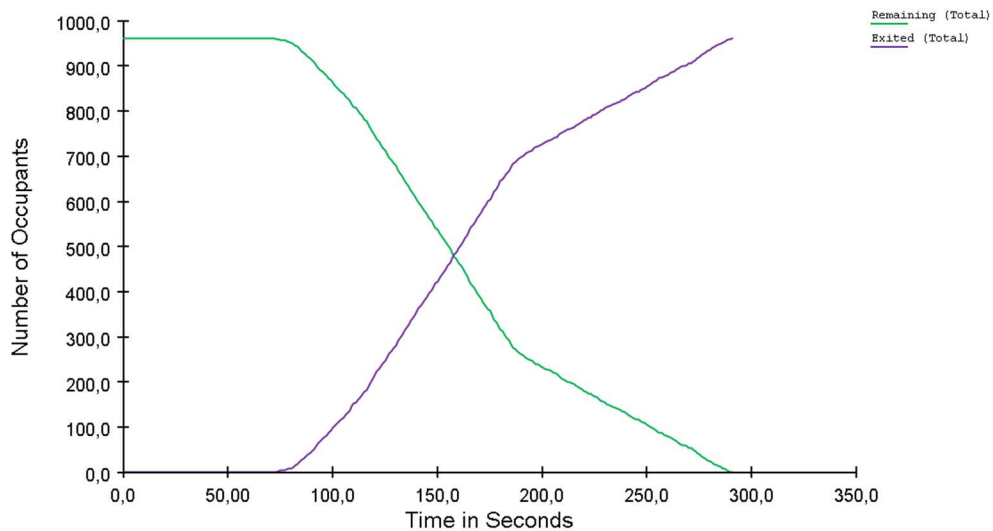


Figura 43- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 4

Em primeiro lugar, a evacuação de 50% dos ocupantes ocorreu antes de metade do tempo total de evacuação ter sido atingido, concluindo que a última metade deste grupo demorou mais tempo a evacuar. Para além disso, pode-se verificar que entre os 80 e 180 segundos é quando ocorre a fase de evacuação mais ativa, com uma maior taxa de ocupantes a sair do edifício.

A partir deste instante, o fluxo continua, mas a um ritmo menos acelerado, indicando algumas dificuldades para estes últimos ocupantes em abandonarem o pavilhão.

3.5.5. Cenário 5: Todas as saídas disponíveis – CDP 70% (Bancada fixa)

Neste cenário, a variável *Current Door Preference* foi alterada para 70%, mantendo todas as saídas disponíveis para os ocupantes, e permitindo simular o cenário mais provável de evacuação.

Os resultados podem ser consultados na Tabela 9

Tabela 9- Dados relativos ao Cenário 5

Cenário 5	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference</i> (%)	70
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	293,8

Pela Tabela 9 acima representada, podemos concluir que perante as condições deste cenário, verifica-se a necessidade de 293,8 segundos (4'53'') para evacuação total da bancada fixa.

Este valor apenas difere em, aproximadamente, 3 segundos de simulação, quando comparado com o cenário 4, justificando-se pela boa distribuição de saídas, ausência de congestionamentos agravados e uma grande fluidez de escoamento.

A evacuação da bancada fixa do lado poente do pavilhão terminou mais cedo do que a do lado nascente, tal como no cenário previamente simulado, comprovando-se pelas Figuras 44 e 45 representadas.

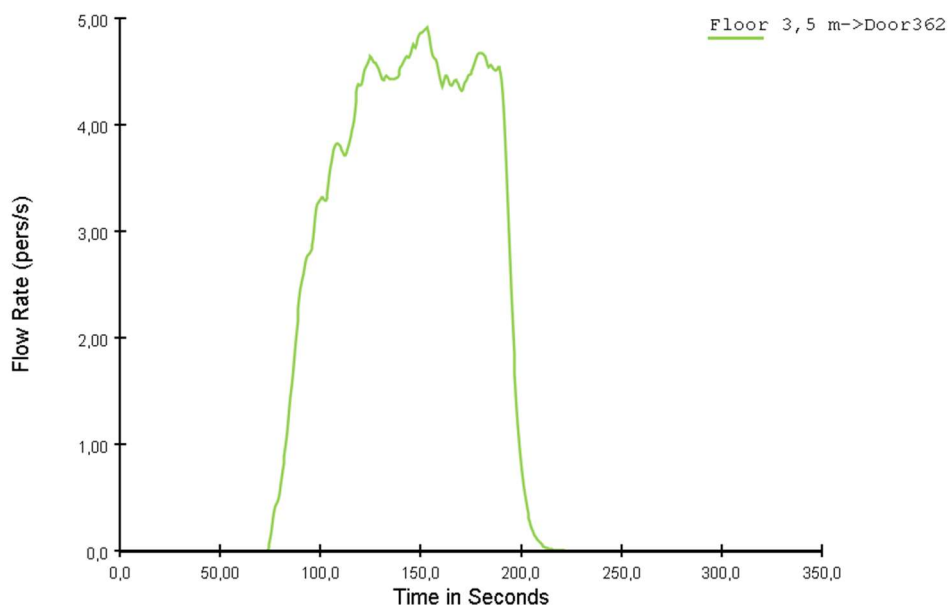


Figura 44- Taxa de utilização da saída "Door362" - Cenário 5

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

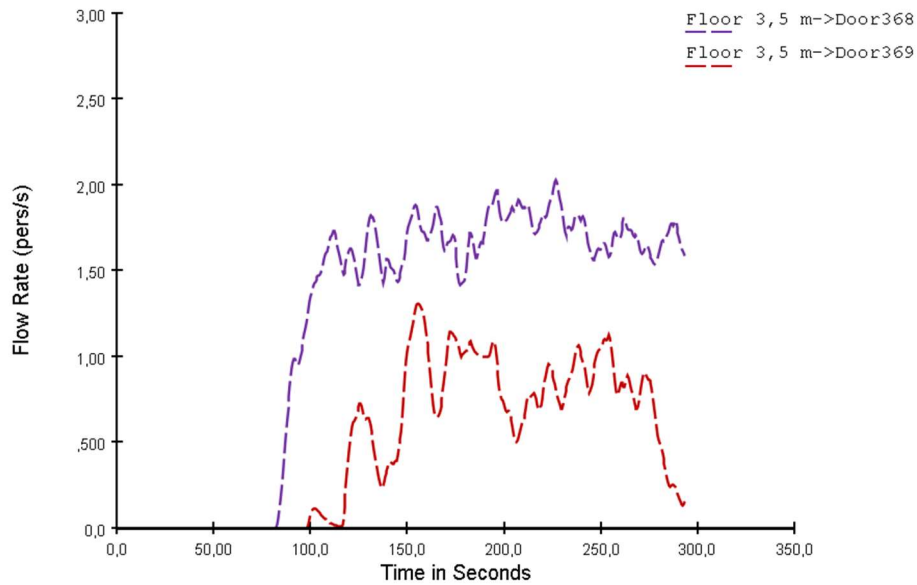


Figura 45- Taxa de utilização das saídas "Door368" e "Door369" - Cenário 5

À semelhança do cenário 4 previamente simulado, as saídas do lado nascente tiveram em utilização até ao fim do tempo de evacuação, ao contrário da saída do lado poente, que terminou a circulação de ocupantes sensivelmente 80 segundos mais cedo, aproximadamente. A Figura 46 procura demonstrar o número de ocupantes ao longo do tempo na simulação deste cenário de evacuação

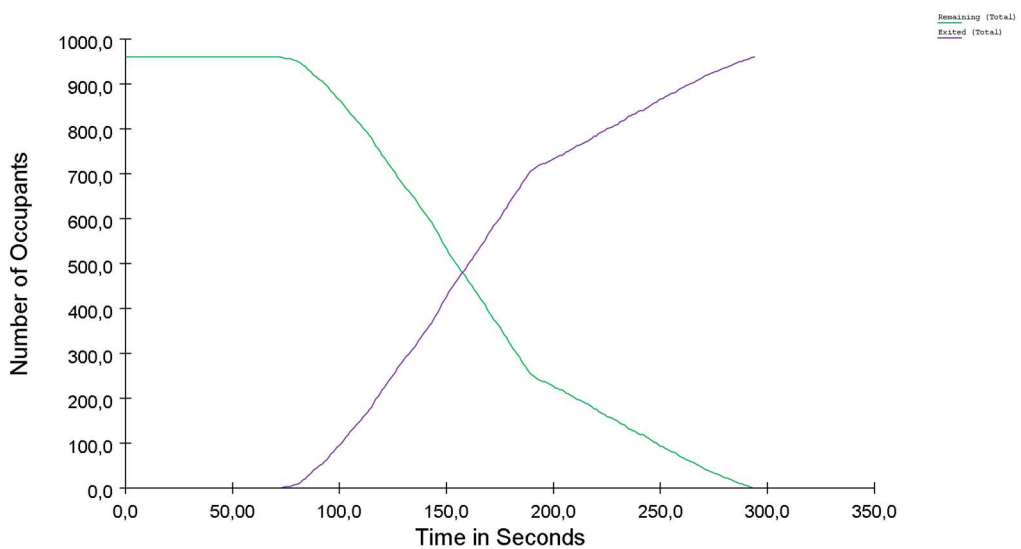


Figura 46- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 5

Com a variação da variável *Current Door Preference*, ao analisar a Figura 46, o comportamento de evacuação dos ocupantes não se alterou significativamente. Refletindo apenas numa variação ligeira do no tempo de evacuação, mas não responsável por alterar o comportamento global da simulação. Uma vez mais a evacuação de 50% dos ocupantes ocorreu antes de metade do tempo total de evacuação ter sido atingido, concluindo que a última metade deste grupo demorou mais tempo a evacuar, sendo os últimos 100 segundos representados por uma evacuação constante, mas menos acelerada do que o início da simulação.

3.5.6. Cenário 6: Saídas do lado poente disponíveis – CDP 35% (Bancada fixa)

Neste cenário, foi considerada uma limitação significativa das rotas de evacuação, ficando apenas acessíveis as saídas localizadas no lado poente do recinto para os ocupantes da bancada fixa. As restantes saídas foram simuladas como bloqueadas ou inacessíveis, com o objetivo de avaliar o impacto desta restrição na evacuação do público envolvente.

A velocidade média de deslocação dos indivíduos manteve-se em 1,4 m/s, com uma distribuição normal, e a variável *Current Door Preference* foi fixada em 35%, permitindo um grau moderado de flexibilidade na escolha ou alteração da saída durante a evacuação.

As saídas disponíveis para este cenário estão representadas na Figura 47.

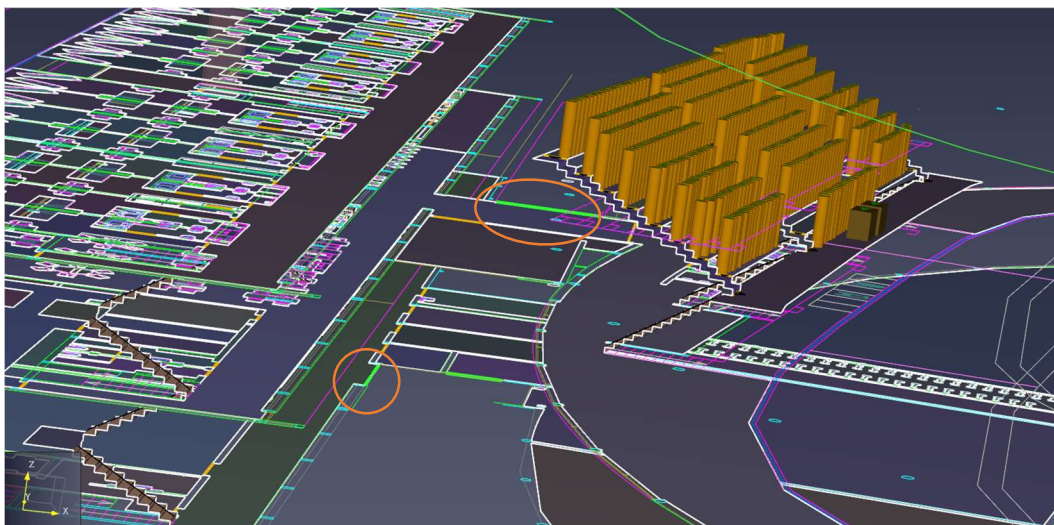


Figura 47- Representação das saídas disponíveis do lado poente (Rodeadas a laranja)

Os resultados deste cenário podem ser consultados na Tabela 10.

Tabela 10- Dados relativos ao Cenário 6

Cenário 6	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference</i> (%)	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	343,03

Pela Tabela 10, podemos concluir que perante as condições deste cenário, verifica-se a necessidade de 343,03 segundos (5'43'') para evacuação total da bancada fixa.

Este valor é naturalmente maior quando comparado aos cenários previamente testados nesta bancada, visto apenas um dos lados do pavilhão estar disponível para evacuação.

A Figura 48 representada demonstra a taxa de utilização da saída utilizada por todos os 961 ocupantes das bancadas deste cenário.

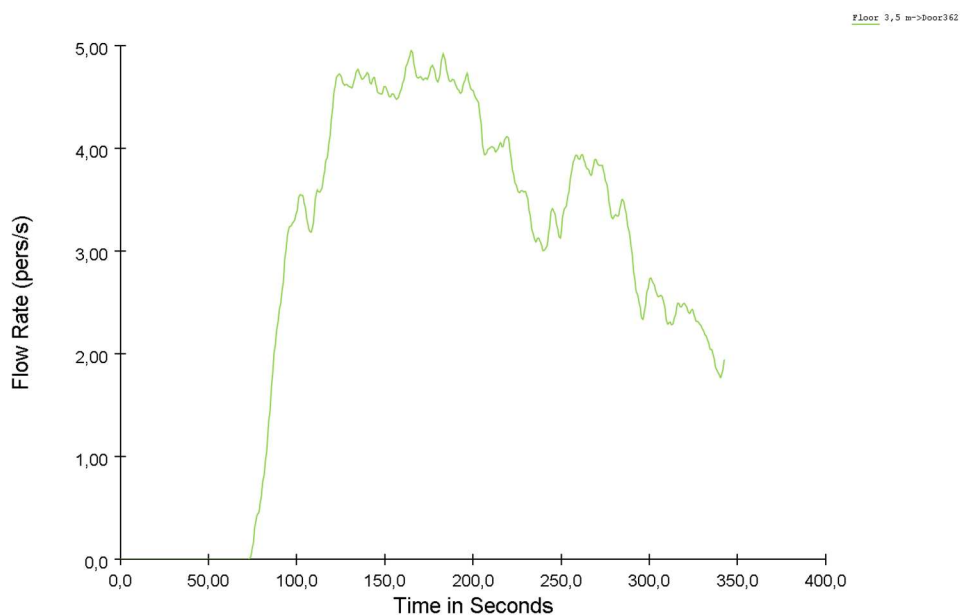


Figura 48- Taxa de utilização da saída "Door362" - Cenário 6

A curva da Figura 48 revela que esta saída foi a única utilizada na evacuação da bancada fixa, sendo capaz de suportar de forma contínua e eficaz todo o processo de evacuação dos ocupantes. O seu pico de utilização atingiu as 5 pessoas por segundo, sendo altamente solicitada pelos adeptos.

A diminuição de forma gradual do movimento de público ocorre a partir dos 200 segundos aproximadamente, evidenciando a redução da pressão feita pelos ocupantes, à medida que a área foi sendo evacuada.

A Figura 49 pretende reunir a variação do número de adeptos ao longo do tempo neste cenário.

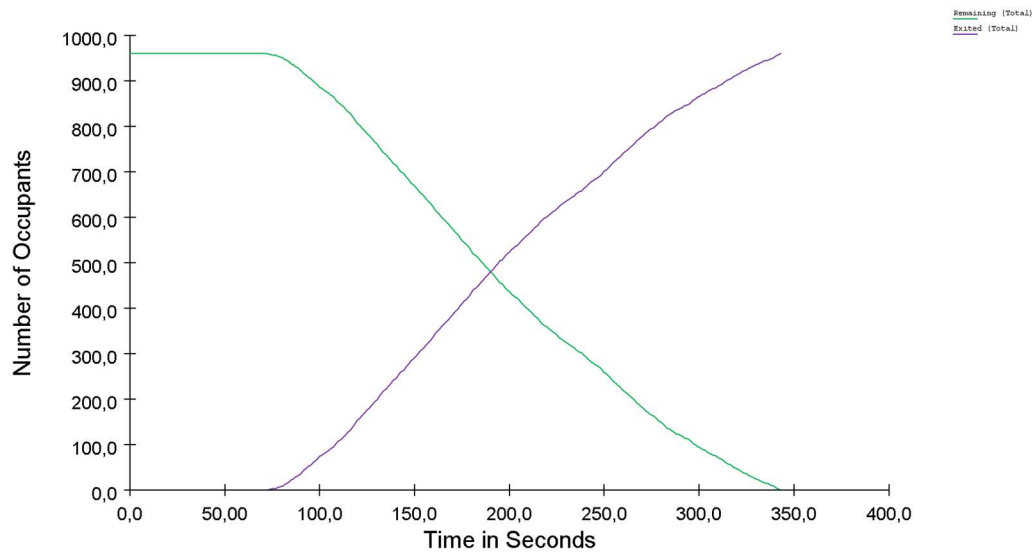


Figura 49- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 6

Apesar da limitação imposta (uso exclusivo das saídas do lado poente), o gráfico demonstra que o processo de evacuação decorreu de forma fluida e contínua.

O tempo de evacuação foi apenas ligeiramente superior ao de cenários com maior número de saídas, o que confirma a eficácia da porta utilizada e a capacidade da infraestrutura para suportar o escoamento mesmo sob restrições, evidenciando a ausência de congestionamentos críticos.

3.5.7. Cenário 7: Saídas do lado poente disponíveis + porta bloqueada – CDP 35% (Bancada fixa)

Este cenário teve como objetivo analisar o impacto da redução da capacidade de escoamento numa das saídas do lado poente, provocada pela simulação da obstrução parcial de uma porta dupla.

A situação representa um cenário realista, onde, por motivos técnicos, apenas um dos batentes da porta se encontra funcional, limitando significativamente a largura útil de passagem.

O objetivo principal foi observar se, perante essa limitação, os ocupantes seriam capazes de identificar outras alternativas de evacuação e optar por outros percursos.

A variável *Current Door Preference* manteve-se fixa em 35%, permitindo algum grau de adaptação comportamental, sem eliminar por completo a tendência natural de manter a escolha inicial.

O bloqueio parcial da porta de saída “Door362” pode ser observado na Figura 50.

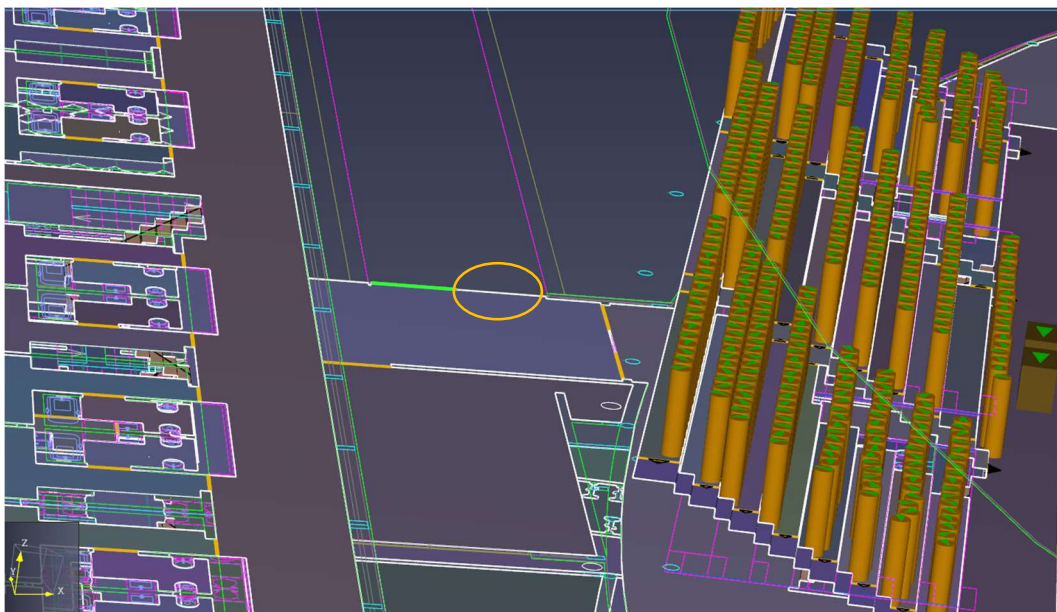


Figura 50- Representação da saída bloqueada (rodeada a laranja)

Os resultados desta simulação podem ser consultados na Tabela 11.

Tabela 11- Dados relativos ao Cenário 7

Cenário 7	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference (%)</i>	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	376,5

Ora, ao comparar com o cenário 6, onde não existia esta restrição de porta do mesmo lado do pavilhão, verifica-se um acréscimo de tempo, tal como indicado na Tabela 12.

Tabela 12- Comparação de Cenários (6 e 7)

Cenário 6 (Apenas saídas do lado poente disponíveis)		Cenário 7 (Apenas saídas do lado poente disponíveis + porta bloqueada)	
35	CDP	35	
343,03	Tempo Total de Evacuação	376,5	
Diferença			
33,47 segundos			

Este acréscimo no tempo de evacuação resulta do facto de os ocupantes, perante a redução da largura útil da saída, terem optado por reconsiderar a sua escolha inicial, desviando-se para uma porta alternativa localizada num piso inferior. Esta decisão implicou a utilização de escadas e a realização de um percurso mais extenso. Essa mudança de caminho encontra-se ilustrada na Figura 51 onde os ocupantes trocaram de piso para evacuar o edifício.

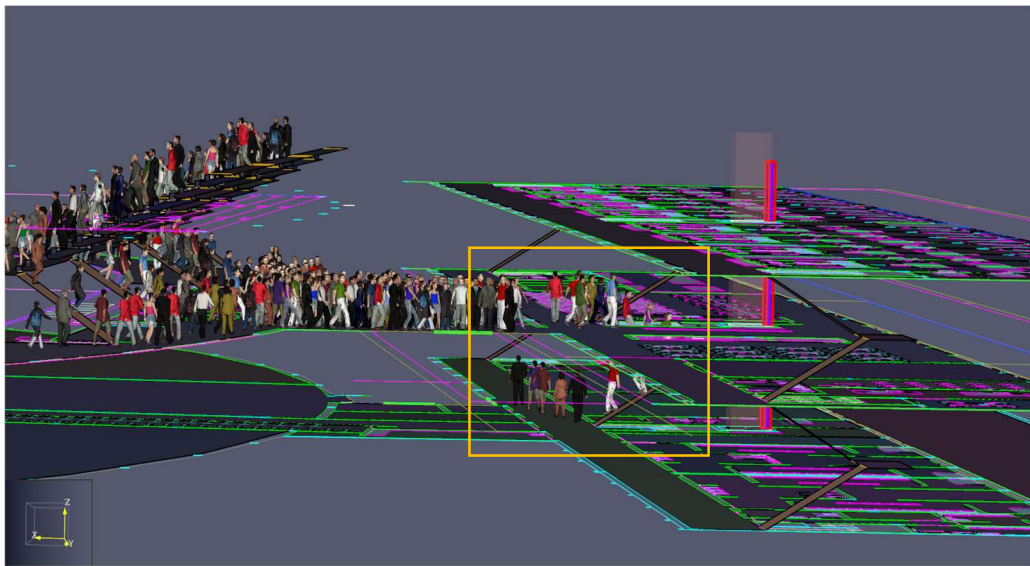


Figura 51- Representação da mudança de percurso (retângulo laranja) pelos ocupantes (*PathFinder* - Cenário 7)

As taxas de utilização das saídas utilizadas pelos ocupantes podem ser consultadas na Figura 52.

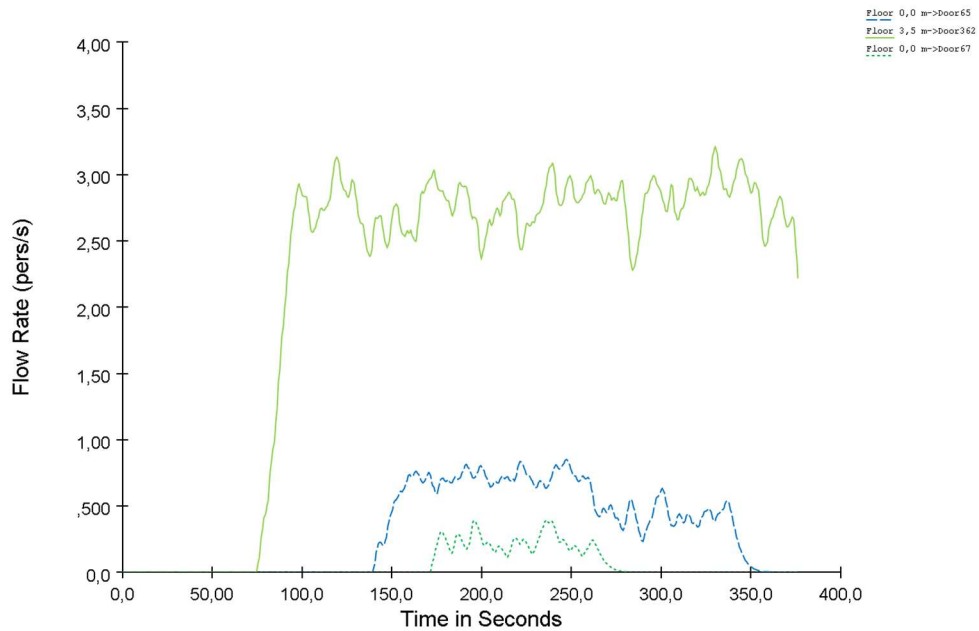


Figura 52- Taxa de utilização das saídas "Door362", "Door65" e "Door69" - Cenário 7

No caso deste cenário, e através do gráfico da Figura 52, é possível verificar que foram utilizados 2 tipos de saídas distintas do mesmo lado do pavilhão, situadas em pisos diferentes.

No caso da “Door362” que foi parcialmente bloqueada, existe um aumento acentuado nos primeiros segundos de evacuação do público até estabilizar entre as 2,50 e 3 pessoas por segundo a passar pela porta, e mantendo esse perfil, embora com algumas flutuações, até ao fim da simulação.

Paralelamente, as saídas do piso -1 foram utilizadas neste cenário, ao contrário do anterior. Este facto demonstra que, perante uma situação de obstrução evidente e aumento do tempo de escoamento, os ocupantes optaram por reavaliar a sua decisão inicial e dirigir-se a percursos alternativos, percorrendo caminhos mais longos para alcançar saídas menos congestionadas.

A evolução do número de adeptos presentes no pavilhão ao longo do tempo pode ser consultado na Figura 53.

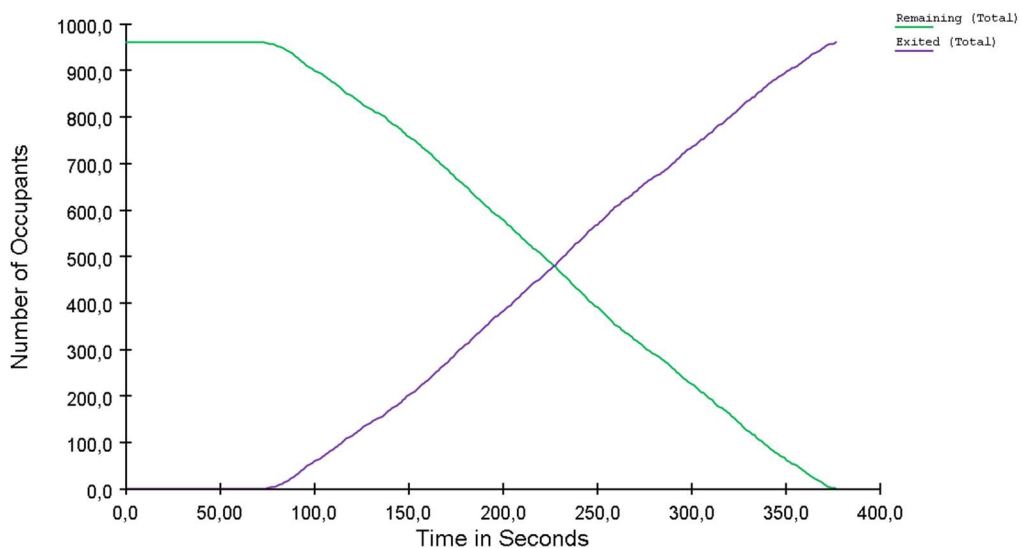


Figura 53- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 7

Apesar da limitação, o gráfico demonstra que o processo de evacuação decorreu de forma fluida e contínua. Aos 220 segundos, aproximadamente, metade dos adeptos já tinha evacuado o edifício, sendo necessários mais 140 segundos, sensivelmente, para evacuação dos restantes.

O tempo de evacuação foi superior ao cenário anterior, o que confirma a necessidade e importância da porta utilizada para principal escoamento do público desta bancada.

3.5.8. Cenário 8: Saídas do lado poente disponíveis – CDP 70% (Bancada fixa)

Neste novo cenário, procurou-se testar a mesma disponibilidade de saídas, alterando apenas a variável *Current Door Preference* para 70%, procurando simular um comportamento mais conservador por parte dos ocupantes, mantendo uma maior tendência desde o início da simulação até ao seu fim, na escolha da saída de emergência.

Os resultados da simulação podem ser consultados na Tabela 13.

Tabela 13- Dados relativos ao Cenário 8

Cenário 8	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference</i> (%)	70
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	348,03

Pela Tabela 13 podemos concluir que perante as condições deste cenário, verifica-se a necessidade de 348,03 segundos (5'48'') para evacuação total da bancada fixa.

Este valor apenas difere em, aproximadamente, 5 segundos de simulação, quando comparado com o cenário 6, evidenciando que em contextos com opções de evacuação limitadas e bem definidas, o impacto da CDP é mínimo, ou pouco notável, na eficácia global da evacuação simulada.

A Figura 54 demonstra a taxa de utilização da saída de emergência utilizada pelos ocupantes durante a evacuação.

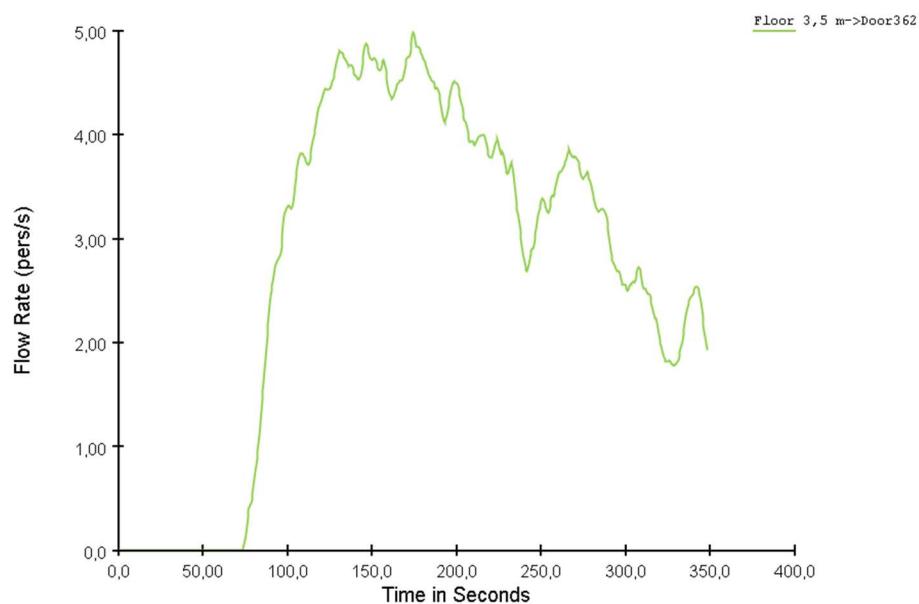


Figura 54- Taxa de utilização da saída "Door362" - Cenário 8

A semelhança entre os gráficos de utilização da saída “Door362” nos cenários 6 e 8 confirma que o parâmetro *Current Door Preference* (CDP) apresenta um impacto pouco significativo nos contextos onde a disponibilidade de saídas é limitada, e o escoamento dos ocupantes ocorre de forma contínua.

A Figura 54 representa a taxa de utilização da referida saída, evidenciando, uma vez mais, um padrão de utilização intenso e regular ao longo do tempo, o que valida a sua capacidade funcional em condições de evacuação consideradas ideais. Nestes casos, a rigidez ou flexibilidade na escolha da saída inicial tem pouca influência no desempenho global do processo. A Figura 55 demonstra a evolução do número de adeptos ao longo do tempo deste cenário.

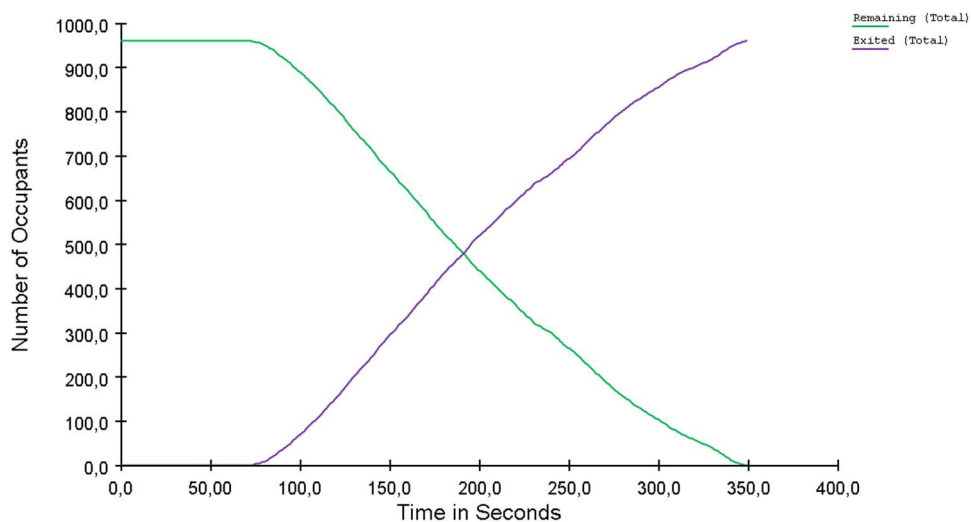


Figura 55- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 8

Uma vez mais, pela análise da Figura 55, o gráfico segue uma estrutura quase idêntica à verificada no cenário anterior (CDP = 35%). As duas curvas cruzam-se novamente um pouco antes dos 200 segundos de simulação, evidenciando que 50% dos ocupantes já evacuaram o pavilhão.

O comportamento global da evacuação mantém-se estável, com um perfil de escoamento contínuo dos adeptos e sem interrupções, reforçando que, em contextos com “rota única”, o parâmetro de fidelidade à escolha inicial (CDP), tem um impacto muito reduzido no tempo total de evacuação.

3.5.9. Cenário 9: Saídas do lado nascente disponíveis – CDP 35% (Bancada fixa)

Neste cenário, foi simulada a condição de evacuação onde apenas as saídas localizadas no lado nascente do recinto estavam acessíveis aos ocupantes da bancada fixa, tendo sido bloqueadas todas as restantes, procurando testar hipotéticas situações em que a obstrução do lado poente do pavilhão seria uma realidade.

Tal como os cenários anteriores, foi mantida a velocidade média de deslocação dos indivíduos em 1,4 m/s, numa distribuição normal. A variável *Current Door Preference* foi fixada novamente em 35%.

A Figura 56 demonstra as saídas disponíveis para evacuação neste cenário.

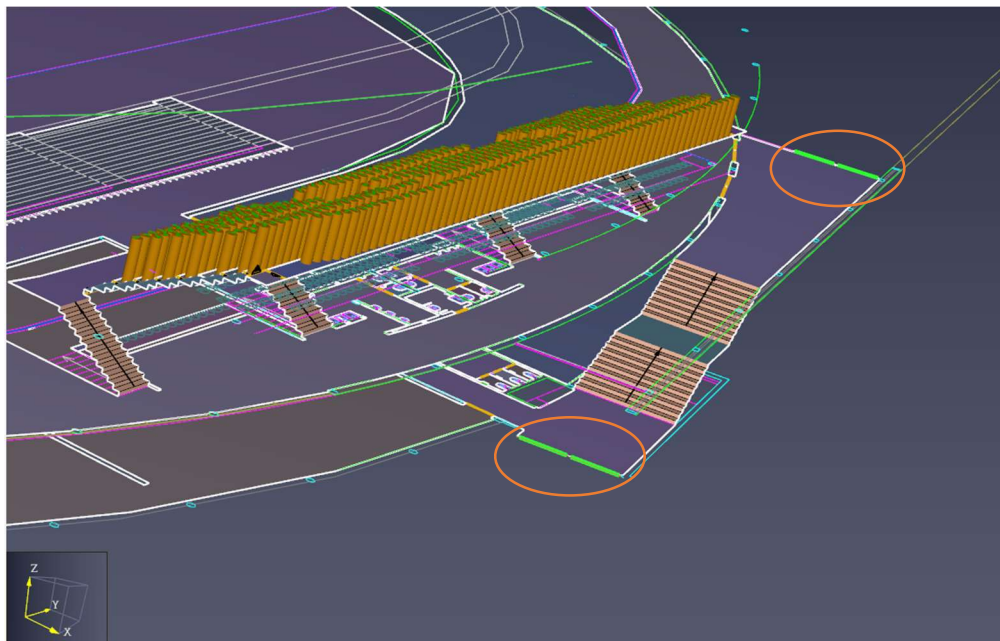


Figura 56- Representação das saídas disponíveis no lado nascente (Rodeadas a laranja)

A Tabela 14 enquadra os resultados desta simulação.

Tabela 14- Dados relativos ao Cenário 9

Cenário 9	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference</i> (%)	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	345,0

Pela Tabela 15, podemos concluir que perante as condições deste cenário, verifica-se a necessidade de 345,0 segundos (5'45'') para evacuação total da bancada fixa. Ora, este valor é

naturalmente superior ao da simulação com a mesma percentagem de *Current Door Preference*, mas com todas as saídas disponíveis (Cenário 4).

Tabela 15- Comparação de Cenários (4 e 9)

Cenário 4 (todas as saídas disponíveis)	CDP	Cenário 9 (Apenas saídas do lado nascente disponíveis)
35		35
290,5	Tempo Total de Evacuação	345,0
Diferença		
54,5 segundos		

A Tabela 15 procura evidenciar a diferença entre os tempos de simulação de ambos os cenários, evidenciando o impacto significativo que a redução da acessibilidade e da distribuição espacial das saídas pode ter na eficiência do escoamento dos ocupantes, mantendo inalteradas as restantes variáveis comportamentais. A Figura 57 pretende representar a taxa de utilização das saídas utilizadas por todos os 961 ocupantes deste cenário.

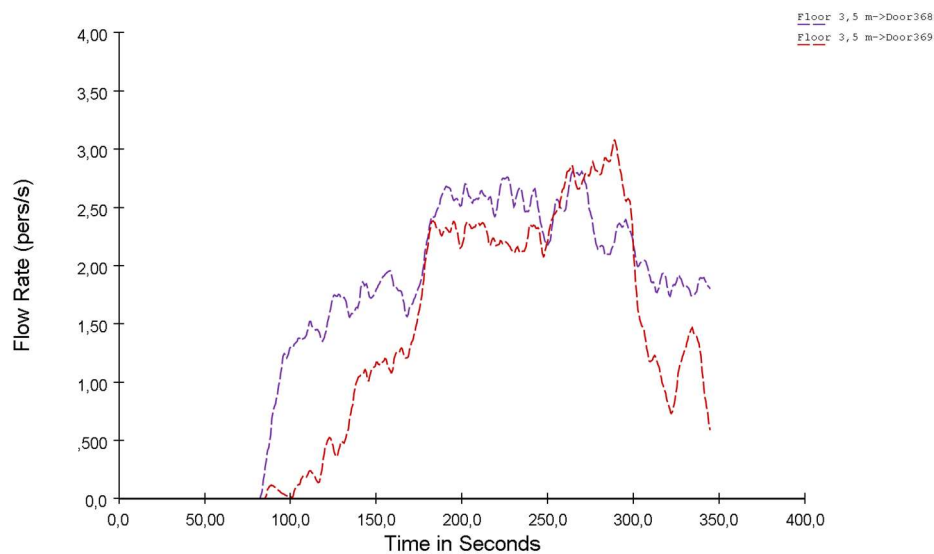


Figura 57- Taxa de utilização das saídas "Door368" e "Door369" - Cenário 9

Com apenas as saídas do lado nascente disponíveis, a evacuação foi partilhada de forma relativamente equilibrada entre as portas "Door368" e "Door369" (representadas no topo das escadas da Figura 56).

Este comportamento sugere uma boa gestão da distribuição da circulação de pessoas mesmo em condições limitadas, sendo a diferença no desempenho entre as portas um reflexo natural da sua localização relativa face aos ocupantes e à geometria dos acessos.

A Figura 58 procura representar a evolução do número de adeptos ao longo do tempo.

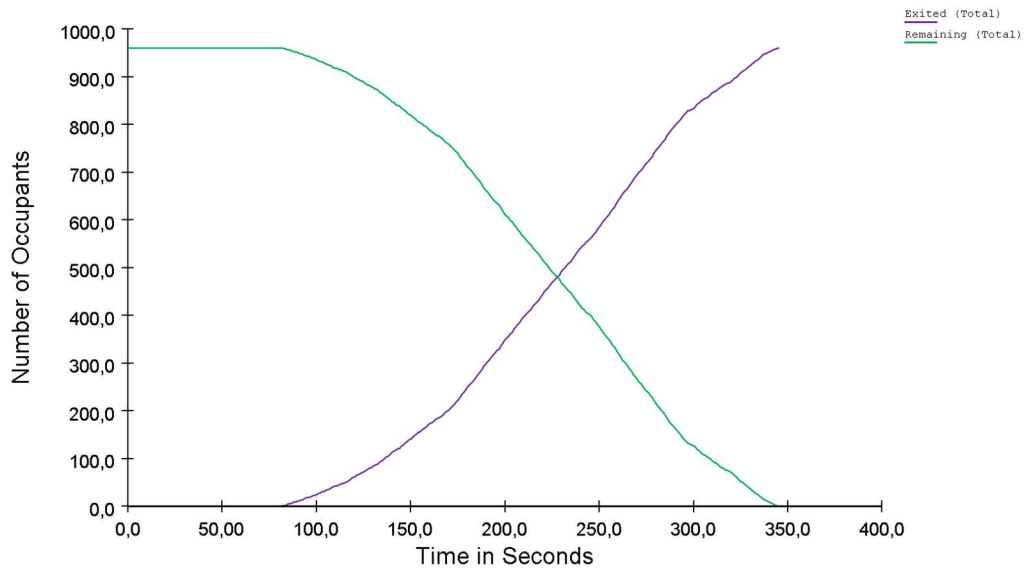


Figura 58- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 9

O gráfico demonstra que o processo de evacuação decorreu de forma fluida e contínua, com um aumento progressivo de evacuação nos primeiros 100 segundos, após o tempo de pré evacuação ter passado. O perfil da curva evidencia uma boa organização do processo de evacuação e ausência de congestionamentos críticos. Para além disso, pode-se concluir que metade do público tinha saído do pavilhão aproximadamente aos 220 segundos de simulação, sendo preciso mais 110 segundos, sensivelmente, para terminar o escoamento total dos ocupantes.

3.5.10. Cenário 10: Saídas do lado nascente disponíveis + porta bloqueada – CDP 35% (Bancada fixa)

Neste cenário, procurou-se testar o comportamento dos ocupantes perante uma redução localizada da largura útil de evacuação, simulando a obstrução de uma das duas portas de uma saída dupla situada no lado nascente do recinto. Esta situação é representativa de contextos reais em que portas duplas, que abrem empurrando para o exterior, possam não estar totalmente operacionais.

A configuração manteve o acesso exclusivo às saídas do lado nascente para os ocupantes da bancada fixa, mas com uma das portas adjacentes inoperacional, criando um estrangulamento do escoamento e potencial aumento do tempo de passagem por essa via. O objetivo principal passa por analisar se os ocupantes, perante essa dificuldade, reavaliam a escolha inicial da saída e optam por outras portas disponíveis, ainda que mais distantes.

O valor de *Current Door Preference* foi mantido em 35%, permitindo um grau moderado de flexibilidade na alteração da decisão de saída durante a evacuação. Esta configuração permite avaliar o grau de sensibilidade dos ocupantes a constrangimentos físicos localizados e a capacidade do modelo simulado de reproduzir essa adaptação comportamental.

Esta restrição pode ser consultada na Figura 59.

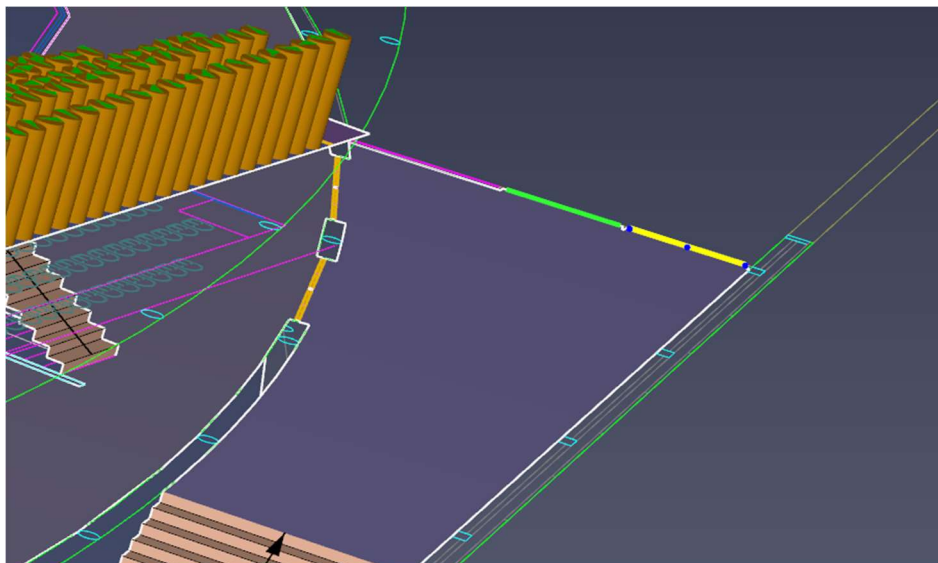


Figura 59- Representação da saída bloqueada (amarelo)

Os resultados da simulação podem ser consultados na Tabela 16.

Tabela 16- Dados relativos ao Cenário 10

Cenário 10	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference (%)</i>	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	369,78

Pela Tabela 16, podemos concluir que o tempo necessário para evacuar todos os ocupantes da bancada fixa é de 369,78 segundos (6'09'').

Ora, ao comparar com o cenário 9, onde não existia esta restrição de porta do mesmo lado do pavilhão, verifica-se um acréscimo de tempo, tal como indicado na Tabela 17.

Tabela 17- Comparação de Cenários (9 e 10)

Cenário 9 (Apenas saídas do lado nascente disponíveis)		Cenário 10 (Apenas saídas do lado nascente disponíveis + porta bloqueada)
35	CDP	35
345,0	Tempo Total de Evacuação	369,78
Diferença		
24,78 segundos		

Este aumento deve-se ao facto de os ocupantes, ao depararem-se com a limitação da largura de passagem, reavaliaram a sua decisão inicial e optaram por redirecionar-se para outra

saída disponível, situada num piso inferior, o que implicou a utilização de escadas e um percurso mais longo. Tal acontecimento pode ser observado na Figura 60.

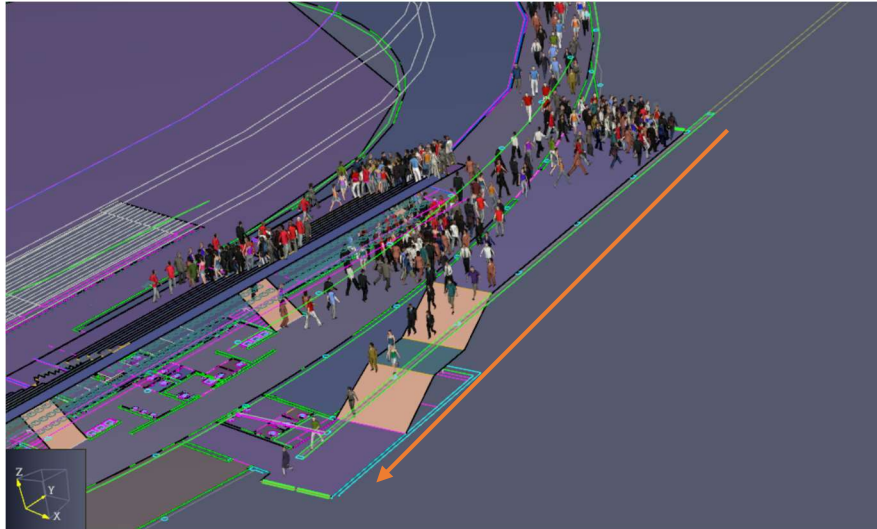


Figura 60- Representação da mudança de percurso (seta laranja) pelos ocupantes (*PathFinder* - Cenário 10)

As taxas de utilização das saídas utilizadas pelos ocupantes podem ser consultadas na Figura 61.

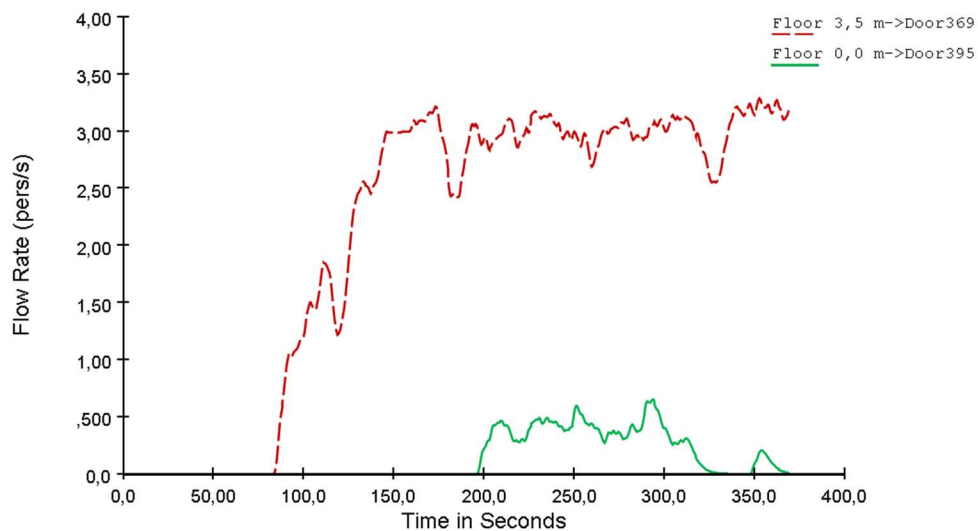


Figura 61- Taxa de utilização das saídas "Door369" e "Door395" - Cenário 10

No caso deste cenário, e através do gráfico da Figura 61, é possível verificar que foram utilizadas 2 saídas distintas do mesmo lado do pavilhão, situadas em pisos diferentes, com uma movimentação menos significativa nos primeiros segundos de simulação, mas adquirindo um comportamento mais constante e contínuo a partir dos 200 segundos, aproximadamente.

A evolução do número de adeptos presentes no pavilhão ao longo do tempo pode ser consultado na Figura 62.

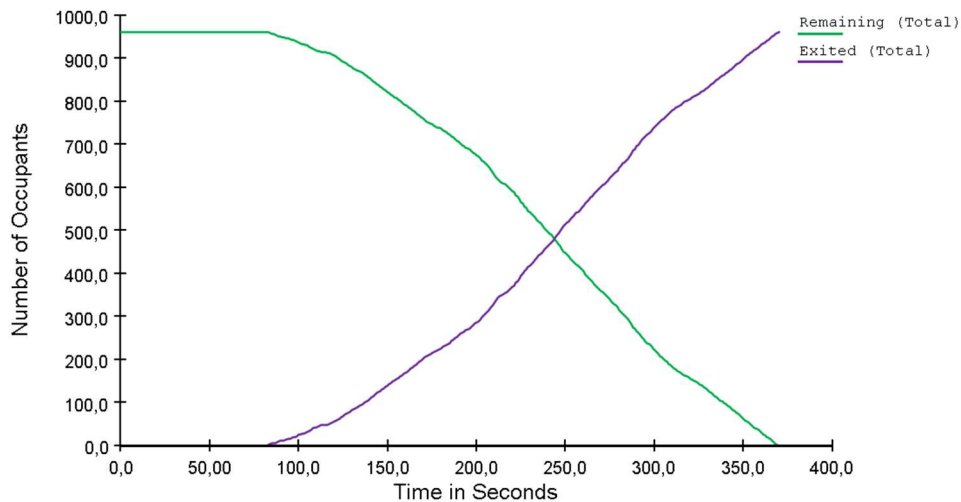


Figura 62- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 10

A evacuação de metade dos ocupantes ocorreu apenas aos 240 segundos de simulação, sensivelmente, num total de 369,78 segundos necessários. Este valor demonstra que numa fase inicial o processo de escoamento dos adeptos foi mais demorado, derivado do processo de tomada de decisão de qual saída escolher com o aumento do congestionamento acumulado.

3.5.11. Cenário 11: Saídas do lado nascente disponíveis – CDP 70% (Bancada fixa)

Neste cenário, procurou-se testar a mesma disponibilidade de saídas que o cenário 9, alterando apenas a variável *Current Door Preference* para 70%, procurando simular um comportamento mais conservador por parte dos ocupantes, mantendo uma maior tendência desde o início da simulação até ao seu fim, na escolha das saídas, e avaliando o seu impacto.

Os resultados podem ser consultados na Tabela 18.

Tabela 18- Dados relativos ao Cenário 11

Cenário 11	
Número de ocupantes	961
<i>Current Door Preference (%)</i>	70
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	348,5

Pela Tabela 18, podemos concluir que perante as condições deste cenário, verifica-se a necessidade de 348,5 segundos (5'48'') para evacuação total da bancada fixa.

Este valor em nada praticamente difere, quando comparado com o cenário 9, evidenciando que em contextos com opções de evacuação limitadas e bem definidas, o impacto da CDP é praticamente nulo, ou pouco notável, na eficácia global da evacuação simulada.

A Figura 63 demonstra a taxa de utilização da saída de emergência utilizada pelos ocupantes durante a evacuação.

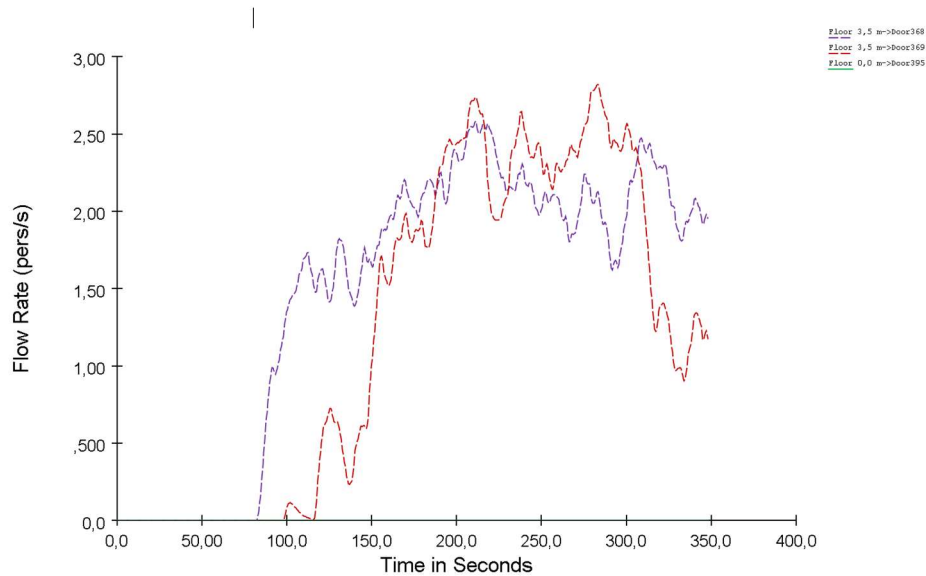


Figura 63- Taxa de utilização das saídas "Door368", "Door369" e "Door395" - Cenário 11

A linha alinhada com o zero de origem diz respeito à porta "Door395" que não teve qualquer passagem dos ocupantes em toda a evacuação simulada, refletindo uma vez mais que não foi necessária a mudança de porta de saída com a alteração da variável *Current Door Preference*.

A Figura 64 procura demonstrar a evolução do número de adeptos ao longo do tempo neste cenário.

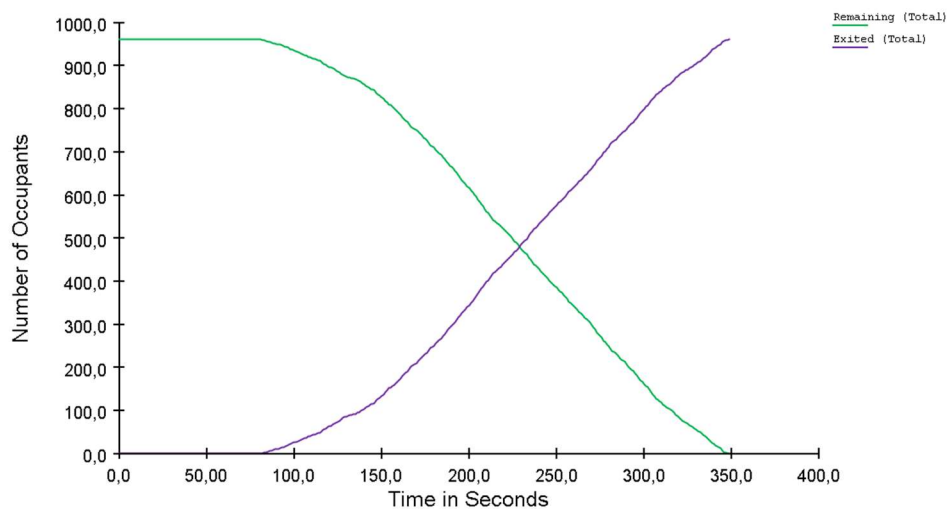


Figura 64- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 11

O comportamento geral da evacuação revela-se estável, com um escoamento contínuo e fluido dos ocupantes. Este resultado reforça que, em cenários com poucas rotas disponíveis, o parâmetro *Current Door Preference* (CDP), associado à fidelidade à escolha inicial da saída, exerce uma influência pouco expressiva sobre o tempo total de evacuação, dada a ausência de alternativas viáveis que justifiquem uma reavaliação do percurso.

Assim, o próprio gráfico do número de adeptos presentes no pavilhão revela-se praticamente semelhante ao do cenário 9 (Com variável CDP a 35%), mantendo a evacuação de 50% dos ocupantes aos 220 segundos, aproximadamente, com um declive ao longo do tempo praticamente igual.

3.5.12. Cenário 12: Todos os acessos e saídas disponíveis – CDP 35% (Quartos)

Nestes próximos cenários, procedeu-se à simulação da evacuação dos quartos triplos, localizados no último piso do pavilhão do lado poente, considerando todas as ligações verticais disponíveis e operacionais, bem como o respetivo acesso às saídas do edifício. O objetivo passou por analisar o desempenho em condições ideais de acessibilidade.

Assim como nos cenários anteriores, manteve-se uma velocidade média de deslocação de 1,4 m/s, com uma distribuição normal, sendo adotado o valor padrão de 35% para a variável *Current Door Preference*.

A Figura 65 procura demonstrar uma *frame* do processo de evacuação durante a simulação.

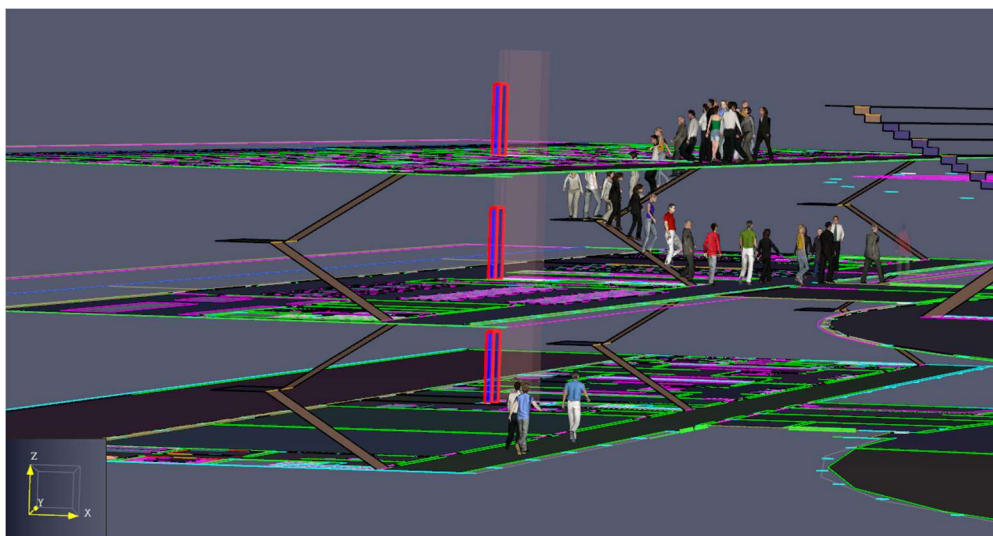


Figura 65- Representação da distribuição de adeptos durante a evacuação – Cenário 12

Ora, pela observação da Figura 65 é possível notar a preferência de utilização das escadas mais próximas da posição inicial para certos ocupantes deste piso. Esta escolha sugere um comportamento lógico, em que os indivíduos tendem a minimizar o percurso até ao ponto de evacuação mais acessível, alinhando-se com a proximidade a esses mesmos acessos.

A Tabela 19 reúne os valores obtidos no que concerne ao tempo simulado deste cenário.

Tabela 19- Dados relativos ao Cenário 12

Cenário 12	
Número de ocupantes	48
<i>Current Door Preference (%)</i>	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	128,3

Pela análise da Tabela 19, podemos concluir que são necessários, nestas condições, cerca de 128,3 segundos (2'6'') para evacuar o edifício contendo os 48 ocupantes dos quartos triplos.

A Figura 66 procura representar a evolução do número de ocupantes ao longo do tempo.

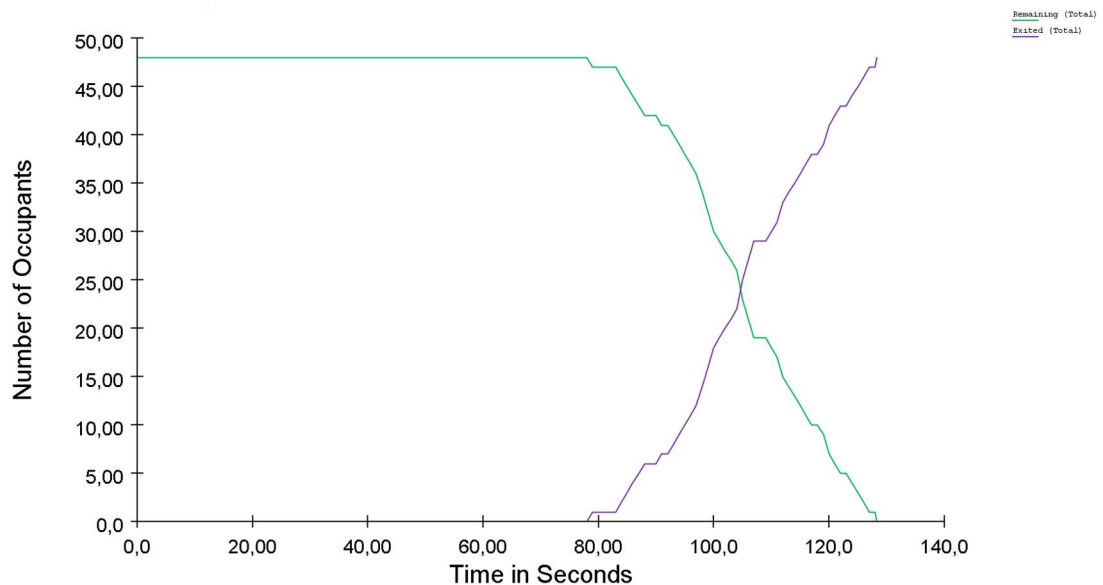


Figura 66- Número de ocupantes (adeptos) presentes ao longo do tempo - Cenário 12

Ora, o processo de evacuação, pela análise da Figura 66, ocorreu de forma rápida e ordenada, com todos os ocupantes a abandonarem os quartos em pouco mais de 1 minuto. Por volta dos 105 segundos de simulação, já 50% dos ocupantes tinham abandonado as instalações, sendo necessários apenas mais 23 segundos, sensivelmente, para a evacuação total.

A Figura 67 demonstra a taxa de ocupação das saídas utilizadas durante a evacuação simulada deste cenário.

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

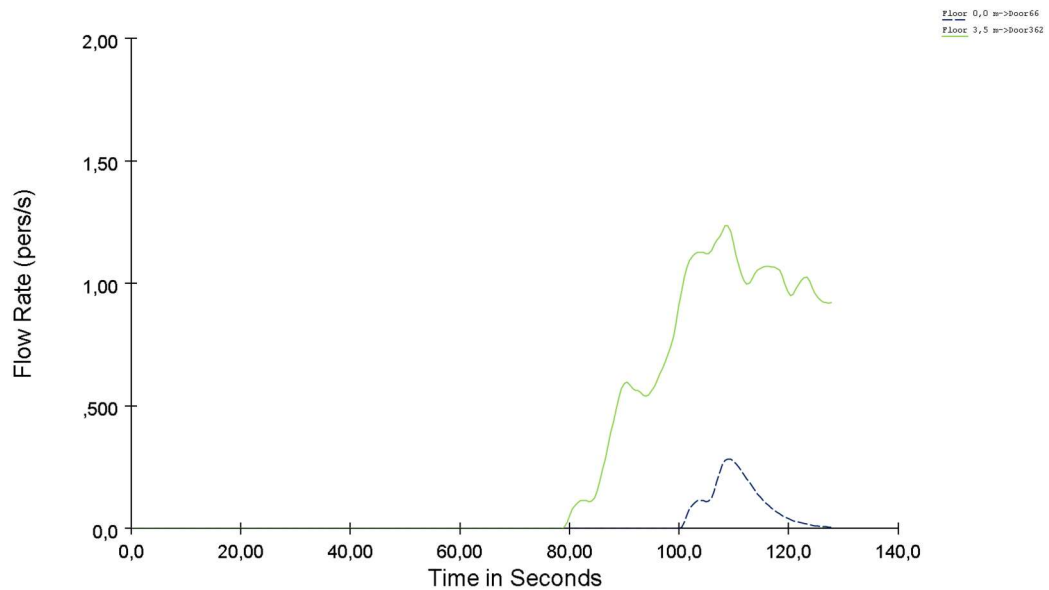


Figura 67- Taxa de utilização das saídas "Door362" e "Door66" - Cenário 12

Através da análise da Figura 67, constata-se que apesar dos ocupantes partirem do último piso do pavilhão, alguns utilizaram a saída "Door66" localizada no piso -1 do edifício.

Esta opção revelou-se a mais eficiente para garantir um menor tempo de evacuação para este grupo de ocupantes, que tendo em conta as condições e variáveis assumidas, considerou este trajeto como o mais adequado.

Para além disso, a saída "Door362", já representada várias vezes ao longo dos cenários anteriores, foi responsável por garantir a evacuação ordenada e controlada, sem congestionamentos consideráveis, dos ocupantes presentes.

3.5.13. Cenário 13: Escadas centrais bloqueadas – CDP 35% (Quartos)

Neste cenário, foi analisado o impacto da redução da capacidade de evacuação vertical a partir dos quartos triplos do velódromo.

A simulação consistiu em testar individualmente o bloqueio das escadas centrais disponíveis, mantendo a utilização do elevador possível, de modo a comparar os efeitos isolados da sua restrição sobre o tempo total de evacuação e a distribuição do número de ocupantes ao longo do tempo.

A Figura 68 procura representar as escadas bloqueadas na simulação.

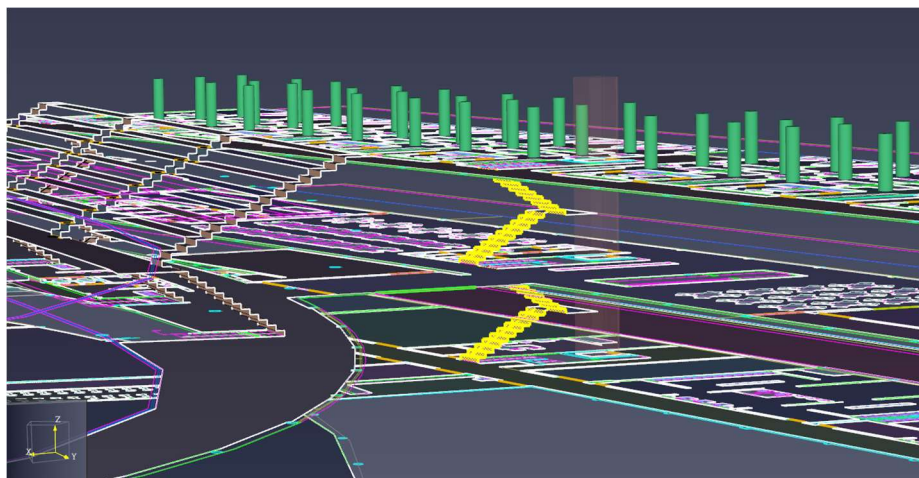


Figura 68- Representação das escadas bloqueadas (amarelo) - Cenário 13

Os resultados da evacuação podem ser consultados na Tabela 20.

Tabela 20- Dados relativos ao Cenário 13

Cenário 13	
Número de ocupantes	48
<i>Current Door Preference (%)</i>	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	134,53

Pela análise da Tabela 20 podemos concluir que foram necessários 134,53 segundos (2'14'') para evacuar os 48 ocupantes dos quartos para o exterior.

Estes resultados demonstram também que, mesmo com a limitação no número de acessos verticais, e sendo estas escadas as mais utilizadas no cenário 12, o impacto no tempo total de evacuação foi marginal, com um aumento de apenas 6 segundos.

Durante a simulação, foram utilizadas novamente as saídas "Door362" e "Door66" dos pisos 0 e -1, respetivamente. Para além disso, o elevador foi utilizado por 6 ocupantes, indicando um comportamento racional orientado pela proximidade a acessibilidade (ver Figura 69).

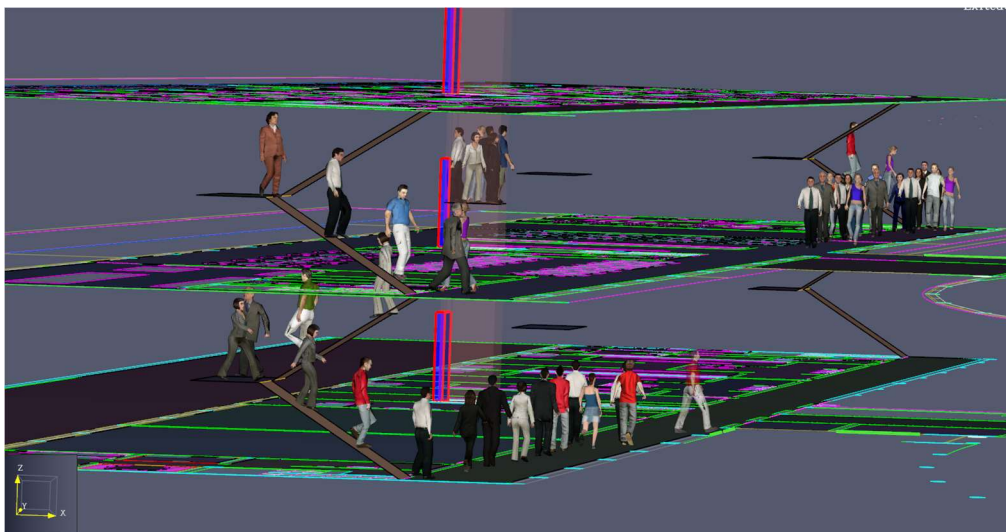


Figura 69- Representação da distribuição dos ocupantes pelos acessos verticais - Cenário 13

A Figura 70 representa a taxa de utilização dos acessos acima mencionados.

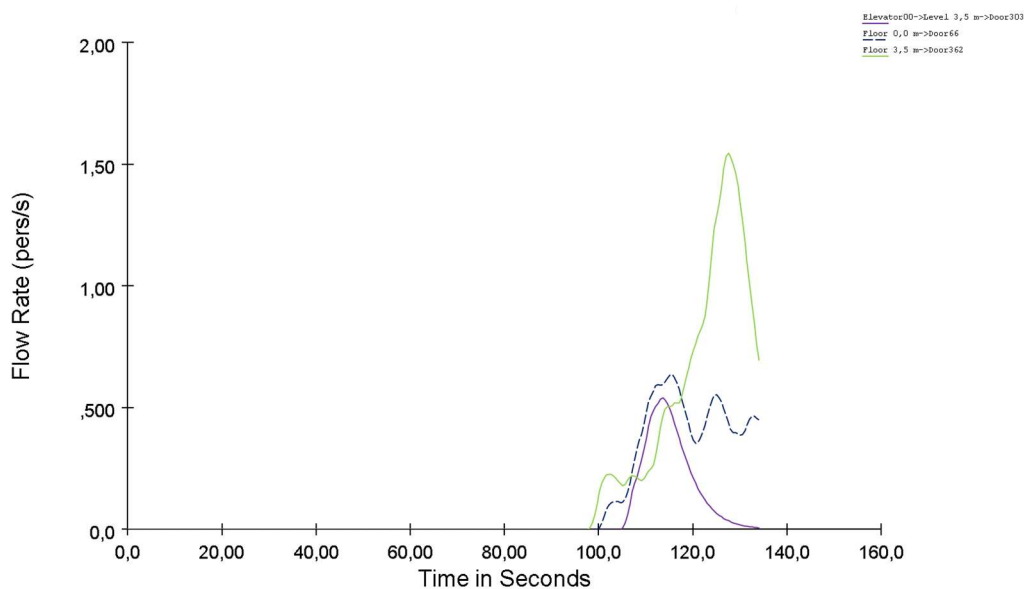


Figura 70- Taxa de utilização das saídas “Door362”, “Door66” e do elevador “Elevator00” – Cenário 13

A utilização residual do elevador reforça ainda a noção de que este é, para a maioria dos indivíduos, uma opção secundária, sendo a escolha prioritária as escadas, desde que estas estejam disponíveis e claramente perceptíveis.

A Figura 71 procura representar a evolução do número de adeptos ocupantes ao longo do tempo neste cenário.

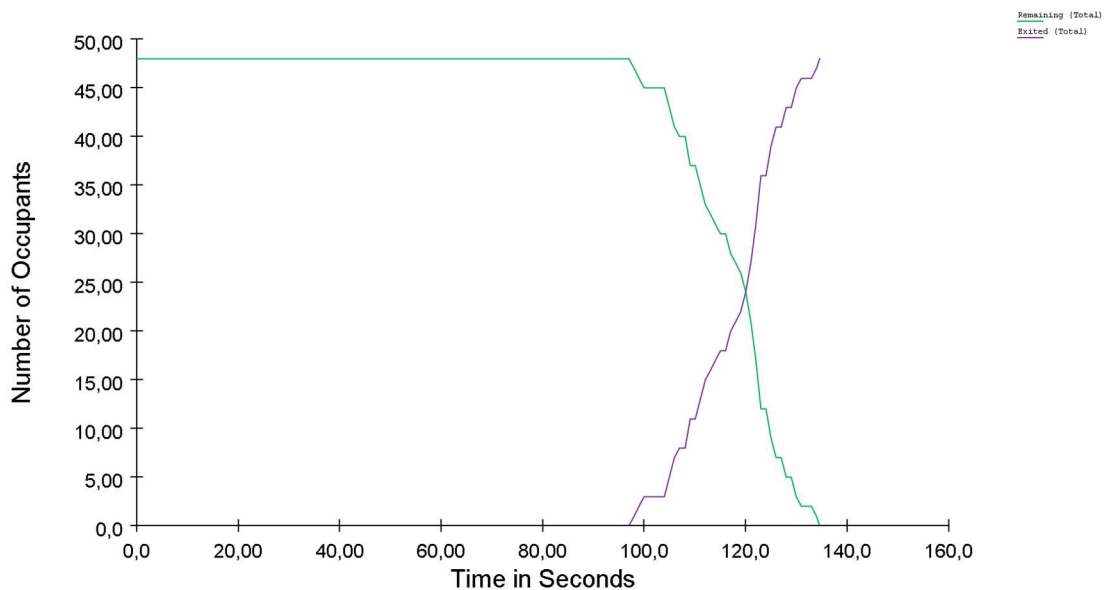


Figura 71- Número de ocupantes presentes ao longo do tempo – Cenário 13

Pela análise do gráfico, pode-se concluir que após os 60 segundos de pré evacuação, ainda forma necessário mais 38 segundos, aproximadamente, para evacuar o primeiro ocupante. Este aumento no tempo de saída inicial resultou da necessidade de percorrer um caminho mais longo até aos acessos verticais laterais, afastando-se temporariamente da saída final devido ao bloqueio das ligações centrais.

Após o primeiro ocupante ter abandonado o pavilhão o processo de evacuação procedeu-se de forma praticamente continua e sem interrupções, tendo sido necessário apenas mais 36 segundos para terminar a simulação.

3.5.14. Cenário 14: Saída do Piso 0 bloqueada – CDP 35% (Quartos)

Neste cenário, simulou-se a obstrução completa da principal saída localizada no Piso 0, com o objetivo de avaliar a resposta dos ocupantes perante a indisponibilidade da via de evacuação mais direta.

Este cenário permite compreender o impacto do bloqueio de uma saída crítica na eficiência do processo de evacuação, permitindo obter o tempo que os ocupantes demorariam a evacuar mediante estas condições.

Os resultados da simulação podem ser consultados na Tabela 21.

Tabela 21- Dados relativos ao Cenário 14

Cenário 14	
Número de ocupantes	48
<i>Current Door Preference (%)</i>	35
Tempo de Pré Evacuação (s)	60
Tempo Total de Evacuação (s)	144,0

Análise e Melhoria do Processo de Evacuação de um Centro Desportivo

Pela análise da Tabela 21, pode-se concluir que o tempo necessário para a evacuação de todos os ocupantes neste cenário é de 144,0 segundos (2'24").

Ora, este valor apesar de ser relativamente pequeno, quando comparado com o tempo de evacuação obtido no cenário com todos os acessos desbloqueados (Cenário 12), é consideravelmente superior, tendo em conta o tempo total de observação.

Ao serem necessários mais 19 segundos, permite concluir que o bloqueio do acesso ao exterior do edifício pelo piso 0 produz um aumento notório no tempo de escoamento de todos os ocupantes, obrigando a que todos os intervenientes sejam obrigados a descer 2 níveis para encontrar a saída mais próxima.

As diferenças de tempo podem ser consultadas na Tabela 22.

Tabela 22- Comparação de Cenários (12 e 14)

Cenário 12 (Todos os acessos disponíveis)	CDP	Cenário 14 (Saída do Piso 0 bloqueada)
35	35	35
128,3	Tempo Total de Evacuação	144,0
Diferença		
15,7 segundos		

Não só representada pela distância a mais que os ocupantes precisam de percorrer para abandonar o edifício através de um piso inferior, esta diferença de tempo reflete a importância da saída central do piso 0 e a sua posição importante para um rápido acesso ao exterior, permitindo uma evacuação com o mínimo de tempo necessário dentro do pavilhão.

A Figura 72 representa o número de ocupantes ao longo do tempo.

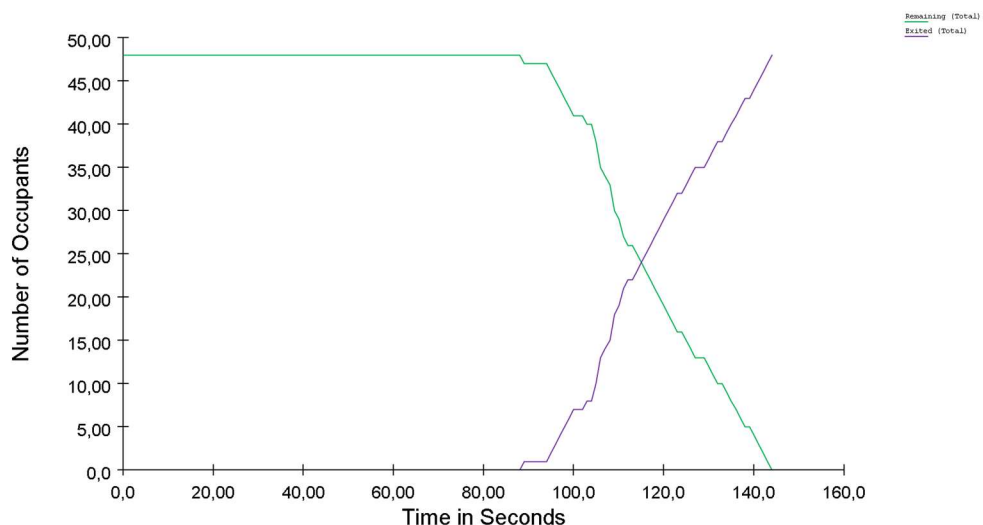


Figura 72- Número de ocupantes presentes ao longo do tempo – Cenário 14

Pela análise da Figura 72, podemos concluir que o primeiro ocupante abandona o pavilhão aos 90 segundos, sensivelmente, e metade dos ocupantes conseguem sair do edifício aos 116 segundos, aproximadamente, sendo necessário mais 28 segundos para a última pessoa a evacuar sair do local.

Trata-se de uma evacuação com uma circulação contínua de saída dos ocupantes, refletindo um processo natural onde não existe nenhuma obstrução considerável que condicione a segurança das pessoas envolvidas.

A Figura 73 representa a taxa de utilização da saída utilizada pelos ocupantes neste cenário.

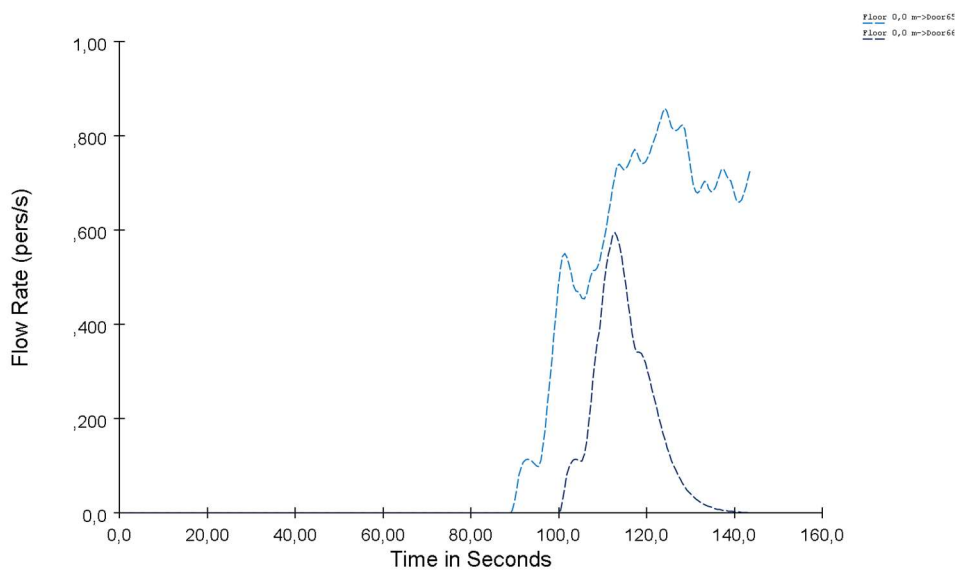


Figura 73- Taxa de utilização das saídas “Door65” e “Door66” – Cenário 14

Pela análise da Figura 73, as únicas saídas utilizadas foram a “Door65” e “Door66” (porta dupla), ambas localizadas no piso -1 do pavilhão, obrigando os 48 ocupantes a utilizarem este piso para evacuação. O pico de passagem dos ocupantes por esta parte ocorreu aos 124 segundos de simulação, aproximadamente.

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo, tendo agora os diversos cenários elaborados e apresentados, procedeu-se à análise e comparação entre os mesmos. Procurou-se discutir os resultados que mais se destacavam entre os 14 cenários, elencando os principais motivos que justificam a duração ou principais dificuldades dos mesmos.

4.1. Apresentação de resultados

De forma a ser possível compreender toda a informação apresentada no capítulo anterior desta dissertação, procedeu-se à elaboração de uma tabela que contivesse todos os dados de cada cenário elaborado, e permitisse numa fase posterior, comparar individualmente os que fossem necessários.

Desta forma, a Tabela 23 procura reunir todos estes dados para um melhor entendimento dos mesmos ao longo do último capítulo.

Tabela 23- Tabela resumo dos cenários elaborados

	Cenários Criados	<i>Current Door Preference (%)</i>	Número de Ocupantes	Tempo Total de Evacuação (s)
Bancada Telescópica	Cenário 1	35	784	285,53
	Cenário 2	70	784	295,8
	Cenário 3	35	784	404,78
Bancada Fixa	Cenário 4	35	961	290,5
	Cenário 5	70	961	293,8
	Cenário 6	35	961	343,03
	Cenário 7	35	961	376,5
	Cenário 8	70	961	348,03
	Cenário 9	35	961	345,0
	Cenário 10	35	961	369,78
Quartos	Cenário 11	70	961	348,5
	Cenário 12	35	48	128,3
	Cenário 13	35	48	134,53
	Cenário 14	35	48	144,0

De todos os cenários criados e simulados, o que apresenta maior duração é o Cenário 3 da bancada telescópica (404,78 segundos), onde apenas estavam disponíveis para evacuação as saídas do lado nascente do pavilhão. Por outro lado, o cenário com menor duração de evacuação é o Cenário 12, dos quartos (128,3 segundos), quando todos os acessos estavam disponíveis.

4.1.1. Bancada Telescópica (Cenários 1 a 3)

Nos três primeiros casos, onde o total de ocupantes é de 784, foram avaliadas situações com todas as saídas disponíveis (Cenários 1 e 2), e com limitações no que diz respeito às saídas do lado nascente do pavilhão (Cenário 3).

Pela análise da Tabela 23, pode-se concluir que entre os dois primeiros cenários, a alteração do valor da variável *Current Door Preference* de 35% para 70%, resultou num ligeiro aumento do valor do tempo total de evacuação necessário para todos os ocupantes abandonarem o pavilhão (aproximadamente 10 segundos).

Ora, esta diferença de valores sugere que, em condições de acessos igual, uma menor flexibilidade no que concerne à possibilidade de alteração de decisões iniciais (portas intermédias, escadas, percursos), associadas à variável CDP, tende a comprometer o processo geral de evacuação, embora de forma pouco expressiva. Por outro lado, e comparando os cenários 1 e 3, a limitação das saídas neste último teve um impacto significativo, com um aumento de mais de 100 segundos.

O Cenário 1 representa o cenário de referência, onde todas as saídas acabam por estar disponíveis para os ocupantes utilizarem, permitindo que o seu comportamento seja flexível e livre. Neste cenário, o tempo total de simulação foi de 285,53 segundos, tal como indicado na Tabela 23. Ora, no 3º cenário, por sua vez, foi introduzida uma restrição significativa à disponibilidade de acessos e saídas, nomeadamente ao lado poente do pavilhão. Os ocupantes apenas tinham disponíveis os acessos do lado nascente do edifício, aumentando o tempo total de simulação para 404,78 segundos, ou seja, uma diferença de mais de 119 segundos, representando um aumento de aproximadamente 42% relativamente ao cenário de referência.

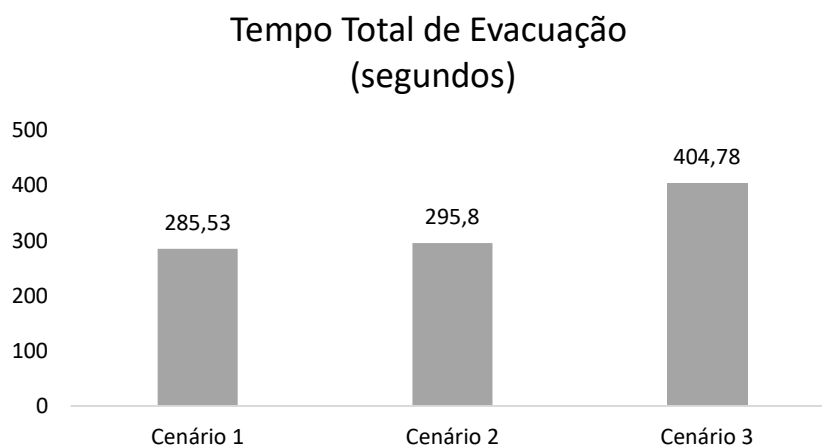


Figura 74- Comparação de Cenários (1,2 e 3)

A Figura 74 acima apresentada evidencia o aumento expressivo do tempo total de evacuação no Cenário 3, quando comparado com os Cenários 1 e 2. A indisponibilidade das saídas do lado poente é responsável por um acréscimo de 119 segundos adicionais, ilustrando de forma clara o impacto das limitações físicas nas rotas de evacuação .

4.1.2. Bancada Fixa (Cenários 4 a 11)

Os Cenários 4 a 11 procuraram representar diferentes combinações possíveis de disponibilidade de saídas e de percursos para os 961 ocupantes destas bancadas quando cheias.

A Figura 75 representa os diversos tempos totais de simulação em cada um dos cenários testados para esta bancada.

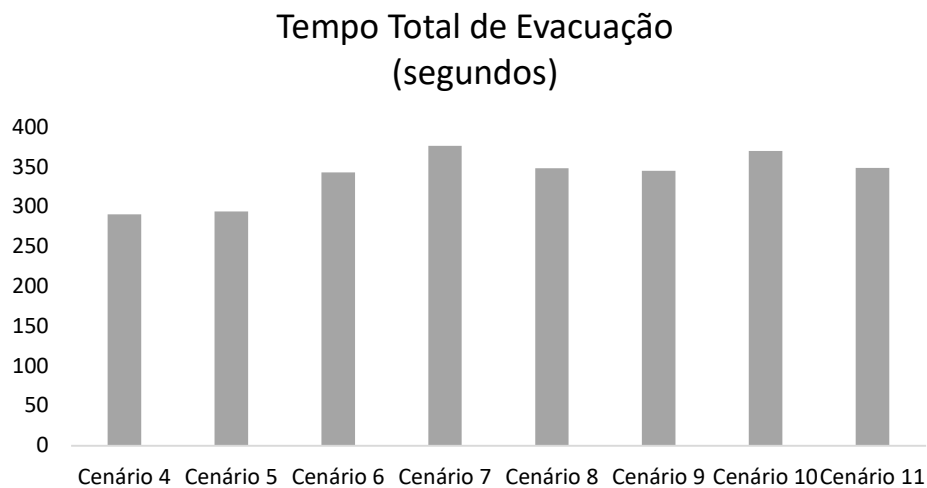


Figura 75- Tempos de evacuação dos Cenários da bancada fixa

Pela análise da Figura 75, os cenários 4 e 5 mostram novamente que o aumento da variável *Current Door Preference* acaba por não trazer alterações significativas, aumentando muito ligeiramente o tempo de evacuação, sugerindo que uma maior dificuldade na alteração do percurso para evacuação, mesmo em grandes grupos, pode resultar em congestionamentos pontuais.

A Tabela 24 procura, para além dos tempos totais de cada cenário, resumir as condições individuais de cada um.

Tabela 24- Condições de cada Cenário da bancada Fixa

Cenário	Disponibilidade de saídas	CDP	Tempo (s)
4	Todas as saídas	35%	290,5
5	Todas as saídas	70%	293,8
6	Lado poente	35%	343,03
7	Lado poente + 1 porta bloqueada	35%	376,5
8	Lado poente	70%	348,03
9	Lado nascente	35%	345
10	Lado nascente + 1 porta bloqueada	35%	369,78
11	Lado nascente	70%	348,5

Abordando os cenários 6, 8, 9 e 11, onde as saídas disponíveis estão restritas apenas a um dos lados do pavilhão, os tempos aumentam de forma perceptível (todos os cenários acima de 340 segundos), elencando a relevância na redução de alternativas de evacuação, uma vez que a limitação de acessos acentua a concentração de ocupantes num único ponto do pavilhão, acabando por favorecer a formação de congestionamentos prolongados.

Estas situações acabam por se tornar ainda mais acentuadas nos cenários 7 e 10, onde, para além da limitação das saídas a um lado do pavilhão, é ainda bloqueada uma parte das portas batentes disponíveis para saída do edifício. Nestas condições específicas, os tempos aproximam-se dos 370 segundos (Tabela 24), demonstrando que o bloqueio parcial das saídas disponíveis para os ocupantes utilizarem, em cenários já limitados, agrava ainda mais a eficácia da evacuação.

Apesar de se verificar um aumento relevante no tempo de evacuação devido ao bloqueio de uma das portas duplas, o facto de existir um acesso alternativo próximo, ainda que localizado noutro piso, demonstra que a presença de opções secundárias de evacuação bem localizadas é essencial para compensar falhas pontuais. Assim, mesmo quando surgem obstáculos que podem atrasar o processo inicial de saída, o sistema de evacuação mantém a capacidade de escoamento adequado, desde que os percursos alternativos não impliquem grandes deslocamentos adicionais ou mudanças significativas no percurso. Este resultado evidencia a importância de garantir percursos acessíveis em diferentes níveis do edifício, para assegurar a segurança dos ocupantes em emergências.

Por outro lado, e comparando cenários com o mesmo perfil de saídas disponíveis, distintos apenas no valor da variável *Currente Door Preference*, os pares 6 e 8, e 9 e 11 revelam diferenças muito pouco significativas no tempo total de evacuação (inferiores a 5 segundos) num universo de mais de 5 minutos de evacuação.

Este resultado reforça uma vez mais, tal como apresentado no subcapítulo anterior, ao comparar os primeiros 3 cenários simulados, que em contextos onde a configuração física do espaço é mais restritiva, não necessariamente pela falta de saídas, mas também pelas dificuldades de escoamento dos ocupantes dentro da própria bancada (escadas e corredores), a variabilidade do comportamento dos ocupantes acaba por ser pouco influente no desempenho global da evacuação.

4.1.3. Quartos (Cenários 12 a 14)

Os três cenários relativos à evacuação dos quartos triplos localizados no último piso do edifício tinham como objetivo avaliar o desempenho do sistema em diferentes condições de acessibilidade, tanto nos acessos verticais como na disponibilidade de saídas. Estes 3 cenários procuraram demonstrar qual seria o comportamento mais aproximado dos ocupantes em ambientes de emergência, procurando simular o mais detalhadamente possível as características reais encaradas em situações do dia a dia, onde a disponibilidade do acesso verticais e obstrução das saídas mais convenientes nem sempre estão disponíveis.

O primeiro cenário deste conjunto (Cenário 12), representa a situação ideal, onde todos os acessos verticais (elevador e escadas) e saídas de emergência encontram-se disponíveis.

A análise do comportamento dos ocupantes no final da simulação, indicou uma clara tendência na utilização da porta de acesso ao exterior mais próxima possível, tendo sido ainda escolhida para facilitar uma evacuação mais eficiente, uma saída no piso -1 por uma pequena parte dos intervenientes (ver Figura 65).

Apesar de estar situada num nível inferior, esta opção demonstra uma capacidade de adaptação eficaz por parte de certos indivíduos, que identificaram neste percurso uma solução favorável e de acesso mais rápido, sem tempos de espera condicionados pelos restantes ocupantes.

No panorama geral, na ausência de restrições físicas, os ocupantes conseguem evacuar de forma rápida, ordenada e logicamente distribuída pelos vários percursos disponíveis. O tempo médio de evacuação, inferior a dois minutos e meio, confirma a eficácia do sistema de escoamento vertical e da articulação entre percursos interiores e saídas exteriores.

No que toca aos Cenários 13 e 14, procurou-se manter um valor da variável *Current Door Preference* fixado no valor padrão de 35%, alterando a disponibilidade de acessos verticais e saídas disponíveis, visto de se tratar de uma simulação com um reduzido número de intervenientes, e o papel da variável ser de pouco destaque.

O Cenário 13 procurou bloquear o acesso às escadas localizadas na parte central do piso 1 que atravessam os 3 níveis distintos do edifício do lado poente, obrigando os ocupantes dos quartos do pavilhão a terem de procurar os caminhos de acesso mais favorável às saídas disponíveis. Ao observar o comportamento dos mesmos na escolha de caminhos e acessos, é possível reparar e destacar a utilização do elevador, embora de forma residual, por parte dos ocupantes dos quartos mais próximos do mesmo, onde na impossibilidade de utilizar as escadas

Resultados e Discussão

centrais, recorreram a este meio para descerem até ao piso -1, deslocando-se posteriormente para a saída de emergência mais próxima desse mesmo nível.

Este padrão reforça a ideia de que, na ausência de obstáculos ou perturbações significativas, os ocupantes seguem percursos diretos e intuitivos, baseados na localização relativa dos meios de evacuação.

Os restantes ocupantes deslocaram-se até às extremidades do corredor dos quartos para, tal como no cenário anterior, utilizarem as escadas disponíveis para evacuem.

Por fim, abordando o último cenário, procurou-se restringir o acesso às saídas para o exterior do pavilhão do piso 0, procurando compreender qual seria o tempo e o comportamento dos ocupantes, ao bloquear o acesso à saída mais utilizada nos cenários anteriores, isto é, a via de evacuação mais direta.

Após a simulação, concluiu-se que mesmo sendo obrigados a descerem até ao último piso do pavilhão, os ocupantes preferiram o acesso pelas escadas em vez do elevador, o que indica que o menor tempo de evacuação nas condições deste cenário seria sem utilizar este acesso vertical, mesmo percorrendo uma maior distância.

Tal pode ser comprovado pela Figura 76, onde é possível verificar que a reta correspondente à taxa de utilização do elevador encontra-se alinhada com o zero de origem, indicando que este não foi utilizado por nenhum ocupante durante os 144 segundos de evacuação.

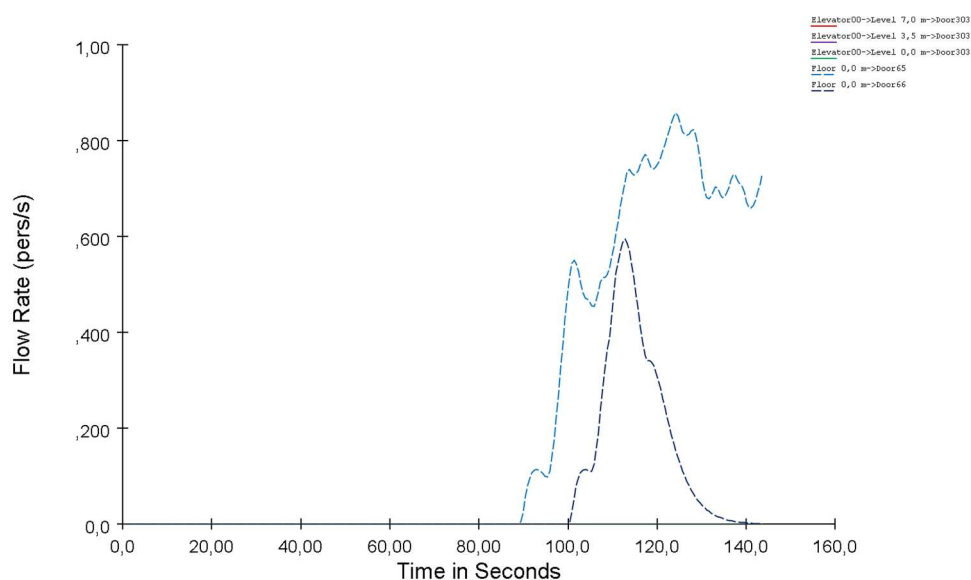


Figura 76- Taxa de utilização dos acessos - Cenário 14

A utilização exclusiva da “Door65” e “Door66”, neste cenário, reforçam a sua importância estratégica como via de evacuação secundária, disponível para garantir o escoamento total dos ocupantes quando as opções superiores se encontram indisponíveis.

A presença de várias opções de percurso, tais como escadas, elevadores e saídas em diferentes pisos, confere ao edifício uma capacidade estrutural adequada, permitindo responder de forma eficaz a diferentes cenários de emergência.

4.2. Discussão de resultados

4.2.1. *Current Door Preference*: Uma análise comparativa de cenários

A análise comparativa entre os cenários com valores de *Current Door Preference* (CDP) fixados em 35% e 70% permitiu obter diferenças de poucos segundos no tempo total de evacuação. Neste capítulo, são discutidos esses mesmos cenários, procurando argumentar e avaliar os seus resultados.

Num primeiro momento trata-se de um resultado pouco expressivo, onde a sua comparação evidencia variações pouco significativas no tempo total de evacuação, particularmente em contextos onde a configuração das saídas é limitada ou existe um percurso adequado para a saída de emergência mais próxima. Nestes casos, a possibilidade de reavaliação da decisão inicial por parte dos ocupantes é pouco relevante, uma vez que não existem alternativas favoráveis que justifiquem a alteração do percurso previamente selecionado. A decisão inicial tende, assim, a prevalecer independentemente do grau da variabilidade do comportamento definido pela variável CDP.

Importa também considerar que, em contextos com tempos de evacuação relativamente longos, como os verificados nestes capítulos anteriores, a influência de variáveis comportamentais tende a dissolver-se ao longo do tempo, dando origem a variações pouco significativas nos resultados. Adicionalmente, verificou-se que, sempre que as saídas disponíveis se encontravam operacionais, o escoamento dos ocupantes decorreu de forma contínua e sem interrupções consideráveis, originando uma evacuação fluida junto às mesmas.

Pequenas variações aconteceram nas portas intermédias que ligavam as divisões (*rooms*), normalmente associadas a corredores mais estreitos ou congestionamentos diversos que acabam por acontecer em locais de maior afluência nas diversas bancadas, e acabam por provocar perdas de tempo (corredores e escadas das próprias bancadas).

Contudo, em cenários onde foi simulada a obstrução parcial de uma saída (nomeadamente, o bloqueio de uma das portas de um acesso duplo - Cenários 7 e 10), verificou-se, uma alteração mais evidente no comportamento dos ocupantes. A redução da largura disponível para a passagem teve um impacto direto na forma como a movimentação dos ocupantes se distribuiu, levando um número significativo de indivíduos a mudar a escolha inicial de saída e a procurar percursos alternativos, incluindo a descida a pisos inferiores. Esta reação demonstra que, perante restrições físicas visíveis e compreendidas, os ocupantes conseguem ajustar a sua decisão de forma racional.

Assim, conclui-se que a variável *Current Door Preference* tem uma influência limitada em contextos onde as condições de evacuação são amplas, bem distribuídas e sem obstáculos relevantes. No entanto, a sua importância torna-se mais evidente quando surgem alterações

físicas ou bloqueios pontuais, situações em que é exigida uma reavaliação ativa do percurso por parte dos ocupantes.

4.2.2. Geometria e distribuição de acessos

A análise dos diversos cenários simulados revelou que os tempos totais de evacuação não são determinados apenas pela quantidade ou localização das saídas do edifício, mas de uma relação direta entre a configuração do espaço em si e a movimentação interna dos ocupantes. Embora a restrição de saídas disponíveis se traduza num aumento dos tempos de evacuação, tal como demonstrado nos cenários em que apenas um dos lados do edifício se encontra disponível, esta variável não explica, por si só, a totalidade das variações observadas entre os cenários.

Para além disso, os dados sugerem que grande parte dos congestionamentos ocorre numa fase inicial da evacuação, particularmente durante o processo de saída dos ocupantes a partir das bancadas, tanto na bancada telescópica como na fixa (ver Figuras 77 e 78).



Figura 77- Congestionamentos na Bancada Telescópica



Figura 78- Congestionamentos na Bancada Fixa

Neste sentido, torna-se evidente que a capacidade e disposição das escadas, passagens e corredores localizados no interior das bancadas desempenha um papel fundamental na eficácia da evacuação, independentemente da configuração externa das saídas.

Nos cenários com bancadas fixas, por exemplo, foi possível observar que o escoamento vertical, ou seja, a descida dos ocupantes até ao nível das saídas, representa um dos principais pontos de estrangulamento, com a formação de filas e atrasos significativos mesmo em situações onde que todas as saídas do edifício estavam disponíveis (Cenários 4 e 5). De forma semelhante, nos cenários com a bancada telescópica, embora com uma menor influência, também se verificaram grandes grupos na zona das escadas e passagens inferiores, que atrasaram naturalmente o percurso dos ocupantes até aos pontos de saída.

Consequentemente, mesmo nos cenários em que os ocupantes apresentavam um valor mais reduzido de variável *Current Door Preference*, essa capacidade de adaptação revelou-se pouco eficaz na melhoria do tempo total de evacuação, na medida em que as limitações estruturais internas impossibilitavam a alteração do percurso inicialmente escolhido.

Por outras palavras, nas situações onde existem poucas opções de saída, a própria estrutura do pavilhão limita bastante a própria evacuação. Mesmo que as pessoas estejam dispostas a mudar de caminho e a procurar outras alternativas, essa mudança acaba por não ter grande impacto, pois as opções disponíveis são reduzidas.

Ainda que o número absoluto de saídas disponíveis no edifício possa parecer reduzido, a sua distribuição funcional e capacidade de escoamento revelaram-se adequadas à dimensão do público simulado, desde que não existam obstáculos estruturais no percurso até às mesmas.

Neste sentido, a análise indica que as principais limitações à evacuação não decorrem da escassez de saídas para o exterior, mas sim dos problemas no interior das bancadas, como escadas estreitas e corredores congestionados, que dificultam a deslocação dos ocupantes ainda antes de chegarem às saídas.

Embora os congestionamentos iniciais nas bancadas se revelem inevitáveis em contextos com elevada ocupação, como no caso das bancadas fixas e telescópica deste pavilhão, a existência de saídas bem distribuídas e funcionais permite que, uma vez superados esses pontos críticos, a evacuação prossiga de forma rápida e ordenada. Desta forma, qualquer estratégia com o objetivo de reduzir os tempos simulados nos cenários elaborados deve dar prioridade em melhorar as zonas de circulação dentro do edifício mesmo antes de chegar à zona de localização das saídas.

Resultados e Discussão

5. Conclusão

5.1. Conclusões finais

A presente dissertação permitiu uma análise aprofundada do processo de evacuação do Centro de Alto Rendimento de Anadia, com o objetivo de identificar e analisar melhorias que contribuíssem para a segurança e a eficácia em cenários de emergência. Através de simulações com recurso ao software *PathFinder*, foram explorados múltiplos cenários de ocupação, incluindo eventos desportivos de grande afluência e a utilização das áreas destinadas aos atletas.

A investigação realçou a importância central da configuração física do espaço e da distribuição das saídas para o sucesso da evacuação. Os resultados obtidos demonstraram que, nos cenários base, Cenário 1 (285,53 segundos) para competições de ginástica, judo e esgrima, Cenário 4 (290,5 segundos) para a bancada fixa durante as provas de ciclismo e Cenário 12 (128,3 segundos) para os quartos, a evacuação decorre, no panorama geral, de forma fluente e eficaz sempre que todas as saídas estão disponíveis e funcionais, mesmo em situações de elevada ocupação.

No entanto, a análise comparativa de cenários revelou que a variável *Current Door Preference* (CDP), que representa a flexibilidade comportamental dos ocupantes na escolha da saída durante a evacuação, exerceu um impacto residual nos tempos totais de evacuação em condições normais. As variações registadas entre valores de CDP de 35% e 70% foram de poucos segundos, destacando que, quando as condições de circulação interna e a distribuição de saídas são adequadas, as decisões individuais dos ocupantes não comprometem significativamente o processo global de evacuação. A sua influência poderá tornar-se mais significativa em cenários com obstruções parciais, maior densidade de ocupação, ou em ambientes onde a familiaridade dos ocupantes com o espaço é reduzida.

Por outro lado, verificou-se que as maiores limitações à evacuação não resultam da falta de saídas para o exterior, mas sim da configuração interna do edifício. Escadas estreitas e corredores congestionados na bancada fixa e telescópica representaram pontos críticos que atrasaram a mobilidade dos ocupantes, independentemente da disponibilidade total de saídas. Estas dificuldades iniciais, contudo, não impediram a evacuação completa e segura, uma vez que, ultrapassados esses constrangimentos, o percurso final até às saídas decorreu de forma contínua e ordenada.

Relativamente aos cenários dos quartos, observou-se que a evacuação foi naturalmente mais direta, resultado da menor densidade de ocupação e de uma melhor acessibilidade às saídas, mesmo quando surgiram restrições pontuais como bloqueios de portas ou utilização limitada do elevador disponível. Este resultado demonstra a importância da existência de percursos alternativos por outros pisos e acessos ao longo do edifício, de forma a garantir a

capacidade de evacuação em tempos aceitáveis em situações de alterações nos caminhos e saídas disponíveis.

Os dados, análises e comentários realizados ao longo desta dissertação permitiram concluir que o Centro de Alto Rendimento de Anadia, apesar das limitações identificadas ao nível das zonas de circulação interna, nomeadamente na parte interna das bancadas, apresenta, de um modo geral, boas características para assegurar evacuações bem executadas.

Em condições onde as saídas se encontram totalmente disponíveis e com toda a sua largura funcional, a circulação é feita de forma contínua, sem interrupções significativas. Uma vez ultrapassadas as dificuldades iniciais, o pavilhão possui condições de evacuação bem distribuídas e que rapidamente permitem a alteração do percurso original, mesmo em situações de grande afluência. A identificação de zonas críticas, bem como a caracterização dos comportamentos e tempos dos ocupantes nos cenários elaborados, constitui um contributo direto para a segurança e otimização possível do espaço, ao fornecer dados que poderão apoiar futuras intervenções e atualizações de planos de evacuação deste complexo desportivo.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

Ao longo desta dissertação, foram enfrentadas algumas dificuldades, nomeadamente no que diz respeito à introdução e manipulação das plantas no software utilizado, bem como com a definição de cenários realistas de ocupação que pudessem abranger a diversidade de modalidades e utilizações do CAR de Anadia.

Ainda assim, esta dissertação representa um contributo importante para o reforço das condições de segurança e evacuação no CAR de Anadia. Para além de descrever de forma pormenorizada os pontos críticos existentes, apresenta recomendações fundamentadas para futuras intervenções, que incluem a identificação das zonas mais vulneráveis durante as evacuações e a disponibilização de dados relativos aos comportamentos e aos tempos expectáveis que as pessoas poderão adotar nos cenários mais prováveis de ocorrência no contexto real. Contudo, considera-se pertinente a realização de simulações com a inclusão de variáveis comportamentais mais avançadas, como a influência do pânico ou a mobilidade condicionada de certos grupos. Sugere-se ainda a realização de trabalhos que explorem cenários de evacuação adicionais, nomeadamente em situações de eventos de maior dimensão ou em contextos de múltiplas utilizações simultâneas das instalações.

Do ponto de vista prático, a dissertação representa um valor acrescentado para o CAR de Anadia, ao disponibilizar dados concretos e objetivos que podem orientar decisões de gestão e de investimento em segurança. Para além disso, contribui para consolidar uma cultura de prevenção e preparação para emergências, reforçando a confiança do público e entidades responsáveis pela operação e manutenção do recinto.

Referências

- Acosta-Pazmiño, I., Rivera-Solorio, C., & Gijón-Rivera, M. (2020). Energetic and economic analyses of an LCPV/T solar hybrid plant for a sports center building in Mexico. *Energies*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/en13215681>
- Alves, J., Lima, T. M., & Gaspar, P. D. (2023). Is Industry 5.0 a Human-Centred Approach? A Systematic Review. *Processes*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/pr11010193>
- Bouquet, P., Molinari, A., Bortolan, L., Dal Pra, A., Bezzi, G., & Vettorato, S. (2022). A cloud-based management system for a data infrastructure in four winter sport facilities. 2022 IEEE International Workshop on Sport, Technology and Research, STAR 2022 - Proceedings, 94–99. <https://doi.org/10.1109/STAR53492.2022.9859651>
- Bourhim, E. M., & Cherkaoui, A. (2020). Efficacy of Virtual Reality for Studying People's Pre-evacuation Behavior under Fire. *International Journal of Human Computer Studies*, 142, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102484>
- Chang, K., Wu, Y., & Ke, S. (2022). A simulation-based decision support tool for dynamic post-disaster pedestrian evacuation. *Decision Support Systems*, 157(February), 113743. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2022.113743>
- Chen, J., Shi, T., & Li, N. (2021). Pedestrian evacuation simulation in indoor emergency situations: Approaches, models and tools. *Safety Science*, 142(June), 105378. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105378>
- Cordeiro, C. C. M., & Marchetto, M. (2016). Plano de Evacuação em Edifícios Residenciais para Casos de Incêndio. *E&S Engineering and Science*, 5(2), 42–53. <https://doi.org/10.18607/es201654348>
- Crainic, T. G., Perboli, G., & Rosano, M. (2018). Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy. *European Journal of Operational Research*, 270(2), 401–418. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.061>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204(December 2017), 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers and Industrial Engineering*, 149(September), 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>

Referências

- Deng, C., & Tang, Z. (2020). Historical Opportunity and Structural Transformation of Sports Industry Development under the Background of New Information Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1575(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1575/1/012170>
- Devitama, F. F., Xinjie, L., Luziani, S., & Paramita, B. (2020). Implementation of Smart Water Grid System as a Green Technology n Gedebage Sports Centre, Bandung City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 477(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/477/1/012007>
- Ding, N., Chen, T., Zhu, Y., & Lu, Y. (2021). State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 561, 125168. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125168>
- Elnour, M., Fadli, F., Himeur, Y., Petri, I., Rezgui, Y., Meskin, N., & Ahmad, A. M. (2022). Performance and energy optimization of building automation and management systems: Towards smart sustainable carbon-neutral sports facilities. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 162). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112401>
- Elnour, M., Himeur, Y., Fadli, F., Mohammedsherif, H., Meskin, N., Ahmad, A. M., Petri, I., Rezgui, Y., & Hodorog, A. (2022). Neural network-based model predictive control system for optimizing building automation and management systems of sports facilities. *Applied Energy*, 318(May), 119153. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119153>
- Esmailian, B., Behdad, S., & Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 39, 79–100. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001>
- Fantozzi, F., & Lamberti, G. (2019). Determination of thermal comfort in indoor sport facilities located in moderate environments: An overview. In *Atmosphere* (Vol. 10, Issue 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/atmos10120769>
- Fundação do Desporto. (2018). Centro de Alto Rendimento de Anadia. <https://fundacaodesporto.pt/centro-alto-rendimento/centro-de-alto-rendimento-de-anadia/>
- Gai, W. mei, Du, Y., & Deng, Y. feng. (2018). Evacuation risk assessment of regional evacuation for major accidents and its application in emergency planning: A case study. *Safety Science*, 106(February), 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.03.021>
- Gaziero, C., & Cecconello, I. (2019). Simulação Computacional do Fluxo de Valor: uma proposta de Integração da Indústria 4.0 e Lean Production. *Scientia Cum Industria*, 7(2), 52–67. <https://doi.org/10.18226/23185279.v7iss2p52>

Referências

- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Guo, Y., Zhu, J., Wang, Y., Chai, J., Li, W., Fu, L., Xu, B., & Gong, Y. (2020). A virtual reality simulation method for crowd evacuation in a multiexit indoor fire environment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/ijgi9120750>
- Haghani, M. (2020). Optimising crowd evacuations: Mathematical, architectural and behavioural approaches. *Safety Science*, 128(February), 104745. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104745>
- Highsportugal. (2019). Centro de Alto Rendimento da Anadia. <https://highsportugal.pt/pt-pt/high-performance-sport-center/centro-de-alto-rendimento-da-anadia/>
- Hutchins, B., & Andrejevic, M. (2021). Olympian Surveillance: Sports Stadiums and the Normalization of Biometric Monitoring. In *International Journal of Communication* (Vol. 15). <http://ijoc.org>.
- Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, 61(5), 1683–1695. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892>
- Kako, M., Steenkamp, M., Ryan, B., Arbon, P., & Takada, Y. (2020). Best practice for evacuation centres accommodating vulnerable populations: A literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46(July 2019), 101497. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101497>
- Kardi Teknomo, Teknomo, K., Kardi Teknomo, & Dissertation, D. (2002). Microscopic Pedestrian Flow Characteristics : Development of an Image Processing Data Collection and Simulation Model Department of Human Social Information Sciences. *Database, March*. <http://arxiv.org/abs/1610.00029>
- Khairul, A. S. T., Norzaimi Che Ani, M., Kamal Ismail, A., Riduan Ibrahim, M., Shamsuddin, K., Ani, M., Ismail, A., & Ibrahim, M. (2015). Investigation the Safety, Health and Environment (SHE) Protection in Construction Area. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2(6), 624–636. www.irjet.net
- Kinateder, M., & Warren, W. H. (2021). Exit choice during evacuation is influenced by both the size and proportion of the egressing crowd. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 569, 125746. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.125746>
- Lei n. o 39/2009, de 30 de julho: Assembleia da República. (2009). Diário da República n.o 146/2009, Série I de 2009-07-30, páginas 4876 – 4886. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/39-2009-493201>

Referências

- Lei n.o 3/2014: Assembleia da República. (2014). Diário da República n.o 19/2014, Série I de 2014-01-28, páginas 554 – 591. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/3-2014-571052>
- Lei n.o 40/2023: Assembleia da República. (2023). Diário da República n.o 155/2023, Série I de 2023-08-10, páginas 2 – 66. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/40-2023-217571940>
- Liebermann, D. G., Katz, L., Hughes, M. D., Bartlett, R. M., McClements, J., & Franks, I. M. (2002). Advances in the application of information technology to sport performance. In *Journal of Sports Sciences* (Vol. 20, Issue 10, pp. 755–769). <https://doi.org/10.1080/026404102320675611>
- Liu, H., & Wang, Y. (2022). *Research on Monitoring of Gymnastics Facilities and Intelligent Optimal Distribution of Gymnastics Venues Based on Internet of Things. 2022*. <https://doi.org/10.1155/2022/6164448>
- Lovreglio, R., Ronchi, E., & Borri, D. (2014). The validation of evacuation simulation models through the analysis of behavioural uncertainty. *Reliability Engineering and System Safety*, 131(November), 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.res.2014.07.007>
- Lu, T., Wang, S., Wang, A., Luo, L., Li, W., & Wang, M. (2021). High-quality construction technology of steel structure of Hubei Olympic Sports Center Complex. *2021 7th International Conference on Hydraulic and Civil Engineering and Smart Water Conservancy and Intelligent Disaster Reduction Forum, ICHCE and SWIDR 2021*, 784–789. <https://doi.org/10.1109/ICHCESWIDR54323.2021.9656208>
- Lugert, A., Batz, A., & Winkler, H. (2018). Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(5), 886–906. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2017-0236>
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., B, P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26(February 2021), 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
- Mao, Y., Fan, X., Fan, Z., & He, W. (2019). Modeling Group Structures with Emotion in Crowd Evacuation. *IEEE Access*, 7, 140010–140021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2943603>
- Mourtzis, D. (2020). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*, 58(7), 1927–1949. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636321>
- Müller, J. (2020). *Enabling Technologies for Results of a workshop with Europe 's technology leaders* (Issue September). <https://doi.org/10.2777/082634>

Referências

- Muñoz, J. N., Manzanares, F. V., & Gonçalves, M. M. (2020). BIM approach to modeling a sports pavilion for university use. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(24), 1–18. <https://doi.org/10.3390/app10248895>
- Neagoe, M., Hvolby, H. H., Taskhiri, M. S., & Turner, P. (2021). Using discrete-event simulation to compare congestion management initiatives at a port terminal. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *112*(June), 102362. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102362>
- Novellino, C., de Falco, M., & Di Stasi, D. (2016). Sports Facility Safety Plans: A Framework for Evaluation of Evacuation Times. *American Journal of Sports Science*, *4*(4), 69. <https://doi.org/10.11648/j.ajss.20160404.12>
- Orunbayev, A. (2023). *USING TECHNOLOGY IN A SPORTS ENVIRONMENT*. *03*(12), 189–200.
- Othman, Z., Samah, K. A. F. A., Zain, N. H. M., & Zulkifli, A. F. (2023). Optimizing Sports Center Recommendation System in Malaysia Through Content-Based Filtering Technique and Web Application. *2023 IEEE 14th Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2023 - Conference Proceeding*, 69–74. <https://doi.org/10.1109/ICSGRC57744.2023.10215432>
- Paula, W. De, Armellini, F., & Santa-eulalia, L. A. De. (2020). Computers & Industrial Engineering Simulation in industry 4 . 0 : A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, *149*(September), 106868. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Peng, S., & Zhou, Y. (2022). Allocation and Optimization of Public Sports Facilities Resources in International Tourist Cities Based on Fuzzy Multicriteria Decision-Making Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, *2022*. <https://doi.org/10.1155/2022/5947769>
- Portaria no 1522/2002: Ministério da Administração Interna e Presidência do Conselho de Ministros. (2002). Diário da República n.o 294/2002, 2o Suplemento, Série I-B de 2002-12-20, páginas 8-10
- Portaria no 1532/2008: Ministério da Administração Interna. (2008). Diário da República n.o 250/2008, Série I de 2008-12-29, páginas 9050 – 9127. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/1532-2008-444380>
- Portaria no 135/2020 Administração Interna. (2020). Diário da República n.o 107/2020, Série I de 2020-06-02, páginas 2 – 214. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/135-2020-134991810>
- Rabe, M., Clausen, U., Klueter, A., & Poeting, M. (2016). An approach for modeling collaborative route planning in supply chain simulation. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, *0*, 2228–2238. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822264>

Referências

- Rosmaninho, R. (2022). *Velódromo Nacional (Centro de Alto Rendimento de Anadia)*. Obtido de Arquiteto Rui Rosmaninho: <https://www.arquitetoruimosmaninho.pt/portfolio/velodromo-nacional-centro-de-alto-rendimento-de-anadia/>
- Şahin, C., Rokne, J., & Alhadj, R. (2019). Human behavior modeling for simulating evacuation of buildings during emergencies. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 528, 121432. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121432>
- Salam, M. A., & Khan, S. A. (2016). Simulation based decision support system for optimization: A case of Thai logistics service provider. *Industrial Management and Data Systems*, 116(2), 236–254. <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2015-0192>
- Salas-Navarro, K., Bustamante-Salazar, A., Romero-Lambrano, T., Ospina-Mateus, H., Acevedo-Chedid, J., & Sankar Sana, S. (2024). A discrete-event simulation model with a collaborative and lean logistic approach application to a dairy industry. In *Opsearch* (Issue 0123456789). Springer India. <https://doi.org/10.1007/s12597-024-00863-0>
- Suresh, A., Salis, J. P., & Shailesh, K. R. (2019). Lighting optimization to save energy in an indoor sports facility. *2019 2nd International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms, ICACCP 2019*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICACCP.2019.8883019>
- Szulc, J., Cichowicz, R., Gutarowski, M., Okrasa, M., & Gutarowska, B. (2023). Assessment of Dust, Chemical, Microbiological Pollutions and Microclimatic Parameters of Indoor Air in Sports Facilities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph20021551>
- Takabatake, T., Han, D. C., Esteban, M., & Shibayama, T. (2023). Three-Dimensional Physical Modeling of Landslide-Generated Tsunamis. *Coastal Engineering Proceedings*, 37, 37. <https://doi.org/10.9753/icce.v37.management.37>
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9–12), 3563–3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- Trigueiro, W., Junior, D. S., Arnaldo, J., Montevechi, B., Carvalho, R. De, & Teberga, A. (2019). Computers & Industrial Engineering Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems : A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 128(December 2018), 526–540. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.12.073>
- Tsai, I. C. (2024). A wise investment by urban governments: Evidence from intelligent sports facilities. *Journal of Asian Economics*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2024.101730>

Referências

- Ullah, M. R., Molla, S., Md Siddique, I., Ahmed Siddique, A., & Abedin, Md. M. (2023). Manufacturing Excellence Using Line Balancing & Optimization Tools: A Simulation-based Deep Framework. *Journal of Modern Thermodynamics in Mechanical System*, 5(3), 8–22. <https://doi.org/10.46610/jmtms.2023.v05i03.002>
- Wang, K., Herrando, M., Pantaleo, A. M., & Markides, C. N. (2019). Thermoeconomic assessment of a PV/T combined heating and power system for University Sport Centre of Bari. *Energy Procedia*, 158, 1229–1234. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.312>
- Wang, Y., Kyriakidis, M., & Dang, V. N. (2021). Incorporating human factors in emergency evacuation – An overview of behavioral factors and models. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 102254. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102254>
- Xiao, M., Zhou, X., Pan, X., Wang, Y., Wang, J., Li, X., Sun, Y., & Wang, Y. (2022). Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings. *Scientific Reports*, 12(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06211-w>
- Xie, R., Zlatanova, S., & Lee, J. (2022). 3D indoor environments in pedestrian evacuation simulations. *Automation in Construction*, 144(September), 104593. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104593>
- Yang, C., & Cole, C. L. (2022). Smart Stadium as a Laboratory of Innovation: Technology, Sport, and Datafied Normalization of the Fans. *Communication and Sport*, 10(2), 374–389. <https://doi.org/10.1177/2167479520943579>
- Zhou, J., Guo, Y., Dong, S., Zhang, M., & Mao, T. (2019). Simulation of pedestrian evacuation route choice using social force model in large-scale public space: Comparison of five evacuation strategies. *PLoS ONE*, 14(9), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221872>
- Zhu, Y., Chen, T., Ding, N., Chraibi, M., & Fan, W. C. (2020). Follow the evacuation signs or surrounding people during building evacuation, an experimental study. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 560(2017), 125156. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125156>

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: Guilherme Afonso Campos

ISEP, Porto, 9 de junho de 2025