



ANÁLISE E MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM PAVILHÃO DESPORTIVO USANDO SIMULAÇÃO

HENRIQUE DE SÁ FARIA

julho de 2024

Análise e Melhoria da Evacuação de um Pavilhão Desportivo usando Simulação

Henrique de Sá Faria

**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

Co-orientador: Professora Doutora Elga Cristina Vilela Viana Pereira da Costa

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Rafaela Carla Barros Casais, Professor Adjunto Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto]

Vogais:

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

Professora Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora Auxiliar, Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo, Universidade de Aveiro.

Porto, julho, 2024

Dedicatória

Ao Futebol Clube do Porto, pela oportunidade de realizar o projeto de dissertação no Dragão Caixa.

Aos principais responsáveis pela segurança do Estádio do Dragão, Sr. Carlos Carvalho e Sr. Damásio Teixeira, por toda a ajuda e disponibilidade ao longo do meu percurso.

Ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pela orientação constante e pela disponibilidade para ajudar durante esta etapa tão importante na minha vida académica. À Professora Doutora Elga Costa, da Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Porto, pela coorientação prestada durante a dissertação.

Agradeço profundamente aos meus pais e irmã, pelo apoio incondicional e pela motivação constante em todas as fases da minha vida. A sua dedicação e esforço foi essencial neste projeto.

À minha família que me faz tornar sempre a melhor pessoa possível tanto a nível pessoal como a nível académico, sempre a motivar em todas as situações, para nunca desistir dos meus objetivos.

Aos meus amigos e namorada pelo apoio e motivação ao longo deste percurso. A amizade e incentivo foram fundamentais para a concretização de mais uma etapa.

Resumo

Reconhecendo que o tempo total de evacuação é fundamental para a segurança de qualquer recinto desportivo, é vital assegurar a proteção de todos os adeptos em situações de catástrofes naturais, condições climáticas adversas, falhas mecânicas ou erros humanos. Para isso, é imprescindível um plano de evacuação de emergência que permita a saída rápida e segura de todos os ocupantes.

O objetivo desta dissertação de mestrado é analisar e aprimorar o processo de evacuação do Dragão Caixa, o pavilhão oficial do Futebol Clube do Porto. Para isso, foi desenvolvido um modelo de simulação computacional do Dragão Arena utilizando o software PathFinder. Este modelo permitiu estudar e analisar 6 cenários diferentes de evacuação. No final, os cenários foram comparados com base nos tempos totais de evacuação da arena.

A partir desta dissertação, concluiu-se que o tempo necessário para a evacuação total do Dragão Caixa, com capacidade para cerca de 1993 pessoas, é respetivamente de 420,3 e 735,8 segundos (7,01 e 12,26 minutos) para uma velocidade de deslocamento dos espectadores de 1,6 e 1,2 m/s. Por outro lado, conclui-se que o percurso de cada adepto e a distribuição dos mesmos pelas diversas saídas influencia significativamente os tempos totais de evacuação.

Palavras-chave: Simulação computacional, Evacuação, Pavilhão desportivo

Abstract

Recognizing that the total evacuation time is fundamental to the safety of any ship, it is vital to ensure the protection of crew and passengers in situations of natural disasters, adverse weather conditions, mechanical failures or human error. To this end, an emergency evacuation plan that allows all occupants to leave quickly and safely is essential.

The aim of this master's thesis is to analyze and improve the evacuation process at Dragão Caixa, the official pavilion of Futebol Clube do Porto. To this end, a computer simulation model of the Dragão Arena was developed using PathFinder software. This model made it possible to study and analyze 6 different evacuation scenarios. In the end, the scenarios were compared based on the total evacuation times of the arena.

From this dissertation, it was concluded that the time required for the total evacuation of the Dragão Caixa, with a capacity of around 1993 people, is 420.3 and 735.8 seconds respectively (7.01 and 12.26 minutes) for a spectator movement speed of 1.6 and 1.2 m/s. On the other hand, it can be concluded that the route taken by each fan and their distribution among the various exits has a considerable influence on total evacuation times.

KEYWORDS: PathFinder, Computer simulation, Evacuation, Sports hall

Índice

Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xiv
Acrónimos e Símbolos.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do Trabalho	1
1.2. Objetivos do Trabalho	2
1.3. Metodologia de Investigação	2
1.4. Apresentação da empresa Futebol clube do Porto.....	2
1.5. Conteúdo e Organização da Dissertação	3
2. Fundamentação Teórica e Revisão da Literatura	5
2.1. A Importância da Segurança nos Eventos Desportivos.....	5
2.2. O Papel dos Sistemas de Apoio à Decisão para a Melhoria da Evacuação	6
2.3. Evacuação de Eventos Desportivos – Casos de Estudo.....	7
2.4. Evacuação de Pavilhões Desportivos	12
2.4.1. Fatores	12
2.4.2. Evacuação de Pavilhões desportivos – Tempos de Evacuação.....	13
2.5. Evacuação de Recintos Desportivos – Legislação	15
3. Estratégias de Evacuação num Pavilhão Desportivo	19
3.1. Dragão Caixa.....	19
3.2. Configurações do Dragão Caixa.....	20
3.2.1. Planta Piso -1.....	21
3.2.2. Planta Piso 0.....	22
3.2.3. Planta Piso 1.....	23
3.3. Estudo da Simulação	24
3.3.1. Modelo Computacional	24
3.3.2. Validação do Modelo de Simulação.....	35
3.4. Análises de Estratégias de Evacuação	36
3.4.1. Cenário 1 – Todas as saídas disponíveis	37
3.4.2. Cenário 2 – Adeptos das bancadas saem pelas Portadas Sul enquanto os restantes membros pelas saídas mais próximas.....	38
3.4.3. Cenário 3 – Todos saem pela zona sul do pavilhão	40
3.4.4. Cenário 4 – Todos os ocupantes saem pela zona Norte do pavilhão	42
3.4.5. Cenário 5 – Todos saem pela zona Sul do pavilhão	43
3.4.6. Cenário 6 – Todos ocupantes saem pelas Portas Nascente	46
4. Resultados e Discussão	49

4.1. Apresentação de resultados.....	49
5. Conclusão	51
5.1. Conclusões finais	51
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	52
5.3. Dificuldades Sentidas	52
5.4. Limitações e Investigação Futura	52
Referências.....	53
Declaração de Integridade	59

Lista de Figuras

Figura 1 - Sede Futebol Clube do Porto (F.C.P. - Clube - Estádio do Dragão, nd)	3
Figura 2 - Largura mínima das saídas são regulamentados por legislação (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)	17
Figura 3 - Vista do Dragão Arena (Google Maps,2024).....	19
Figura 4 - Planta Dragão Caixa (FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão, n.d.-b).....	20
Figura 5 - Figura Planta piso -1.....	21
Figura 6 - Figura Planta piso 0.....	22
Figura 7 - Figura Planta piso 1.....	23
Figura 8 - Foyer VIP	24
Figura 9 - Representação da planta não editada no AutoCAD.....	25
Figura 10 - Representação da planta editada no AutoCAD	25
Figura 11 - Pavilhão modelado no Pathfinfer	26
Figura 12 - Pavilhão modelado no Pathfinfer	26
Figura 13 - Pavilhão modelado no Pathfinfer	26
Figura 14 - Interface Pathfinder	27
Figura 15 - Método de importação de ficheiros	27
Figura 16 - Desenho da zona Norte da planta do Piso 0.....	28
Figura 17 - Bancada do Dragão Caixa.....	29
Figura 18 - Diferentes planos criados.....	29
Figura 19 - Representação das diferentes portas	30
Figura 20 - Etapas a seguir para acrescentar rampas	30
Figura 21 - Etapas para acrescentar escadas	31
Figura 22 - Exemplos de obstáculos desenhados no software	31
Figura 23 - Exemplos de obstáculos na saída da arena.....	32
Figura 24 - Exemplos de obstáculos na saída da arena.....	32
Figura 25 - Detalhes do perfil "PSP"	33
Figura 26 - Escadas de acesso aos setores 7 e 8	33
Figura 27 - Tempos de espera imposta para o Behavior "PSP"	34
Figura 28 - Lista dos Occupants.....	34
Figura 29 - Detalhes de um dos ocupantes do setor	35
Figura 30 - Distribuição Normal representada no Pathfinder.....	36
Figura 31 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade media 1,4m/s.....	38
Figura 32 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade media 1,4m/s.....	39
Figura 33 - Representação do fluxo de pessoas.....	40
Figura 34 - Representação gráfica para o caudal de pessoas nas escadas selecionadas.....	41
Figura 35 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade media 1,4m/s.....	41
Figura 36 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade media 1,4m/s.....	43
Figura 37 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade media 1,4m/s.....	44
Figura 38 - Representação gráfica para o caudal de pessoas nas escadas selecionada	45
Figura 39 - Representação do fluxo de pessoas.....	45

Figura 40 - Representação do fluxo de pessoas.....	46
Figura 41 - Evolução do número de adeptos – velocidade média 1,2 m/s.....	47

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos.....	7
Tabela 2 - Estimativas de pré-movimentação em situação de incêndio (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)	14
Tabela 3 - Estimativas de pré-movimentação em situação de incêndio (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)	16
Tabela 4 - Número de saídas de emergência, largura mínima em função UP, (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)	17
Tabela 5 - Número de ocupantes Dragão Caixa por setor	21
Tabela 6 - Simulação Real vs Simulação Computacional	35
Tabela 7 - Estudo de tempos para o cenário 1.....	37
Tabela 8 - Estudo de tempos para o cenário 2.....	39
Tabela 9 - Estudo de tempos para o cenário 3.....	40
Tabela 10 - Estudo de tempos para o cenário 4	42
Tabela 11 - Estudo de tempos para o cenário 5	44
Tabela 12 - Estudo de tempos para o cenário 6	46
Tabela 13 - Estudo de tempos para todos os cenários	49

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
F.C.P.	Futebol Clube do Porto

1. Introdução

Neste capítulo, situamos o projeto, explorando o problema que está a ser investigado destacando sua relevância. Em seguida, apresentamos a pergunta central e os objetivos da pesquisa, discutindo as escolhas metodológicas e delineando o plano que fundamenta este projeto. Por último, oferecemos uma visão geral da organização do trabalho.

1.1. Enquadramento do Trabalho

A elaboração de rotas de evacuação revela-se crucial em estruturas de grande envergadura, como estádios, auditórios, aeroportos, sistemas de transporte metropolitano e arranha-céus. A complexidade desse desafio tem aumentado progressivamente devido ao rápido avanço das atividades humanas (Xie et al, 2017).

O recinto desportivo, enquanto espaço caracterizado por uma elevada densidade populacional, impõe consideráveis requisitos em termos de segurança, além da necessidade de atender às exigências próprias das competições. (Yi, 2011). Assim sendo, a desocupação dos estádios em situações de emergência, visando preservar uma rota de evacuação segura, configura-se não apenas como uma imperativa imposta pelas autoridades governamentais e pelo público (Wei et al, 2009).

Resultados imediatos provenientes das simulações de evacuação são viabilizados pela aplicação de sistemas em tempo real. Tais resultados revelam-se úteis para antecipar o plano ótimo em cenários de emergência, respaldados por uma confiabilidade calculada. Contudo, pesquisadores e profissionais expressam apreensões acerca da confiabilidade inerente à modelagem e simulações, uma vez que os cálculos são executados em ambientes virtuais, diferindo das condições imprevisíveis que podem ocorrer no mundo real. Nesse sentido, torna-se imperativo conduzir observações, estudos, comparações e análises a fim de calibrar os resultados provenientes da modelagem matemática e simulações em consonância com os planos de emergência (Weerasekara, 2015).

Conforme sabido de maneira geral, recintos desportivos de intensa utilização demandam estratégias eficientes para evacuação de indivíduos, visando aprimorar a segurança e reduzir possíveis impactos decorrentes de desastres naturais ou eventos provocados pelo ser humano. Desta feita, este projeto se insere na necessidade de investigar e aperfeiçoar o processo de evacuação nas dependências do Dragão Arena, constituindo-se como um desafio proposto pela entidade gestora, o Futebol Clube do Porto

1.2. Objetivos do Trabalho

Tendo em conta o objetivo central do trabalho solicitado, abordar-se a questão de pesquisa relacionada com o aprimoramento do processo de evacuação em pavilhões desportivos. A meta é investigar como é possível melhorar esse processo, visando garantir maior segurança e proteção para os adeptos. Além disso, o trabalho procura contribuir para reduzir o tempo necessário para evacuação em situações de emergência.

Com base nesta questão inicial, o objetivo principal prende-se, com a análise e melhoria do processo de evacuação do Estádio do Dragão, sendo os objetivos específicos:

- Desenvolvimento do modelo de simulação do Dragão Caixa com o PathFinder;
- Análise da estratégia de evacuação atualmente utilizada no Dragão Arena;
- Análise de distintas estratégias de evacuação através de PathFinder;
- Comparação das diferentes estratégias implementadas;
- Avaliação e determinação da estratégia mais eficaz.

Ao longo da dissertação pretende-se abordar todos os objetivos específicos de modo a alcançar o objetivo principal.

1.3. Metodologia de Investigação

No que diz respeito aos métodos de investigação, segundo Wagner & Agrawal, 2014, desenvolveu-se um protótipo de simulação e um sistema de apoio à decisão para evacuação de multidões em pavilhões desportivos. Utilizando modelos baseados em agentes, o sistema permite testar cenários de catástrofe de forma eficiente.

O estudo de caso compreende diferentes configurações experimentais distintas destinadas a examinar a influência de diversos parâmetros no desempenho do processo de evacuação. Adicionalmente, a pesquisa engloba a formulação de modelos simplificados que são capazes de reproduzir de maneira precisa os resultados da evacuação, prescindindo da condução de simulações dispendiosas (Alginahi & Kabir, 2016).

1.4. Apresentação da empresa Futebol clube do Porto

A empresa Futebol Clube do Porto, comumente conhecido por FC Porto, é uma instituição desportiva portuguesa de renome internacional. Fundado em 1893, o clube possui uma trajetória distinta no panorama desportivo, sendo reconhecido como um dos principais clubes de futebol em Portugal e na Europa. A sua sede é no Estádio do Dragão, visualizado na Figura 1, Via Futebol Clube do Porto na Entrada Poente e no Piso 3 (Futebol Clube do Porto, n.d).

No âmbito empresarial, o F.C.Porto opera num contexto multifacetado, abrangendo não apenas o futebol profissional, mas também participações em outras modalidades desportivas. A gestão competente e a visão estratégica do clube têm contribuído para o alcance de notáveis feitos desportivos, consolidando a sua posição como uma marca de referência no panorama desportivo português.



Figura 1 - Sede Futebol Clube do Porto (F.C.P. - Clube - Estádio do Dragão, nd)

1.5. Conteúdo e Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

O capítulo 1 aborda a introdução do trabalho, onde são abordados o enquadramento e a pertinência, os objetivos de investigação bem como as opções metodológicas.

No capítulo 2 encontra-se uma revisão bibliográfica de tópicos relacionados com o tema principal desta dissertação.

No capítulo 3 abrange-se a análise do caso estudado, onde é apresentada a configuração do Dragão Caixa, bem como o modelo realizado do pavilhão no software PathFinder. Salienta-se ainda a exposição de vários cenários de estudo do caso.

No capítulo 4 comparam-se os resultados e realiza-se uma discussão. No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões da dissertação.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões da dissertação.

2. Fundamentação Teórica e Revisão da Literatura

Neste segmento, são exploradas algumas temáticas vinculadas ao tema previamente, desta forma, conduzimos uma análise sobre a simulação enquanto instrumento de suporte à tomada de decisões, examinando cuidadosamente as suas vantagens e desvantagens. Adicionalmente, destacamos a apresentação de diversos estudos de caso concernentes à evacuação de recintos desportivos, abordando o seu conceito, os fatores influenciadores e a legislação que norteia o processo de evacuação desses espaços

A importância do emprego de softwares na investigação de sistemas de evacuação não pode ser subestimada. Essas ferramentas proporcionam uma abordagem precisa e eficaz na análise e planeamento de procedimentos evacuativos. Ao simular uma diversidade de cenários, é possível identificar desafios potenciais e aprimorar estratégias, desta forma, no decorrer deste projeto iremos utilizar um software para estudar o melhor sistema de evacuação para diferentes ocasiões do recinto em questão.

2.1. A Importância da Segurança nos Eventos Desportivos

Praticamente todos os dias, ocupantes sentem dificuldades a abandonar suas residências, estabelecimentos comerciais ou outras instalações, inclusivamente embarcações, em resposta a ameaças ou perigos iminentes ou antecipados. A evacuação, nesse contexto, representa a principal medida de salvaguarda adotada em eventos catastróficos de grande magnitude, tais como furacões, inundações, tsunamis, erupções vulcânicas, liberação de substâncias perigosas ou nucleares, bem como incêndios e explosões em estruturas de grande altura (Rodríguez et al, 2007).

Para adequar-se às inúmeras transformações sociais, econômicas e políticas que permeiam o cenário do desporto, as instituições nas quais estamos inseridos atualmente devem demonstrar a habilidade de adquirir conhecimento e adaptar-se a qualquer tipo de situação que possa submeter a segurança de qualquer utilizador do espaço (Soares, 2014).

As questões relacionadas à segurança em eventos desportivos podem derivar de vários fatores, incluindo a organização do evento, a configuração do local, as condições de acomodação de um determinado número de espectadores, bem como problemas de natureza criminal (Jonjo, 2018). Em eventos de grande afluência, é possível identificar quatro categorias de fenômenos

que representam desafios à segurança, a saber: densidade perigosa, ação coletiva, reação coletiva e práticas criminosas (Fernandes, 2014).

Os modelos CA (Modelos de Autómatos Celulares) podem ser empregados na simulação de evacuações e na realização de pesquisas relacionadas com o comportamento humano, utilizando como base a geometria do edifício. Desta maneira, é imperativo considerar atentamente as limitações inerentes ao analisar os resultados de um estudo, especialmente ao tomar decisões relacionadas ao projeto do edifício (Pelechano & Malkawi, 2008).

Em termos gerais, os eventos de emergência podem ser categorizados em dois grupos distintos: aqueles que apresentam um aviso prévio e aqueles que ocorrem de maneira súbita e imprevisível. Para eventos com aviso prévio, como furacões e tornados, é possível desenvolver estratégias de evacuação a partir do momento em que são previstos. Contudo, para eventos sem aviso prévio, como terremotos e ataques terroristas, devido à sua natureza imprevisível, a oportunidade de planejamento prévio é inexistente (Golshani et al, 2019).

O plano de emergência não se restringe exclusivamente à formulação de estratégias de resposta imediata durante situações catastróficas. Deve-se, igualmente, incorporar um plano abrangente de preparação para emergências em circunstâncias normais. No âmbito dessa preparação, medidas apropriadas de gestão de riscos, como realocação, a construção de abrigos em número suficiente, aprimoramento de infraestruturas, e a coordenação de exercícios de evacuação, entre outras, devem ser implementadas. A seleção dessas medidas deve ser fundamentada numa avaliação criteriosa dos riscos associados ao processo de evacuação (Gai et al, 2018).

2.2. O Papel dos Sistemas de Apoio à Decisão para a Melhoria da Evacuação

De Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) são elementos fundamentais para aprimorar os procedimentos de evacuação em situações de emergência. Estes sistemas oferecem suporte por meio de informações e análises, facilitando a tomada de decisões eficazes durante eventos críticos. De seguida, destacam-se alguns dos papéis essenciais desempenhados pelos SAD na melhoria do processo de evacuação.

A aplicação de estudos de simulação tem crescido significativamente no âmbito do planejamento de evacuações. A minuciosidade proporcionada por um modelo de simulação possibilita a formulação de estratégias elaboradas para evacuações e resposta a situações de emergência (Yu et al, 2014).

O Sistema de Apoio à Decisão para Modelagem de Evacuações em situações de emergência, utiliza um enfoque informatizado para representar a rede de transporte de uma região durante processos de evacuação. Nesse contexto, as estradas são modeladas como ligações e as interseções numa rede. Os habitantes de uma área são considerados concentrados num ponto central geográfico chamado de centroide, representado, como nós, na rede. Cada centroide é conectado à rede de transporte por meio de ligações imaginárias para facilitar a entrada de veículos na rede. Este procedimento é padrão para a modelagem de redes de transporte assim essa matriz reflete o número de pessoas que se deslocarão de uma origem específica para um destino predeterminado durante o processo de evacuação (Tufekci & Kisko, 1991).

2.3. Evacuação de Eventos Desportivos – Casos de Estudo

Na Tabela 1 encontram-se diversos casos de estudo relativos a evacuação de eventos desportivos usando a simulação como ferramenta de apoio à decisão.

Tabela 1 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos

Referencias	Aplicações da Simulação
Schomborg et al, (2011)	<p>Este projeto visa criar um assistente eletrônico de evacuação para a ESPRIT-Arena em Düsseldorf, Alemanha, onde pode ajudar a melhorar a segurança de grandes eventos e edifícios multifuncionais. O projeto Hermes, financiado pelo governo alemão, envolve a construção de um modelo de rede da arena e o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação online capaz de prever situações críticas durante evacuações até 66.000 pessoas, em tempo acelerado.</p> <p>Para otimizar o sentido de orientação de rotas, bem como no início de uma evacuação, para encontrar a melhor distribuição de evacuados nas rotas restantes, caso um ou vários corredores estejam indisponíveis devido a fumaça ou danos estruturais.</p> <p>Conclui-se a com o uso desta tecnologia prevê qual a melhor solução para cada tipo de evacuação, de forma a poupar muito tempo, ou seja, salvar o maior número de pessoas.</p>
Gravit et al, (2022)	<p>Este estudo investiga o processo de evacuação do Coliseu (Roma, Itália) e da Gazprom Arena (São Petersburgo, Rússia) usando simulação de dinâmica de pedestres. Os resultados sugerem que o design do Coliseu parece ser vantajoso em comparação com a Gazprom Arena, devido à maior estabilidade e menor necessidade de intervenção durante a evacuação.</p> <p>É destacado que o design do Coliseu, com grandes e longas escadarias, é eficaz para garantir tempos de evacuação curtos e atende aos padrões atuais de evacuação. No entanto, as modernas arenas desportivas e de entretenimento, devido à sua comercialização e infraestrutura adicional, podem esquematizar mais recursos e planeamento na gestão da evacuação</p>

Tabela 1 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos (continuação)

Rovira-Beleta et al, (2015)	Este artigo aborda a acessibilidade em edifícios públicos na Espanha, com foco na evacuação de pessoas com deficiência. A pesquisa identificou a falta de regulamentações específicas para evacuação de instalações desportivas. Há uma falta de sincronia entre as regulamentações de proteção contra incêndios e as necessidades das pessoas com deficiência durante evacuações. Assim, para melhorar as condições de evacuação de pessoas com deficiência, é essencial incorporar melhorias nos sinais de alerta e alarme, na sinalização de rotas acessíveis para as saídas e na adoção de soluções que permitam que as pessoas com deficiência se movimentem de forma autônoma em relação às rotas de evacuação.
Sammut, (2001)	Durante os Jogos Olímpicos de Sydney 2000, o maior estádio olímpico do mundo com capacidade para 118.000 pessoas, mais de 1,9 milhão de espectadores passaram pelos portões ao longo do evento. O desafio de fornecer atendimento de emergência eficaz a todas essas pessoas. Um plano operacional detalhado foi implementado, incluindo um programa de preparação para desastres e a alocação de recursos significativos. Mais de 100 profissionais de saúde prestaram assistência médica a mais de 100.000 pessoas em cada sessão de competição. A maioria dos atendimentos envolveu primeiros socorros básicos, mas também foram realizadas intervenções médicas mais complexas quando necessário. Cerca de 5 a 7 pessoas por sessão foram transferidas de ambulância para hospitais, e não houve mortes relacionadas ao atendimento de emergência durante o evento.
Zhixiang et al, (2011)	O artigo apresenta o conceito de eficiência no uso do espaço-tempo para avaliar a utilização de recursos de espaço e tempo em processos de evacuação. Esta abordagem oferece uma perspectiva alternativa em relação às medidas estabelecidas de eficácia em operações de evacuação. Além disso, o artigo apresenta um modelo de tempo de espera de pedestres projetado para aprimorar o desempenho da evacuação. O estádio do Centro Desportivo de Wuhan, na China, foi utilizado como banco de ensaio para evacuação em massa neste estudo e demonstra que o uso do tempo de espera forçado calculado a partir desse modelo pode levar a melhorias na eficiência geral no uso do espaço e tempo.
Klupfel et al, (2005)	Neste artigo, é apresentado um modelo avançado de evacuação e a sua aplicação na evacuação de um bloco de lugares num estádio de futebol, Skoda Xanthi Arena, que se situa nos arredores de Xanthi na Grécia. Este modelo é baseado em princípios de autómatos celulares (CA) e estimativa a capacidade intrínseca dos CA para representar eficazmente fenómenos de complexidade aleatória.

Tabela 1 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos (continuação)

Zhixiang et al, (2013)	<p>Primeiramente, neste caso de estudo é definida uma métrica de eficiência no uso do espaço e do tempo com base em trajetórias em segmentos de estradas e interseções. Em seguida, é apresentado um algoritmo de otimização híbrido de múltiplos objetivos em duas etapas para planejar as direções de movimento de veículos e pedestres numa rede integrada de estradas e edifícios, com o objetivo de tomar decisões sobre planos de evacuação. O estudo foi realizado no estádio do Wuhan Sports Centre, na China, e na rede de estradas adjacente. Os resultados da análise sugerem que os fluxos de evacuação e interseção podem influenciar significativamente a eficiência no uso do espaço e do tempo de um plano de evacuação. A abordagem proposta de avaliação da eficiência no uso do espaço e do tempo fornece um método prático para medir a eficácia de planos de evacuação</p>
Xie & Weerasekara, (2016)	<p>O estudo aplicou simulações de evacuação para prever o comportamento de multidões em cenários de evacuação de multidões com base na solução de software multiagente Pedestrian Dynamics. O modelo de simulação refletia as características, leis, regulamentos e normas de evacuação de estádios. O estudo concluiu que os resultados da simulação identificaram potenciais problemas e forneceram sugestões para o plano de gestão da segurança. No entanto, os resultados da simulação apenas refletiam, de forma limitada, as evacuações reais no Estádio Hancock</p>
Jose Andrés et al, (2014)	<p>Neste projeto, explora-se a aplicação da “IoT” na gestão de emergências. Propõe-se uma sinalização para criar rotas de evacuação eficazes, levando em conta a natureza da emergência e minimizando riscos. Um estudo de caso é aplicado a estádios desportivos. O próximo passo é implementar essa proposta na remodelação da infraestrutura de turismo no sul de Gran Canaria, apoiada pelo governo local e regional das Ilhas Canárias</p>
Giachini et al, (2010)	<p>Neste artigo, fala-se sobre a preparação para evacuações no Estádio da Universidade de Virginia. Assim sugere-se o uso de simulações para ter uma estimativa do tempo de evacuação e identificar possíveis problemas.</p> <p>O Escritório de Preparação para Emergências desenvolveu um plano de evacuação para o Estádio Scott que descreve a comunicação entre tomadores de decisão e pessoal do estádio, bem como a estratégia para evacuar o estádio, incluindo anúncios de áudio e displays visuais para alertar a multidão sobre perigos iminentes e a necessidade de evacuação. O objetivo principal do projeto é fornecer melhorias específicas que minimizem a confusão e o risco de lesões para espectadores e trabalhadores envolvidos numa evacuação do Estádio Scott.</p>

Tabela 1 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos (continuação)

Oliveira et al, (2013)	Neste estudo, foi desenvolvido um modelo de computador para fazer a evacuação de multidões em estádios de futebol. O modelo utiliza autônomos através de telemóveis bidimensionais em várias zonas para representar diferentes níveis do ambiente. Ele permite que os pedestres analisem várias opções de movimento e resolvam conflitos com outros pedestres ao se deslocar de uma célula de grade para outra. O modelo oferece duas contribuições importantes: amplia as opções de movimento dos indivíduos, tornando a evacuação mais eficiente. Os testes de validação demonstraram que o modelo é capaz de simular com sucesso evacuações, tornando-se uma ferramenta útil para estimar dados relacionados ao ambiente estudado.
Shirvani & Kesserwani (2021)	Com base no artigo, conclui-se que o simulador de evacuação em inundações apresenta melhorias significativas em termos de precisão ao modelar o comportamento de pedestres em cenários de evacuação durante inundações. Além disso, o artigo descreve testes bem-sucedidos do simulador em diferentes cenários, como evacuações em ambientes internos e ambientes externos (como um estádio de futebol). Essa versatilidade torna o simulador aplicável em diversas situações. As aplicações práticas desse simulador incluem o planeamento de evacuações em áreas de risco de inundação, não só estádios desportivos como também centros comerciais. Em suma, o simulador tem o potencial de melhorar a compreensão do comportamento humano em situações de evacuação durante inundações e contribuir para a segurança pública e o planeamento de emergências.
Schomborg et al, (2011)	O estudo concluiu que o modelo de rede macroscópico apresentado no artigo pode ser utilizado para analisar cenários de evacuação em recintos desportivos. No entanto, o modelo continua a ser um simulador autônomo e precisa de ser totalmente integrado num assistente de evacuação. O objetivo é ter interfaces com a contagem de peões, bem como com a proteção contra incêndios. Em caso de emergência, o modelo deve ser capaz de executar tarefas semiautomáticas com informações atualizadas sobre o número de espectadores e os corredores de evacuação em falta.
Klүpfel & Meyer- König, (2013)	O estudo descreve o desenvolvimento de um “assistente de evacuação” chamado PedGo Guardian, projetado para aprimorar a segurança e eficiência na evacuação de locais de grande aglomeração, principalmente estádios. A simulação é realizada em estádios, embora o nome específico do estádio não seja mencionado no texto. O simulador usa informações em tempo real para prever as posições futuras dos ocupantes, considerando fatores como rotas de resgate, sistemas de proteção contra incêndio e a distribuição das pessoas. Ele utiliza um esquema de semáforos para simular a densidade e os riscos relevantes para o gerenciamento de multidões, identificando quando a atenção especial ou ação imediata são necessárias. O sucesso do estudo depende da capacidade do operador em integrar.

Tabela 1 - Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos (continuação)

Paul (2015)	<p>Neste estudo, um modelo de evacuação vetorial baseado em fluxos e construído no ArcMap. O modelo foi desenvolvido para calcular uma simulação do tempo total de evacuação para o estádio de futebol da Universidade de Alabama na eventualidade de um perigo de origem humana.</p> <p>Embora já tenha sido publicado um modelo de evacuação de estádios baseado em SIG, este estudo procurou melhorar as limitações desse modelo, bem como fornecer aos responsáveis de gestão de emergências ferramentas adicionais para os ajudar a prepararem-se para eventuais perigos de origem humana.</p>
Minegishi, & Takeichi, (2018)	<p>O estudo aborda a questão da segurança nas evacuações de grandes instalações desportivas com base num projeto de design real para um estádio de 40.000 lugares. Ele destaca que as regulamentações existentes frequentemente definem aspetos como a quantidade de saídas, largura de escadas e rotas de evacuação. O estudo concentra-se em três situações críticas: evacuação das arquibancadas, áreas de fusão e acúmulo em torno de escadas, e evacuação no nível do solo. Ele destaca que a maioria dos problemas decorre do acúmulo de evacuados e da sequência de acúmulos. Portanto, o estudo propõe um método de design e uma política de gerenciamento de multidões que evitem a formação de sequências de acúmulos e orientem onde os acúmulos devem ocorrer. Em suma, o estudo demonstra a necessidade de abordar o design e o gerenciamento de evacuações em estádios de grande porte, com ênfase na prevenção de acúmulos e no controle eficaz do fluxo de multidões em situações de emergência.</p>
Shi et al, (2009)	<p>O resumo destaca a importância da coleta de dados sobre o comportamento humano em situações de evacuação, incluindo tempos de movimento antes do acontecimento, velocidades de caminhada e escolha de saídas. Esses dados são fundamentais para o desenvolvimento de simulações precisas de evacuação e projetos de segurança em edifícios e locais públicos. Os resultados, dos estudos feitos indicam que o tipo de edifício, a presença de alarmes de incêndio e outros fatores influenciam o tempo de resposta e as decisões de saída dos ocupantes. Além disso, o gênero pode desempenhar um papel importante nas respostas dos ocupantes.</p>
Paul (2015)	<p>O objetivo deste estudo é simular a modelação e simulação do plano de evacuação (MSEP – Modelação e Simulação do Plano de Evacuação) para apoiar a direção na execução de um plano de evacuação adequado em caso de emergência no Estádio Hancock da Universidade Estadual de Illinois.</p> <p>Em suma, este simulador descreve uma abordagem científica para a avaliação e melhoria dos planos de evacuação em estádios, através de simulações de evacuação para concluir o comportamento das multidões e garantir a segurança dos espectadores durante eventos em larga escala.</p>

Tabela 1- Casos de estudo - Evacuação de Recintos Desportivos (continuação)

Wąs & Lubaś, (2014).	Neste estudo apresenta-se uma metodologia inovadora para criar modelos realistas e eficazes da dinâmica das multidões. Essa abordagem é especialmente adequada para modelar o comportamento de pedestres em ambientes complexo. A mesma foi testada em casos de simulação, incluindo a evacuação do estádio de futebol Allianz Arena em Munique entre outros estádios, como o Wisla Krakow Stadium e o GKS Tychy Stadium.
Zale, & Kar, (2012)	Neste artigo é abordada a segurança em estádios desportivos, que foram identificados como parte da infraestrutura crítica do Departamento de Segurança Interna dos EUA (DHS). Foi demonstrado o uso de tecnologia baseada em SIG para criar um modelo acessível para a preparação do pessoal de emergência local poder melhorar a segurança e a rapidez em eventos desportivos e outras situações de grande aglomeração de pessoas.

Analisando a Tabela 1, é evidente a relevância da simulação computacional para garantir a segurança e a evacuação eficiente de pessoas em situações de perigo.

2.4. Evacuação de Pavilhões Desportivos

2.4.1. Fatores

A evacuação refere-se ao processo organizado de deslocar pessoas, bens e animais de áreas em risco para locais seguros durante emergências como incêndios, inundações ou sismos (Hall et al., 2011).

Os pavilhões desportivos representam locais de elevada importância para a promoção de estilos de vida saudáveis e a integração das atividades desportivas na rotina quotidiana. Tais instalações, tanto ao ar livre quanto cobertas, abrangem diversas modalidades desportivas, incluindo atletismo, piscinas, ténis, voleibol, basquetebol e futebol, servindo, assim, a comunidade de todas as faixas etárias (Bodur, 2021).

A consideração do esmagamento ou atropelamento de pessoas é crucial no planeamento e conceção de instalações destinadas a grandes concentrações, como estádios e pavilhões. Os planos de evacuação, como instrumentos eficazes, são essenciais para determinar o nível de segurança de um edifício ou área, sendo necessária a compreensão da dinâmica das multidões e das normas de segurança. Nas últimas décadas, a modelação do movimento de multidões tem sido objeto de pesquisa ativa (Souza & de Castro, 2014).

2.4.2. Evacuação de Pavilhões desportivos – Tempos de Evacuação

O tempo de evacuação refere-se ao período necessário para que uma área seja completamente desocupada durante um processo de evacuação em resposta a uma emergência ou situação de risco (Olsson & Regan, 2001).

De acordo com (Shi et al., 2009) o seguinte estudo, para desenvolver um modelo de evacuação eficaz, é crucial coletar dados sobre seis elementos principais:

- Tempos de atraso;
- Velocidades de deslocação;
- Características dos ocupantes;
- Ações durante a evacuação;
- Efeitos das obstruções nos trajetos;
- Decisões de Escolhas de saída.

A maioria dos residentes iniciou a evacuação aproximadamente 2,82 minutos após a ativação do alarme. No que concerne ao tempo médio necessário para a evacuação através das escadas, este foi de 1,62 minutos para pessoas com deficiência e de 1,20 minutos para os demais residentes, indicando uma diferenciação significativa nos tempos de evacuação com base nas capacidades físicas dos ocupantes (Hashemi, 2018).

Através da Tabela 2, é viável considerar diversas estimativas de tempo de pré- movimentação provenientes de outras fontes literárias, conforme indicado por CFP Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009. Adicionalmente, é importante destacar que a tabela inclui as seguintes categorias de sistemas de comunicação:

- W1: Sistema de comunicação de voz a partir de uma sala de controle ou instruções ao vivo transmitidas por pessoal bem treinado, audíveis por todos os ocupantes do espaço;
- W2: Mensagens de voz pré-gravadas acompanhadas por pessoal treinado;
- W3: Sistema de alerta com alarme de incêndio e equipe sem treinamento específico.

Análise e Melhoria da Evacuação de um Pavilhão Desportivo usando Simulação

Tabela 2 - Estimativas de pré-movimentação em situação de incêndio (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)

Tipo de Espaço	Descrição dos ocupantes	W1 (s)	W2 (s)	W3 (s)
Locais de trabalho, Salas empresariais, instituições educacionais	<ul style="list-style-type: none"> - Conscientes, despertos - Possuem familiaridade com a estrutura do edifício, o sistema de alarme e os procedimentos de evacuação 	Menos de 60	Menos de 180	Mais de 120
Lojas, Comércio, Espaços culturais, Recintos desportivos	<ul style="list-style-type: none"> - Conscientes, despertos - Podem não estar familiarizados com a estrutura do edifício, o sistema de alarme e os procedimentos de evacuação 	Menos de 120	Menos de 180	Mais de 360
Dormitórios, Complexos habitacionais	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade de não estarem acordados ou conscientes - A maioria possui conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação 	Menos de 120	Menos de 240	Mais de 300
Alojamentos hoteleiros	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade de não estarem acordados ou conscientes - A maioria possui conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação 	Menos de 120	Menos de 240	Mais de 360
Instituições de saúde	<ul style="list-style-type: none"> - A maior parte dos ocupantes requer auxílio 	Menos de 180	Aproximadamente 300	Mais de 480

2.5. Evacuação de Recintos Desportivos – Legislação

A regulamentação referente à prevenção de incêndios em edifícios em Portugal é definida pelo Decreto-Lei n.º 220/08, de 12 de novembro, intitulado "Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios e Recintos" (RJSCIE). Este diploma categoriza as edificações em 12 utilizações-tipo, estabelecendo critérios normativos para o dimensionamento com base em quatro categorias de risco atribuídas ao edifício em questão, considerando também as 12 utilizações-tipo:

- UT I – Habitacionais.
- UT II – Estacionamentos.
- UT III – Administrativos.
- UT IV – Escolares.
- UT V – Hospitalares e lares de idosos.
- UT VI – Espetáculos e reuniões públicas.
- UT VII – Hoteleiros e restauração.
- UT VIII – Comerciais.
- UT IX – Desportivos e de lazer.
- UT X – Museus e galerias de arte.
- UT XI – Bibliotecas e arquivos.
- UT XII – Industriais, oficinas e armazéns

Todos os espaços dentro de edifícios e recintos são categorizados de acordo com a natureza do risco que representam, sendo subdivididos em seis grupos distintos:

- Risco A: Área que não apresenta riscos especiais, com um público inferior a 100 pessoas, onde 90% dos ocupantes não possuem limitações de mobilidade e têm plena perceção do alarme;
- Risco B: Espaço acessível ao público ou ao pessoal vinculado ao estabelecimento, com uma audiência superior a 100 pessoas. Neste ambiente, 90% dos ocupantes não têm restrições de mobilidade e têm total perceção do alarme. Além disso, não envolve a manipulação de produtos ou a prática de atividades que representem um risco agravado de incêndio;
- Risco C: Área com risco agravado de incêndio devido às atividades realizadas, aos equipamentos utilizados ou aos materiais presentes;
- Risco D: Espaço ocupado por pessoas com mobilidade e perceção reduzidas, abrangendo idosos, acamados e crianças;

- Risco E: Local destinado à permanência noturna que não se enquadra na categoria de risco D;
- Risco F: Espaço que possui meios e sistemas cruciais para a continuidade de atividades sociais relevantes, incluindo centros essenciais de comunicação, comando e controle.

Cálculo da população é o somatório do efetivo de todos os espaços suscetíveis a ocupação e é feito pelo produto da área pelos índices existentes na legislação, conforme indica a tabela 3.

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

ESPAÇOS	PESSOAS / m²
Balneários e vestiários utilizados por público;	1
Balneários e vestiários exclusivos para funcionários;	0.3
Bares (zona de consumo com lugares em pé)	2
Espaços de ensino não especializado;	0.6
Espaços de exposição destinados à divulgação científica e técnica;	0.35
Espaços reservados a lugares de pé de salas de conferências, de reunião e de espetáculos, de auditórios ou de locais de culto religioso;	3
Gabinetes de consulta e bancos de urgência;	0.3
Gabinetes de escritório;	0.1
Locais de venda de baixa ocupação de público;	0.2
Locais de venda localizados no piso do plano de referência, com área inferior ou igual a 300 m ² ;	0.5
Salas de convívio e refeitórios;	1
Laboratórios;	0.2
Salas de diagnóstico e terapêutica;	0.2
Salas de escritório e secretárias;	0.1
Salas de espera de exames e consultas;	1
Salas de intervenção cirúrgica e de partos;	0.1
Salas de leitura sem lugares fixos e bibliotecas;	0.2
Salas de reunião, de estudo e de leitura sem lugares fixos, ou salas de estar;	0.5
Zonas de atividades (caso de estudo);	0.15
Lugares não individualizados de salas de conferências, de reunião e de espetáculos, e locais de culto religioso;	2
Lugares de pé numa única frente de salas de conferências, de reunião e de espetáculos, e locais de culto religioso.	5

Relativamente ao número e a largura mínima de saídas são regulamentados por legislação, que define valores mínimos para a largura das saídas. O dimensionamento é determinado com base no critério de unidade de passagem, conforme ilustrado na Figura 2 e detalhado na Tabela 4. Os valores devem ser arredondados para o inteiro mais próximo. A largura efetiva é obtida a partir do cálculo realizado, exceto em situações excecionais previstas nas normas aplicáveis.

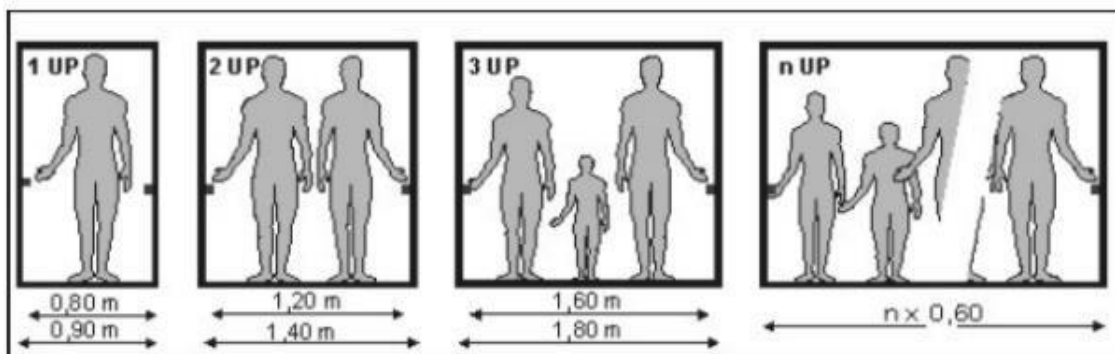


Figura 2 - Largura mínima das saídas são regulamentados por legislação (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)

Tabela 4 - Número de saídas de emergência, largura mínima em função UP, (CFPA Europe & Confederation of Fire Protection Associations Europe, 2009)

Nº mínimo de saídas	1 a 50 pessoas	1 Saída
	51 a 1500 pessoas	1 Saída por cada 500 pessoas ou fração, mais uma
	1501 a 3000 pessoas	1 Saída por cada 500 pessoas ou fração
	Mais de 3000 pessoas	Nº condicionado pelas distâncias a percorrer, mas com um mínimo de 6
Largura mínima das saídas e caminhos de evacuação	1 a 50 pessoas	1 UP
	51 a 1500 pessoas	1 UP por cada 100 pessoas ou fração, mais uma
	Mais de 500 pessoas	1 UP por cada 100 pessoas ou fração

A legislação em Portugal não contempla uma norma específica para estádios de futebol. Essas estruturas são enquadradas nos critérios prescritivos estabelecidos para a Utilização Tipo VI – Espetáculos e reuniões públicas. Contudo, devido à complexidade arquitetónica e à elevada capacidade de ocupação, pode-se considerar que se trata de uma edificação com

perigosidade atípica. Nesse contexto, é recomendada a realização de uma análise de desempenho para garantir a conformidade com as normas de segurança apropriada

3. Estratégias de Evacuação num Pavilhão Desportivo

3.1. Dragão Caixa

O objetivo deste trabalho é analisar diferentes estratégias de evacuação no Dragão Caixa, localizado na cidade do Porto, Portugal, utilizando simulação computacional através do software PathFinder. Este estudo visa identificar as abordagens mais eficientes para garantir a segurança dos espectadores durante emergências.

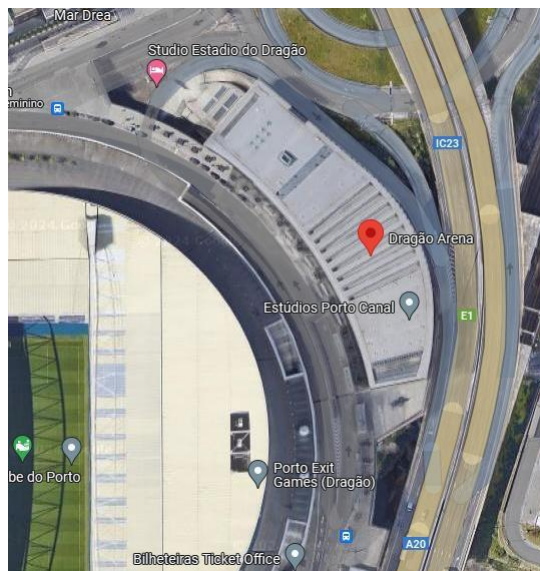


Figura 3 - Vista do Dragão Arena (Google Maps,2024)

O Dragão Caixa, inaugurado em 16 de dezembro de 2009 e situado na Via Futebol Clube do Porto, 4350-415 Porto, é um complexo desportivo localizado na cidade do Porto, adjacente ao Estádio do Dragão. Com uma capacidade para cerca de 1.993 espectadores, o pavilhão principal é o epicentro das modalidades de pavilhão do FC Porto, como o hóquei em patins, o basquetebol, o andebol e o voleibol (Figura 3).

A realização do Dragão Caixa foi possibilitada pela mudança do antigo pavilhão Américo de Sá para este moderno complexo desportivo. A obra foi projetada pelo arquiteto Manuel Salgado, reforçando sua importância não apenas como um espaço desportivo, mas também como um marco arquitetónico na cidade.

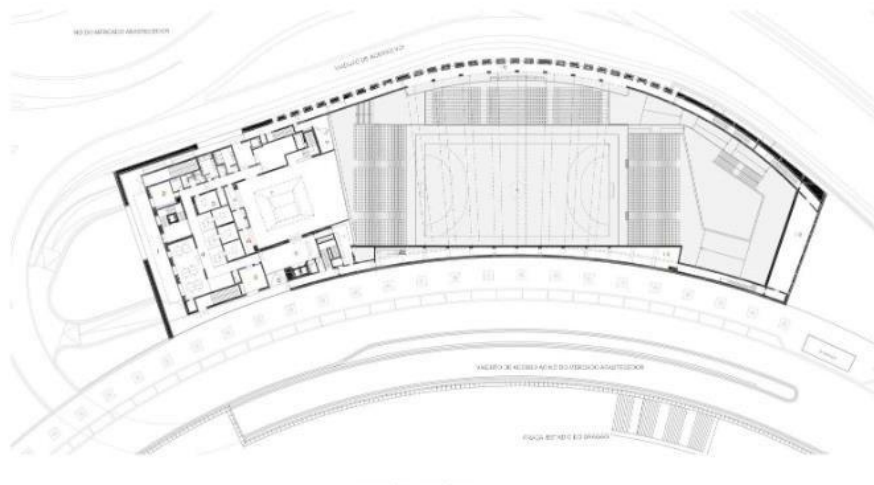


Figura 4 - Planta Dragão Caixa (FC Porto - Clube - Estádio Do Dragão, n.d.-b)

3.2. Configurações do Dragão Caixa

O Dragão Caixa é constituído por 4 pisos, desde o piso -2 até ao piso 1:

- Piso -2: engloba as áreas técnicas.
- Piso -1: constituído pela arena, balneários, ginásio, auditório, sala de imprensa, sala médica e ligação de serviço ao Estádio do Dragão.
- Piso 0: Acesso as bancadas e bares para o publico.
- Piso 1: engloba as galerias de acesso aos camarotes, vários escritórios, cozinhas, sala VIP.

Tabela 5 - Número de ocupantes Dragão Caixa por setor

Setores	Lotação
01	154
02	266
03	154
04	206
05	260
06	206
07	196
08	266
09	154
Camarotes	120

3.2.1. Planta Piso -1

A planta do Piso -1 do Dragão Caixa pode ser analisada na Figura 5.



Figura 5 - Figura Planta piso -1

O piso -1 é constituído pela área de jogo principal é onde ocorrem as competições desportivas, está equipada com um piso adequado (de madeira), além de equipamentos desportivos como balizas, cestos e tabelas. Ao redor desta área, existem bancadas fixas para espectadores.

Os balneários são instalações essenciais para jogadores e árbitros, onde se preparam antes e depois dos jogos, estes espaços incluem vestiários com armários e bancos, duches e sanitários, além de áreas de aquecimento ou relaxamento. Balneários separados são fornecidos para árbitros e equipas visitantes. Relativamente à sala de primeiros socorros é uma área designada para atendimento médico de emergência, equipada com macas, equipamentos médicos básicos e suprimentos de primeiros socorros, que, neste piso são designadas unicamente para atletas ou membros das equipas. A sala de imprensa é um espaço dedicado a conferências de imprensa e entrevistas pós-jogo.

3.2.2. Planta Piso 0

A planta do Piso 0 do Dragão Caixa pode ser analisada na Figura 6.

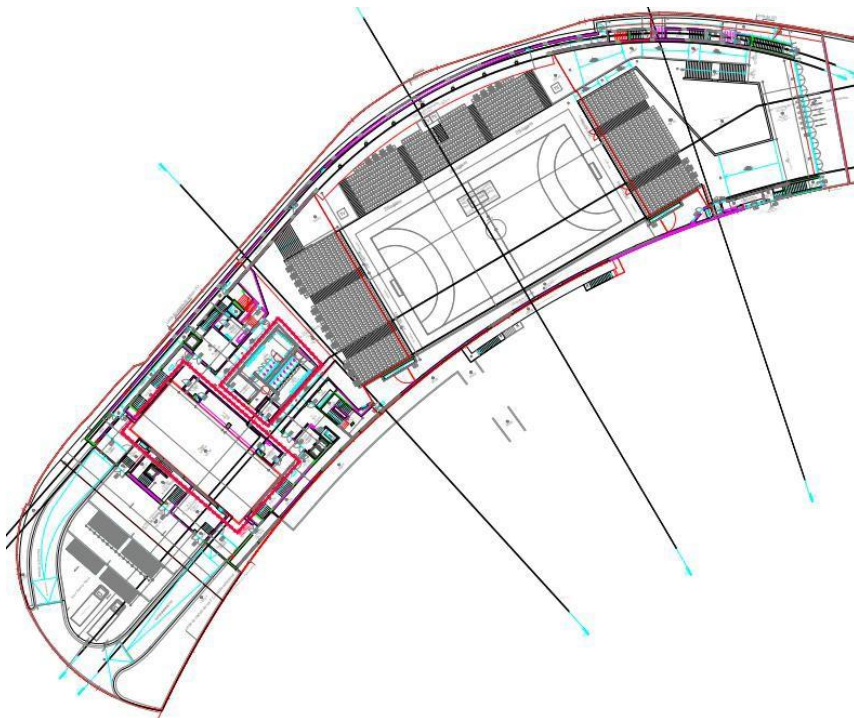


Figura 6 - Figura Planta piso 0

O piso 0 do pavilhão desportivo Dragão Caixa, encontram-se várias áreas e instalações importantes que garantem o acesso, conforto e conveniência dos espectadores e participantes. Os acessos às bancadas são um dos componentes principais do piso 0 através das zonas de

distribuição Sul, Nascente e Norte. Estes acessos são cuidadosamente distribuídos para garantir um fluxo eficiente e seguro de espectadores para e das áreas de assento.

Além disso, o piso 0 é equipado com diversas áreas de convivência e lazer, como bares e cafeterias, onde os espectadores podem adquirir alimentos e bebidas. Estas áreas são estrategicamente localizadas nas

zonas norte e sul do estádio para serem facilmente acessíveis a partir das bancadas e outras partes do pavilhão.

Instalações de serviço, como sanitários, são distribuídas por todo o piso 0 para garantir conveniência e acessibilidade.

3.2.3. Planta Piso 1

A planta do Piso 1 do Dragão Arena pode ser analisada na Figura 7.



Figura 7 - Figura Planta piso 1

O piso 1 do Dragão Caixa, encontram-se diversas áreas dedicadas ao conforto, entretenimento e gestão operacional. As salas VIP são um destaque do piso 1 como a Foyer VIP (Figura 8), salão projetado para oferecer conforto e comodidade aos convidados especiais com uma vista privilegiada para a arena.

Os escritórios administrativos com vista panorâmica também estão localizados no piso 1, oferecendo espaço para a equipa de gestão do pavilhão realizar as suas operações diárias. Estes escritórios incluem salas de reuniões, áreas de trabalho para funcionários administrativos entre

os funcionários do Porto Canal e outros espaços necessários para o funcionamento eficiente do pavilhão.

As cozinhas do piso 1 são responsáveis pela preparação dos alimentos e bebidas servidos durante os eventos desportivos e outras atividades realizadas no pavilhão.

Os acessos aos camarotes também estão localizados no piso 1, permitindo que os detentores de camarotes acedam facilmente às suas áreas exclusivas de visualização.



Figura 8 - Foyer VIP

3.3. Estudo da Simulação

3.3.1. Modelo Computacional

A simulação do Estádio do Dragão foi conduzida com o software Pathfinder, numa primeira fase, para conseguir simplificar as plantas fornecidas pelo F.C. Porto, através do software AutoCAD, foi removida toda a informação que provocasse ruído no processamento dos dados, Figura 9, nomeadamente, linhas de cota, simbologias, textos informativos, linhas da movimentação das portas, informações de cálculo estrutural, de modo a ter apenas informação

imprescindível. As Figuras 9 e 10 mostram as diferenças das plantas antes e depois de usar o AutoCAD.



Figura 9 - Representação da planta não editada no AutoCAD



Figura 10 - Representação da planta editada no AutoCAD

Nas Figuras 11, 12 e 13 é possível observar o pavilhão através do software Pathfinder.

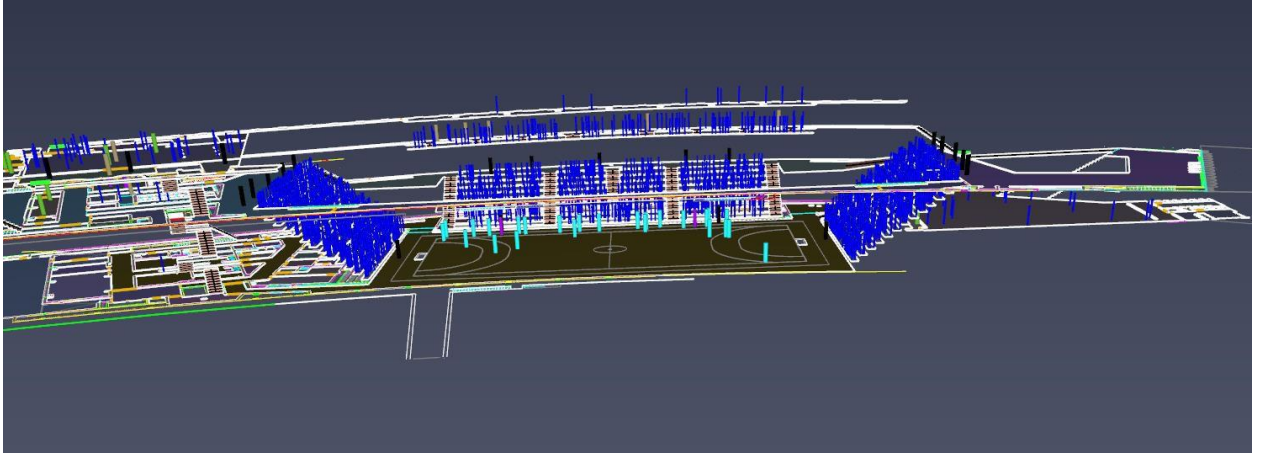


Figura 11 - Pavilhão modelado no Pathfinder

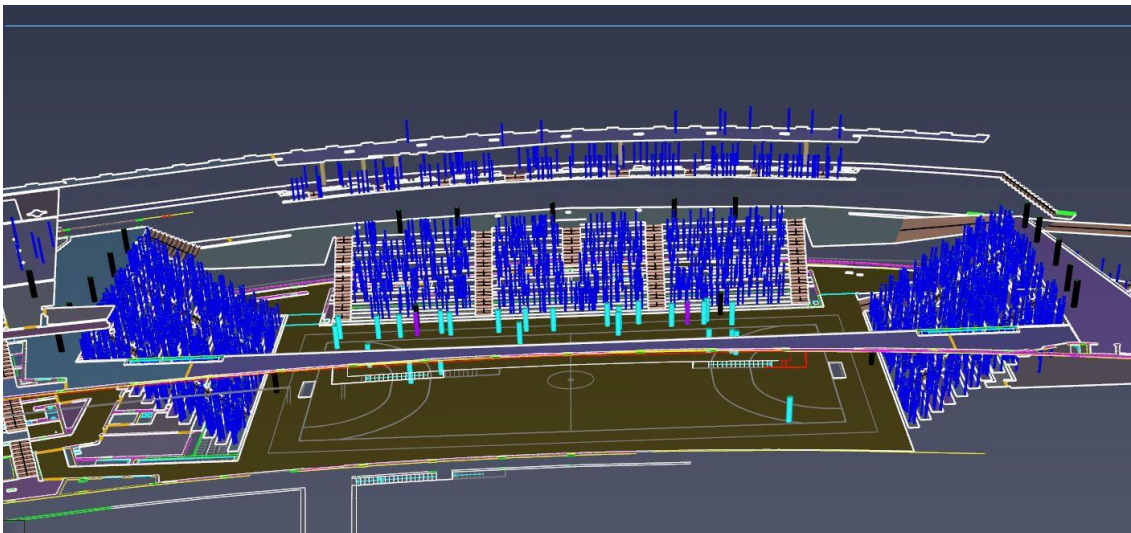


Figura 12 - Pavilhão modelado no Pathfinder

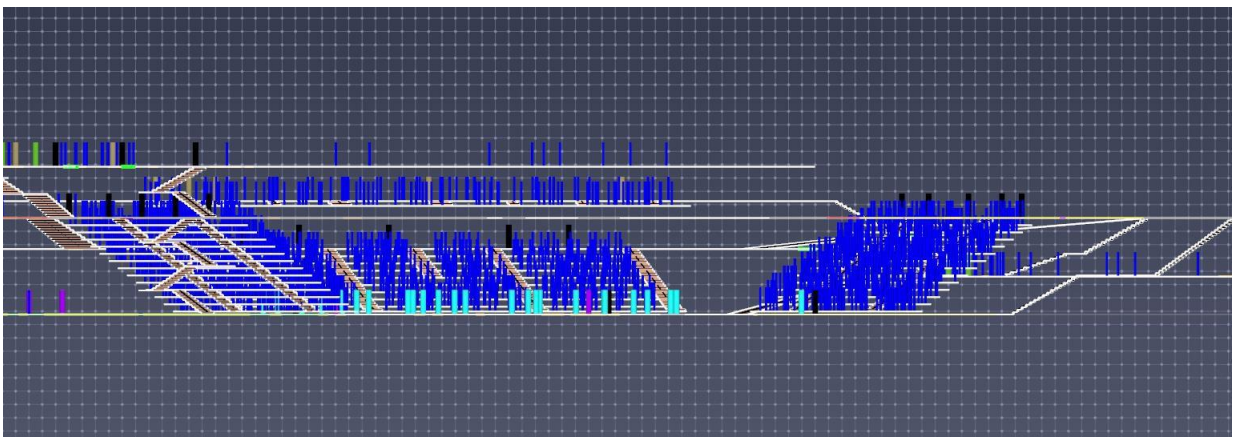


Figura 13 - Pavilhão modelado no Pathfinder

A Figura 14 possibilita observar a interface inicial do software Pathfinder.

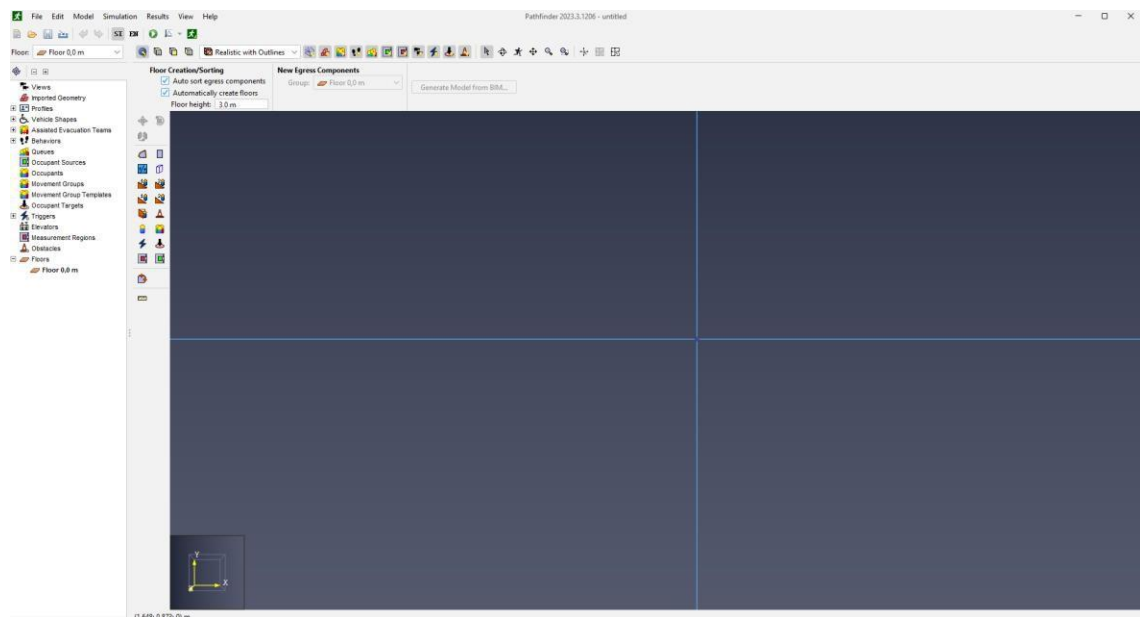


Figura 14 - Interface Pathfinder

De seguida, utilizou-se uma funcionalidade do software que permite importar os desenhos de modo a elaborar cada piso, através da funcionalidade “File” >”Import...” (Figura 15). Sendo uma maior valia pelo facto dos desenhos terem sido importados em DWG, formato vetorial, permitiu trabalhar à escala e com a mesma origem, o que não aconteceria em qualquer outro formato.

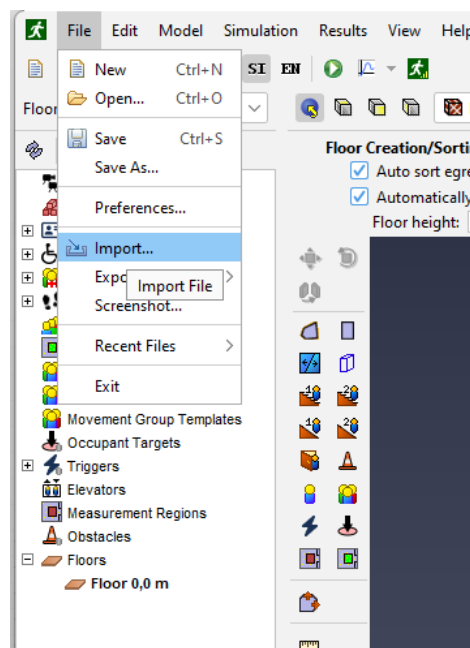


Figura 15 - Método de importação de ficheiros

Análise e Melhoria da Evacuação de um Pavilhão Desportivo usando Simulação

Depois da planta ser importada para o PathFinder, é possível através da funcionalidade “Extract Room from Imported Geometry” criar automaticamente as divisões de cada piso. Na Figura 16, pode ser analisado um exemplo desta funcionalidade observando a sua rigorosidade e pormenor, por exemplo na modelação das casas de banho e bar.

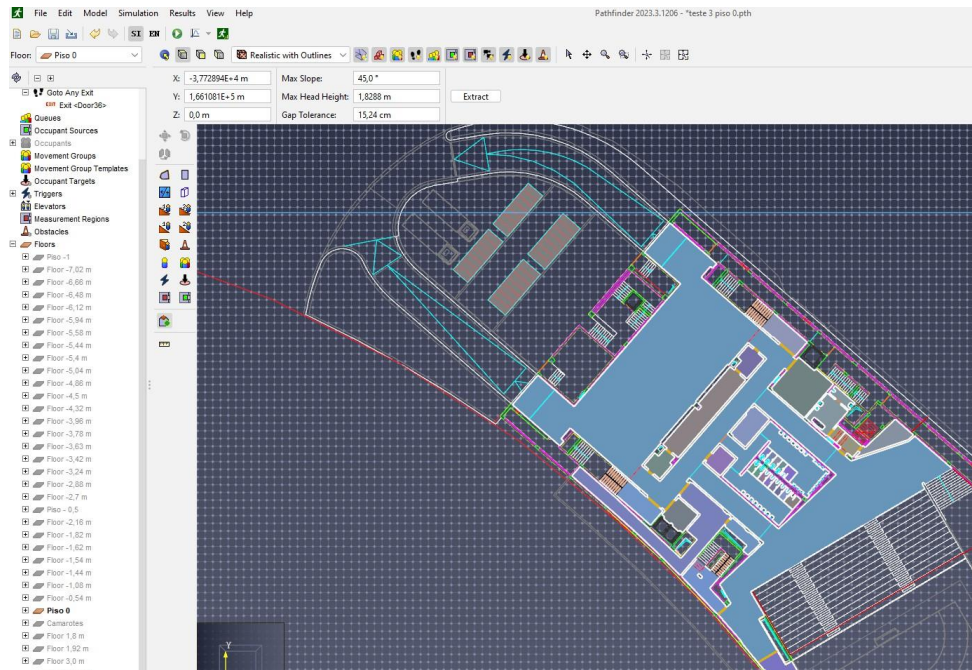


Figura 16 - Desenho da zona Norte da planta do Piso 0

Com a esta mesma ferramenta, foi possível elaborar todas as bancadas referentes ao Dragão Caixa, criando planos de diferentes cotas (Figuras 17 e 18). No lado esquerdo da Figura 18 é possível observar os diferentes planos criados não só para a modelação de todas as bancadas como também para a criação dos pisos adjacentes.

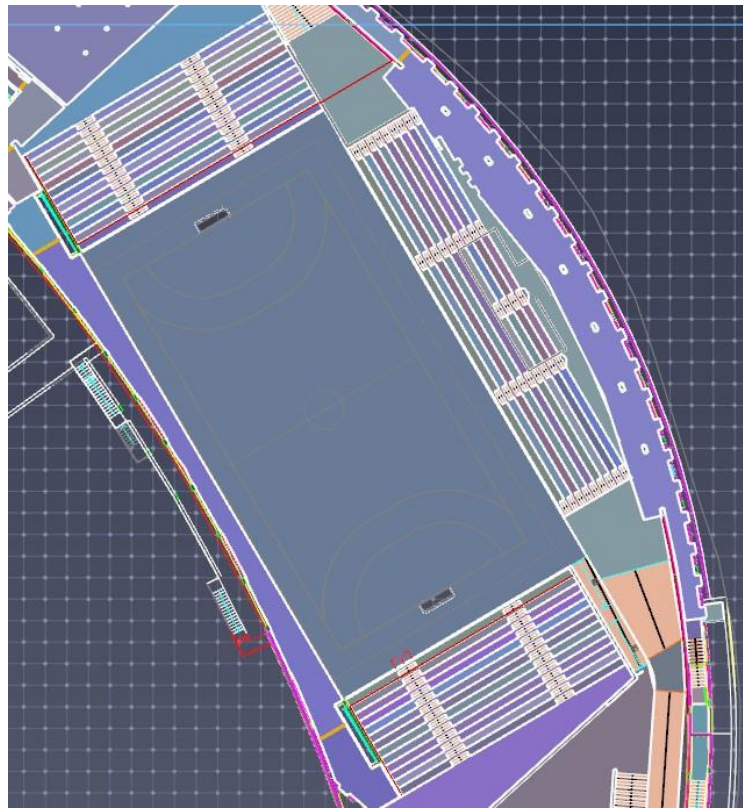


Figura 17 - Bancada do Dragão Caixa

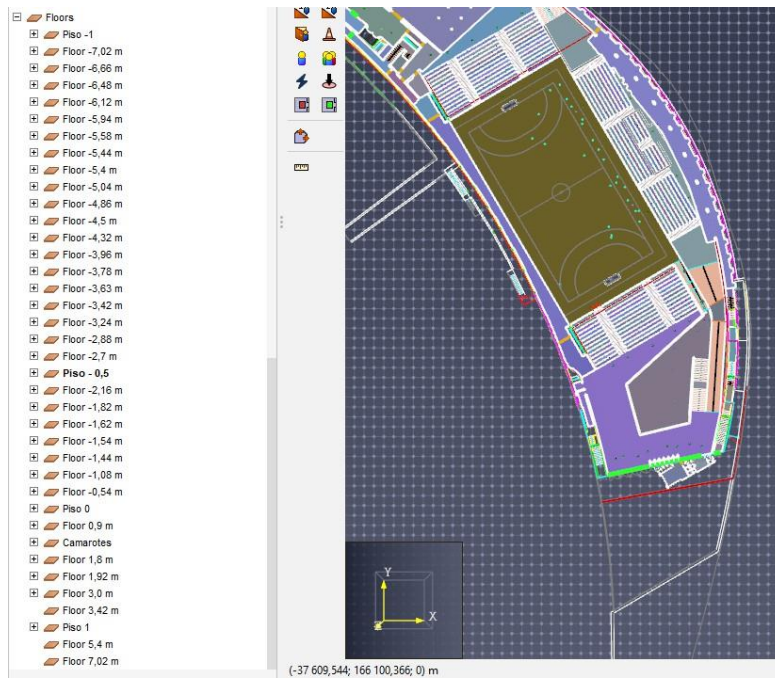


Figura 18 - Diferentes planos criados

Análise e Melhoria da Evacuação de um Pavilhão Desportivo usando Simulação

Posteriormente, para complementar o desenho do recinto, seria necessário acrescentar portas, que podem ser consideradas portas entre salas no interior do pavilhão (desenhadas a laranja), ou portas de acesso ao exterior do mesmo (desenhadas a verde), na Figura 19 é possível observar exemplos das diferentes portas.

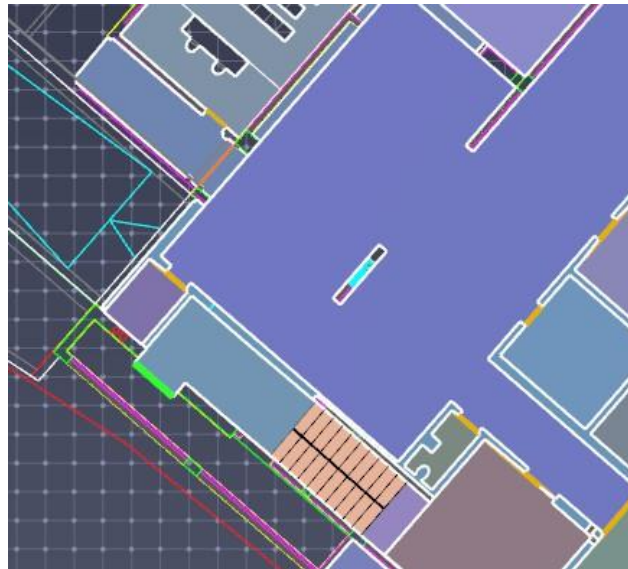


Figura 19 - Representação das diferentes portas

Com o acesso aos pisos subjacentes, foram criadas escadas e rampas. Na Figura 20, é possível analisar um exemplo do processo de criação da rampa, representada a amarelo, que liga a zona de Circulação Nascente à zona de Circulação Sul, com detalhes da mesma deste o comprimento, inclinação e larguras de início e fim.

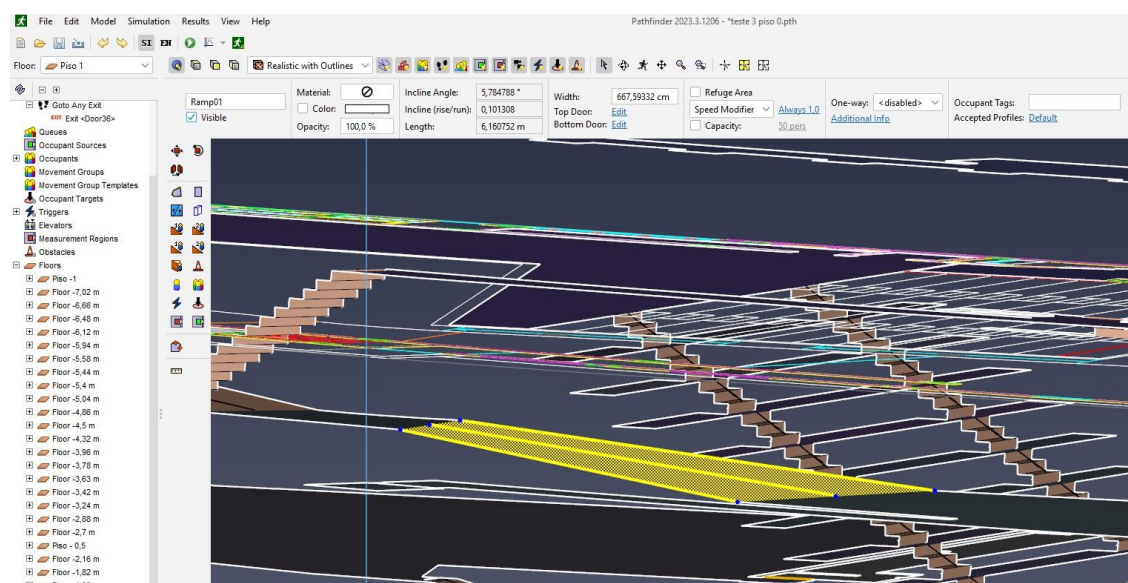


Figura 20 - Etapas a seguir para acrescentar rampas

Na Figura 21, é possível analisar um exemplo do processo de criação de uma escada representada a amarelo, entre o Piso -1 e o piso adjacente até a saída de emergência do Piso 0, com detalhes do comprimento, altura do pé direito e largura.

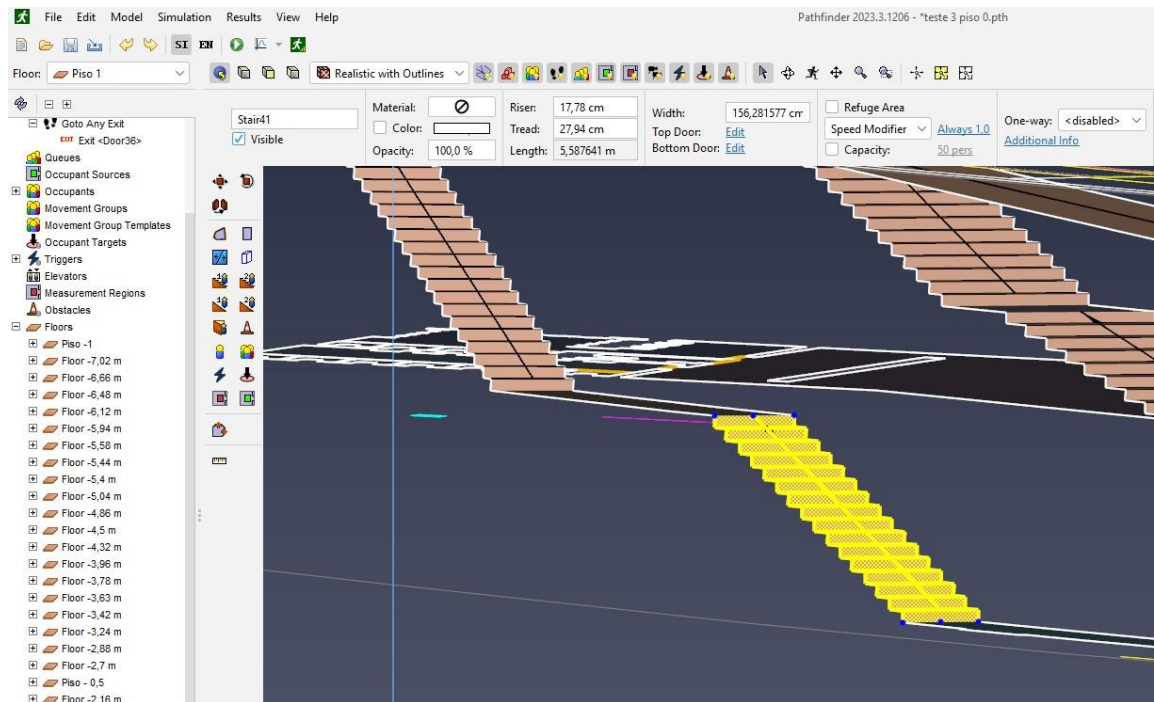


Figura 21 - Etapas para acrescentar escadas

O tempo de evacuação das pessoas, em todo o pavilhão, depende dos obstáculos que se deparam ao longo do trajeto. Desta forma, salienta-se a importância da inserção dos obstáculos existentes no Dragão Arena. Todos estes objetos foram considerados, de acordo com a planta, automaticamente devido à funcionalidade inicialmente usada “Extract Room from Imported Geometry”. Desta maneira através das Figuras 22 e 23, como ficam desenhados no software alguns obstáculos presentes na Portada Sul.

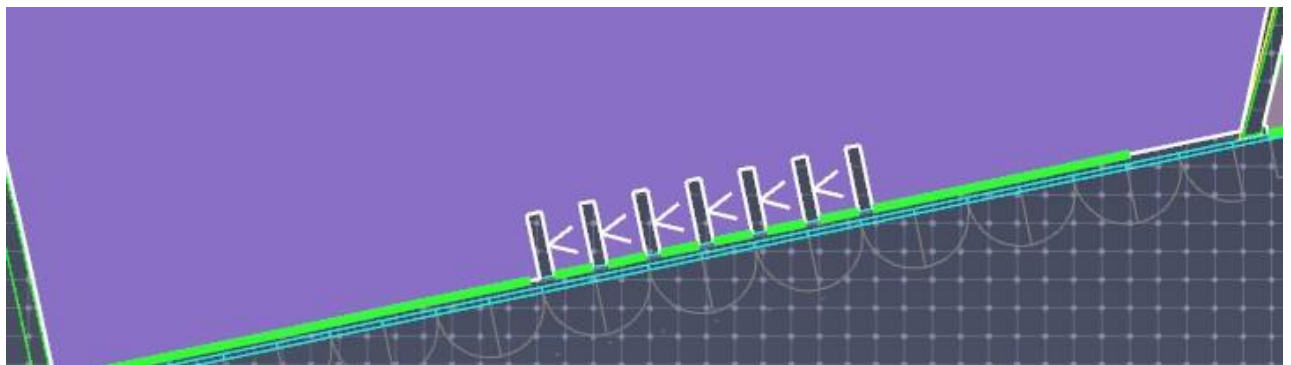


Figura 22 - Exemplos de obstáculos desenhados no software



Figura 23 - Exemplos de obstáculos na saída da arena

A outra etapa para desenvolver o modelo de simulação do Dragão Caixa foi a criação de diferentes perfis para os diversos ocupantes existentes. Na Figura 24, é possível observar os diferentes perfis criados.

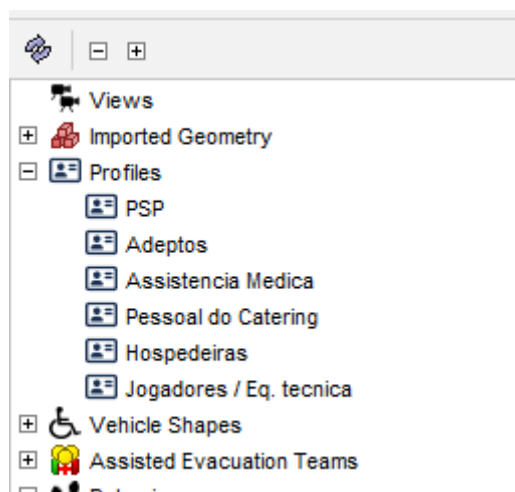


Figura 24 - Exemplos de obstáculos na saída da arena

Seguidamente, foram criados diferentes “Behaviors” com o intuito de se estabelecer algumas normas dos perfis previamente criados. Por exemplo, o behavior nomeado como “PSP” teve a imposição de só começar a evacuação 30 segundos depois da evacuação começar (observado na Figura 27). Este tempo de espera imposto foi pensado pois num caso real onde os elementos da PSP presentes ficariam a encaminhar os adeptos para as devidas saídas. Por fim, de forma a definir o número de perfis com os diferentes behaviors correspondentes às diferentes zonas, criam-se os diferentes ocupantes. Por exemplo, nas Figuras 28 e 29, observa-se os diferentes ocupantes criados para o perfil “Adeptos” do Behavior “Saída Norte”.

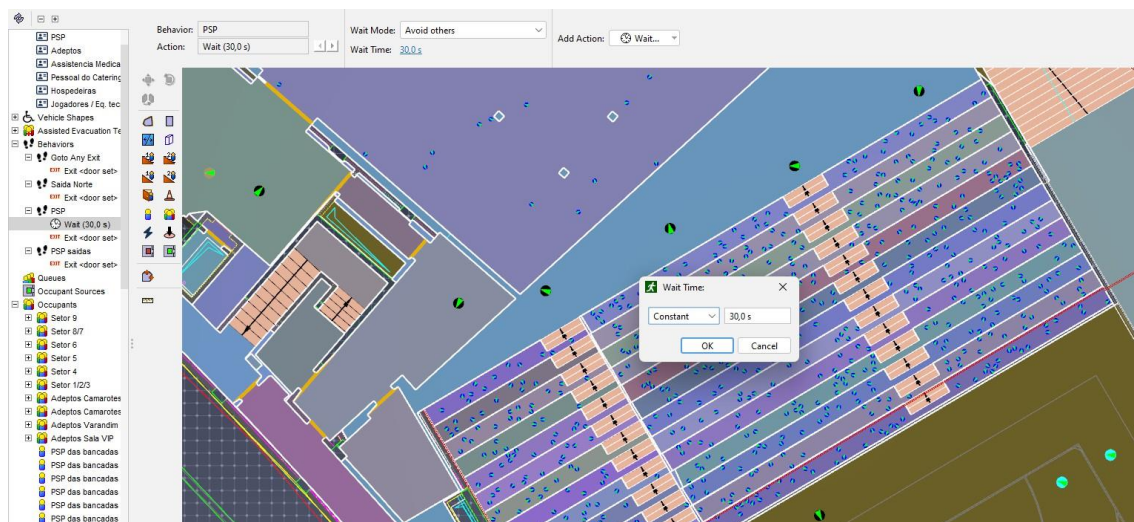


Figura 27 - Tempos de espera imposta para o Behavior "PSP"

Por fim, de forma a definir o número de perfis com os diferentes behaviors correspondentes às diferentes zonas, criam-se os diferentes ocupantes. Por exemplo, nas Figuras 28 e 29, observa-se os diferentes ocupantes criados para o perfil “Adeptos” do Behavior “Saída Norte”.

- ☐ Occupants
- ☐ Setor 9
- ☐ Setor 8/7
- ☐ Setor 6
- ☐ Setor 5
- ☐ Setor 4
- ☐ Setor 1/2/3
- ☐ Adeptos Camarotes
- ☐ Adeptos Camarotes (2)
- ☐ Adeptos Varandim

Figura 28 - Lista dos Occupants



Figura 29 - Detalhes de um dos ocupantes do setor

3.3.2. Validação do Modelo de Simulação

Para validar o software de simulação no PathFinder, foram medidos os tempos de evacuação numa situação real, para que fosse possível comparar com os tempos obtidos do software. Estas medições representam o tempo que uma pessoa demora de um determinado ponto do estádio até uma determinada saída.

Desta forma, foram medidas 21 simulações em vários pontos do Dragão Caixa, na Tabela 6 analisa-se os diferentes tempos e os devidos erros percentuais.

Tabela 6 - Simulação Real vs Simulação Computacional

	Localização Inicial	Localização Final	Simulação Real (s)	Simulação Computacional (Pathfinder) (s)	Erro Percentual (%)
1	Bancada 1	Portada Sul	43,2	46,5	7,64
2	Bancada 2	Portada Sul	41,8	43,5	4,07
3	Bancada 3	Portada Sul	50,8	51	0,39
4	Bancada 4	Portada Sul	53,3	53	0,56
5	Bancada 5	Portada Sul	61,9	63,5	2,58
6	Bancada 6	Portada Sul	73,9	77,3	4,6
7	Bancada 7	Portada Sul	112,5	113,5	0,89
8	Bancada 8	Portada Sul	117,1	118,3	1,02
9	Bancada 9	Portada Sul	129,5	129	0,39
10	Bancada 1 (Camarotes)	Porta Recepção	58,2	59	1,37
11	Bancada 14 (Camarotes)	Porta Recepção	96,8	97,8	1,03
12	Bancada 1 (Camarotes)	Porta Recepção	63,2	62,3	1,42
13	Bancada 14 (Camarotes)	Porta Recepção	24,1	24,5	1,66
14	Sala VIP	Porta Recepção	22,9	24	4,8
15	Sala VIP	Porta Norte	21,3	21,8	2,35
16	Open space P1	Porta Recepção	20,4	21	2,94
17	Balneário 2 P-1	Porta Poente 2	114,8	117	1,92
18	Bancada 9	Porta Recepção	65,7	70,3	7
19	Bancada 7	Porta Nascente Norte	59,8	63,3	5,65
20	Balneário 4	Porta pente 2	53,1	54,5	6,29
21	Centro Arena	Porta poete 2	67,3	69	2,53

Através da análise da tabela, pode-se concluir que a simulação computacional com o software PathFinder apresenta um erro percentual relativamente baixo em comparação com os tempos reais de evacuação, variando entre 0.39% e 7,64%. Isso demonstra a precisão e eficácia do modelo de simulação na estimativa dos tempos de evacuação, evidenciando a sua utilidade na preparação e planejamento de estratégias de evacuação seguras e eficientes para o Dragão Arena. A média dos erros percentuais presentes na Tabela 6 é de 2,8%, o que se conclui que o modelo de simulação do Dragão Caixa é válido.

3.4. Análises de Estratégias de Evacuação

Para as análises das estratégias de evacuação do Dragão Arena com lotação máxima, foi necessário criar variáveis que permitissem averiguar o comportamento dos usuários para um dia de jogo. Assim, para um jogo realizado neste recinto, podem estar presentes aproximadamente 1993 adeptos.

Desta forma, para diferentes ocasiões de emergência, considera-se as seguintes variáveis para calcular o tempo de evacuação:

- Capacidade das saídas de emergência: A quantidade de pessoas que cada saída de emergência consegue acomodar por unidade de tempo e a sua distribuição;
- Comportamento dos adeptos: A resposta dos adeptos ao início do alarme de evacuação, incluindo a velocidade de movimento e a ordem de saída;
- Postos de congestionamento: Identificação de áreas de possíveis aglomerações e congestionamentos;
- Acessibilidade: Avaliação de rotas para pessoas com mobilidade reduzida;
- Orientação feita pela equipa de segurança: Eficiência da equipa de segurança juntamente com a PSP para orientar e os espectadores no decorrer da evacuação.

Assim, a velocidade dos ocupantes da arena pode manteve-se constante, devido à distribuição normal estudada e representado na Figura 30.

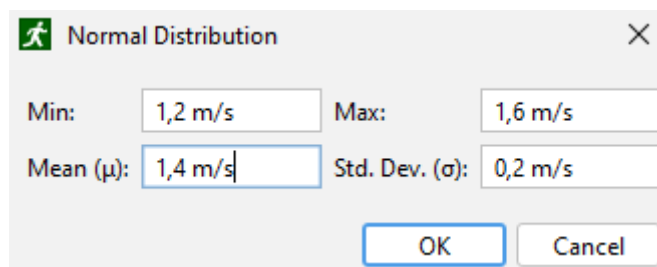


Figura 30 - Distribuição Normal representada no Pathfinder

3.4.1. Cenário 1 – Todas as saídas disponíveis

Neste cenário, todas as saídas do ginásio estão disponíveis para serem utilizadas pelos adeptos na sua evacuação e os ocupantes utilizam as portas mais próximas sem algum tipo de restrição. O objetivo é estudar o tempo necessário para evacuar a arena lotada. O número de ocupantes considera todos os espectadores presentes no ginásio quando lotado, totalizando 1.993 pessoas. Desta forma, neste cenário, os ocupantes dirigem-se até à saída mais próxima.

Tabela 7 - Estudo de tempos para o cenário 1

u=1,4 m/s s=0,2 m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s]	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	300.3
Tempo total (s)	420.3
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas(s)	116.5
Distância Média Percorrida (m)	52.7

A Tabela 7 apresentada contém dados sobre a evacuação de um ambiente simulado, com alguns parâmetros específicos de velocidade e desvio padrão das velocidades dos ocupantes.

- $u = 1,4$ m/s: Velocidade média dos ocupantes;
- $s = 0,2$ m/s: Desvio padrão da velocidade (indicando que todos os ocupantes têm a mesma velocidade).
- Intervalo de velocidades [1,2 m/s, 1,6 m/s]: Faixa de velocidades consideradas na simulação.

O tempo de pré-evacuação é o tempo necessário para os ocupantes prepararem-se e começarem a evacuar após o sinal, é de 120 segundos. O tempo de evacuação, que é o tempo necessário para que todos os ocupantes deixem o recinto, é de 300.3 segundos. Somando-se o tempo de pré-evacuação e o tempo de evacuação, obtém-se o tempo total, que é de 420.3 segundos. Esse valor representa o tempo total desde o momento em que o sinal de evacuação é dado até o último ocupante sair do ambiente.

O tempo médio de evacuação das pessoas é de 116.5 segundos, indicando o tempo médio que cada pessoa leva para evacuar o ambiente. Além disso, a distância média percorrida por cada ocupante durante o processo de evacuação é de 52.7 metros.

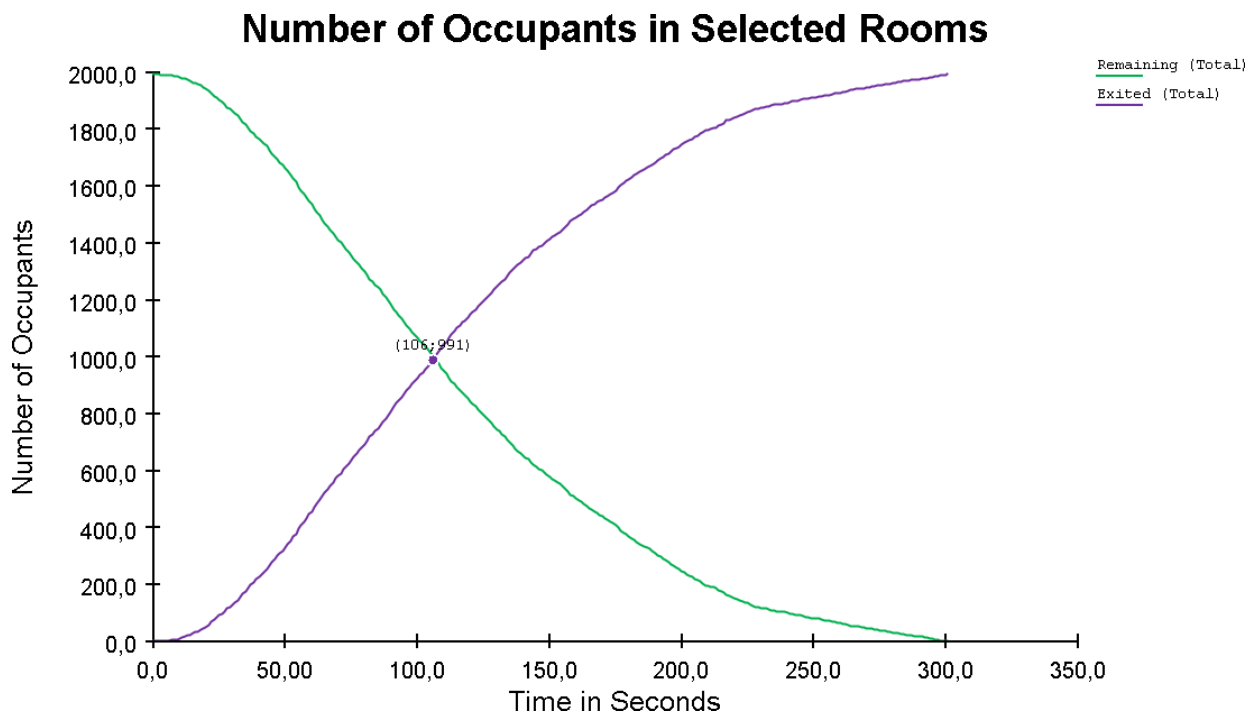


Figura 31 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade media 1,4m/s

Através da Figura 31, concluímos que neste cenário estudado, aos 106 segundos temos 50% dos adeptos retirados da arena em segurança. No entanto, a da relação entre o número de ocupantes e o tempo em segundos mostra-nos que o fluxo de saída dos adeptos decresce, ou seja, levou à necessidade de mais 194.3 segundos para a evacuação do Dragão Caixa.

Conclui-se que para este cenário foram necessários 300.3 segundos para uma evacuação segura da arena.

3.4.2. Cenário 2 – Adeptos das bancadas saem pelas Portadas Sul enquanto os restantes membros pelas saídas mais próximas

Na segunda estratégia os elementos presentes no pavilhão deparam-se, uma vez mais, com todas as saídas todas disponíveis, mas restringindo todos os adeptos a saírem pelas Portadas Sul, ou seja, os elementos dos setores 7, 8 e 9 seriam obrigados a percorrer toda a zona de Circulação Norte e nascente até chegar a saída de emergência pretendida.

Tabela 8 - Estudo de tempos para o cenário 2

u=1,4 m/s s=0,2 m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s]	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	341.0
Tempo total (s)	461.0
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	154.1
Distância Média Percorrida (m)	82.8

Na Tabela 8, o tempo de pré-evacuação permanece constante, mas o tempo de evacuação aumenta para 341 segundos, resultando num tempo total de 461 segundos. O tempo médio de evacuação das pessoas é de 154.1 segundos, e a distância média percorrida por cada ocupante durante o processo de evacuação é de 82.8 metros. Comparando os dois cenários, observa-se que o tempo de evacuação é significativamente maior no segundo cenário (341.0 segundos) comparativamente à primeira (300.3 segundos). Consequentemente, o tempo total de evacuação também é maior na segunda tabela (461.0 segundos) em relação à primeira (420.3 segundos).

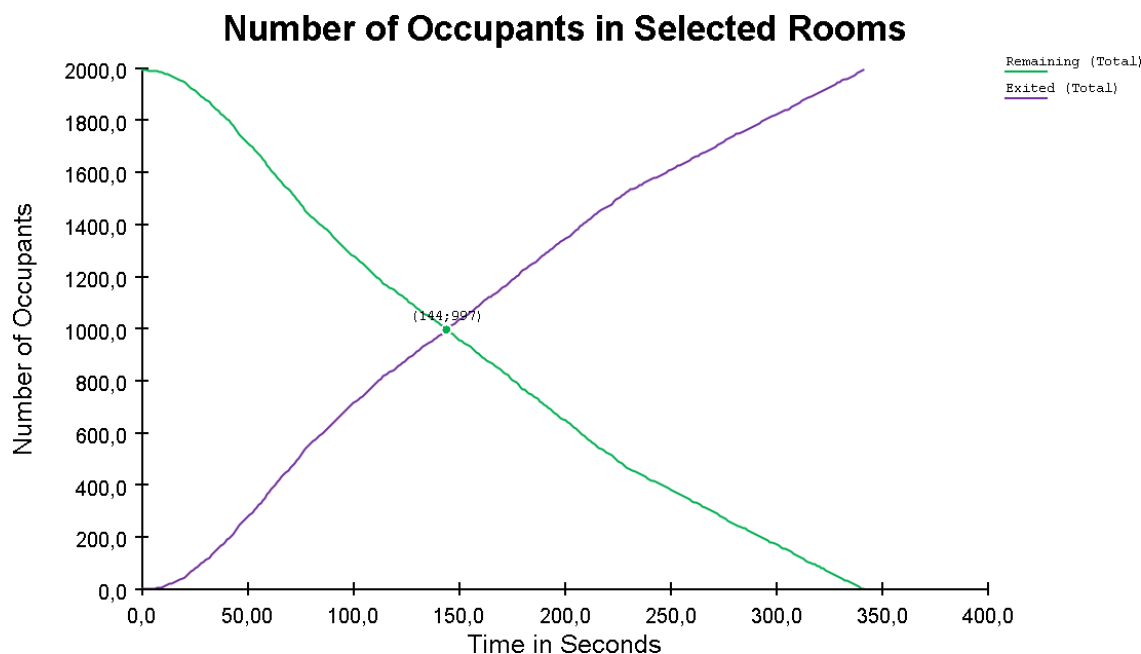


Figura 32 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade média 1,4m/s

Através da Figura 32, verifica-se que é feita uma evacuação constante, ou seja, não há uma grande variação no declive do gráfico, apesar da primeira metade das pessoas ser mais rapidamente evacuada, demorando aproximadamente 144 segundos. Este aumento deve-se ao congestionamento massivo das escadas das bancadas que dão acesso aos devidos corredores.

A estratégia 3 consiste em bloquear todas as saídas do Dragão Arena exceto as Portadas Sul. Com este cenário, os ocupantes mais afastados desta zona (adeptos do Varandim e sala VIP) serão obrigados a fazer um percurso mais longo do que noutro cenário.

3.4.3. Cenário 3 – Todos saem pela zona sul do pavilhão

A estratégia 3 consiste em bloquear todas as saídas do Dragão Arena exceto as Portadas Sul. Com este cenário, os ocupantes mais afastados desta zona (adeptos do Varandim e sala VIP) serão obrigados a fazer um percurso mais longo do que noutro cenário.

Tabela 9 - Estudo de tempos para o cenário 3

u=1,4 m/s s=0,2 m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s]	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	391.5
Tempo total (s)	511.5
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	185.5
Distância Média Percorrida (m)	98.1

Analisando os dados recolhidos, percebe-se que a diferença entre o cenário 3 e o anteriormente estudado (cenário 2) é de 50.5 segundos. Este aumento deve-se ao facto da distância média percorrida ter aumentado, pois os ocupantes da zona norte da arena fazem um grande percurso até chegar à zona de saída pretendida.

Nas figuras 33 e 34 consegue-se perceber o pico de fluxo nas escadas das bancadas 7, 8 e 9.

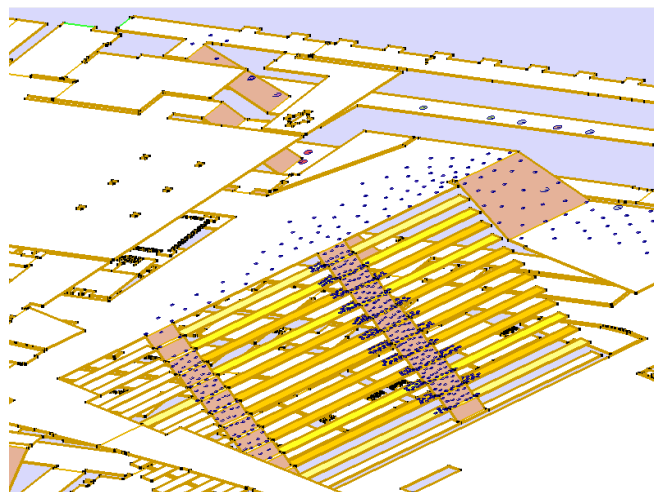


Figura 33 - Representação do fluxo de pessoas

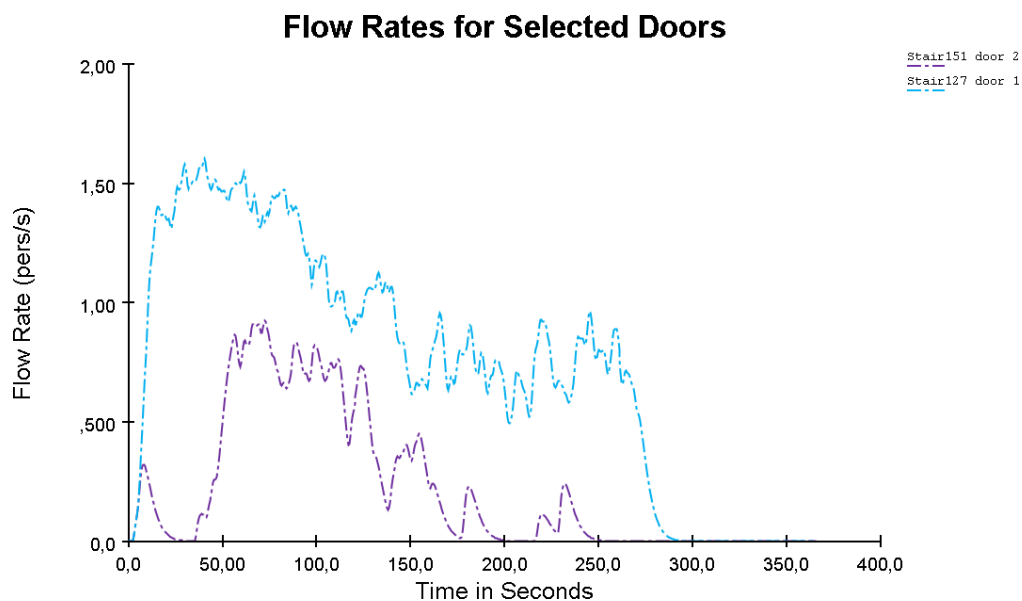


Figura 34 - Representação gráfica para o caudal de pessoas nas escadas selecionadas

O gráfico da Figura 34 mostra a relação entre o fluxo de pessoas (pessoas por segundo) e o tempo (segundos), onde a roxo está representado o fluxo das escadas da bancada 9 e a azul o fluxo de pessoas nas escadas das bancadas 7 e 8. A grande diferença entre o fluxo destes dois pontos de acesso deve-se ao facto da bancada 9 estar completamente separada dos restantes setores por pertencer à claque da equipa visitante, ou seja, as escadas representadas a azul terão o dobro do fluxo.

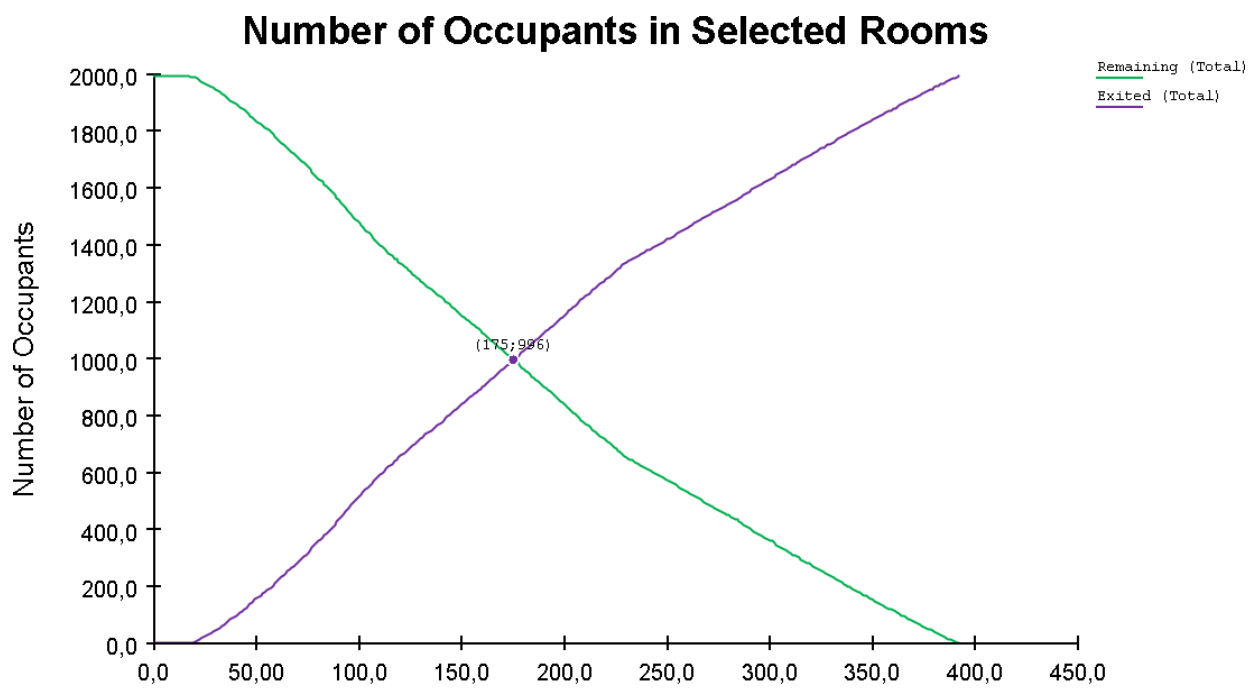


Figura 35 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade média 1,4m/s

Através do gráfico da Figura 35, assemelha-se ao do cenário anterior, ou seja, observa-se uma evacuação constante, onde não há uma grande variação no declive do gráfico ao longo do tempo, apesar da primeira metade das pessoas ser mais rapidamente evacuadas demorando 175 segundos.

3.4.4. Cenário 4 – Todos os ocupantes saem pela zona Norte do pavilhão

Perante o quarto cenário, os ocupantes apenas terão acesso a zona Norte do pavilhão (Porta Poente 1; Porta Poente 2; Porta Receção; Porta Norte; Porta Nascente Norte; Porta Varandim), com isto, todos os adeptos perderão o acesso à Zona Sul sendo obrigados a passar por corredores mais estreitos aumentando o fluxo de adeptos e consequentemente o tempo de evacuação.

Tabela 10 - Estudo de tempos para o cenário 4

u=1,4 m/s s=0,2 m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s]	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	615.8
Tempo total (s)	735.8
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas no Dragão Caixa(s)	244.4
Distância Média Percorrida (m)	117.8

Na Tabela 10, observa-se um grande aumento do tempo total de evacuação. Com a restrição das portas da zona Sul da arena, a trajetória dos adeptos aumenta significativamente, devido aos corredores mais estreitos o fluxo de adeptos aumenta e consequentemente o seu tempo de evacuação.

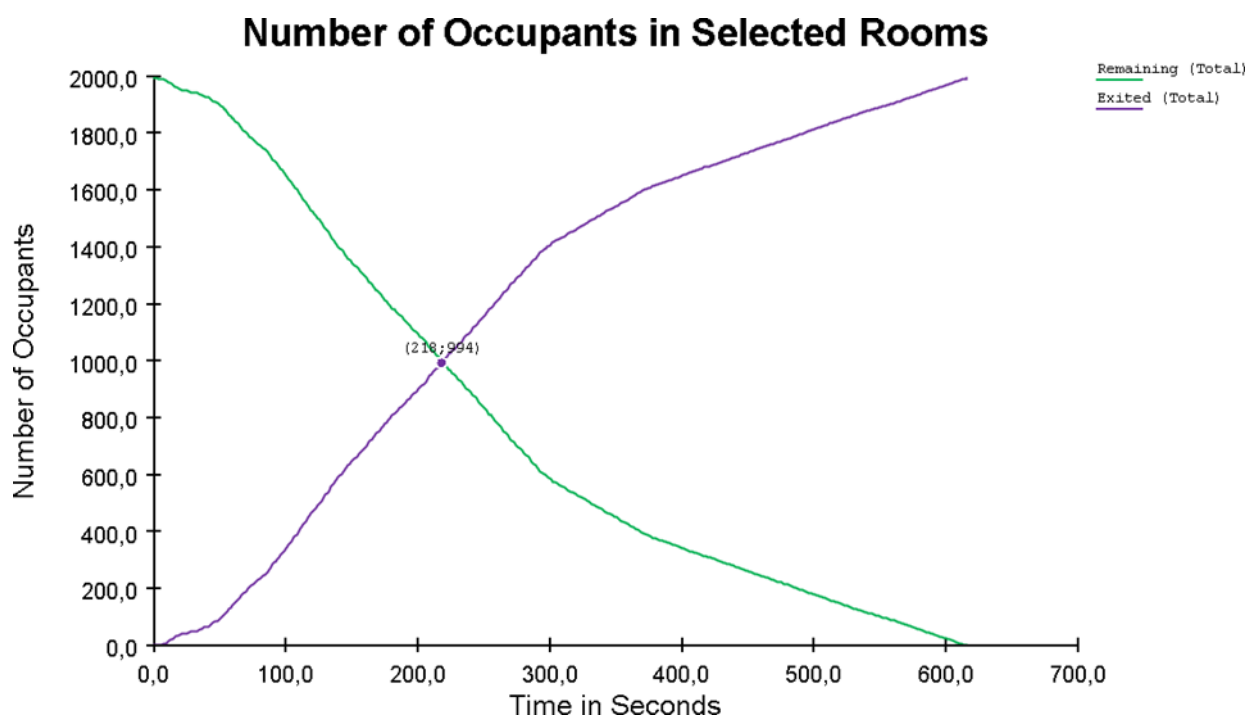


Figura 36 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade média 1,4m/s

No gráfico da Figura 36, deixa-se de ter uma evacuação constante comparativamente com os cenários anteriormente estudados, ou seja, há um aumento na variação no declive do gráfico ao longo do tempo. As variações do declive mostram o número de pessoas a serem evacuadas em segurança ao longo do tempo, quanto menor for o declive do gráfico verde, menos pessoas são salvas por unidade de tempo (segundos). Nos primeiros 100 segundos, o fluxo de ocupantes evacuados é relativamente baixo devido a distância entre a maioria dos ocupantes e as saídas de emergência funcionais. A partir dos 300 segundos vê-se o menor declive deste cenário devido aos corredores estreitos, que influenciam no escoamento dos ocupantes ao longo do tempo.

3.4.5. Cenário 5 – Todos saem pela zona Sul do pavilhão

A estratégia número 5 consiste na utilização das Portas Poete (Porta poente 1; Porta poente 2; Porta Recepção), desta maneira, os ocupantes terão acesso apenas a 3 portas, com piores e mais estreitos acessos.

Tabela 11 - Estudo de tempos para o cenário 5

u=1,4 m/s s=0,2 m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s]	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	506.0
Tempo total (s)	626
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	247.3
Distância Média Percorrida (m)	134.9

Na Tabela 11, vê-se um decréscimo no tempo de evacuação comparativamente com o cenário 4, o trajeto de evacuação é semelhante mesmo excluindo as 3 portas do lado nascente e norte. Tendo em conta que o cenário 5 tem com menos portas disponíveis têm melhores resultados de evacuação. Conclui-se que a orientação pessoal dos ocupantes tem um grande peso nos tempos totais.

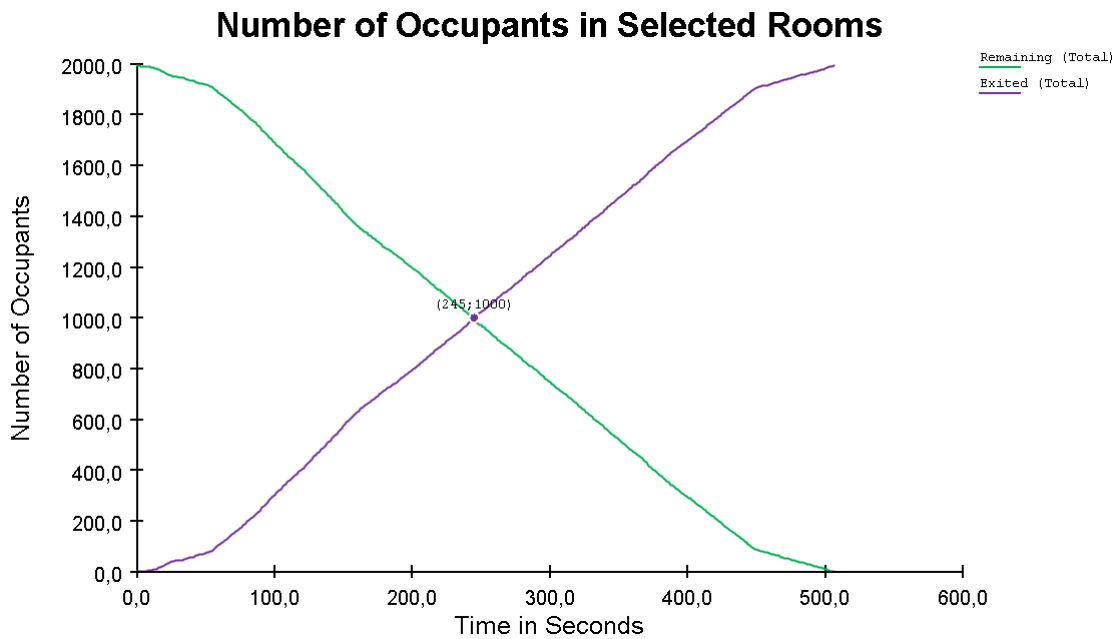


Figura 37 - Evacuação do número de adeptos - Velocidade média 1,4m/s

Com gráfico das Figuras 37 e 38, e da representação da Figura 39, pretende-se estudar o fluxo de pessoas na escadaria das bancadas 1, 2 e 3. A verde no gráfico da Figura 38 e no lado direito da figura 39 representam-se as escadas que separam as bancadas 1 e 2 enquanto a vermelho e no lado esquerdo da imagem representam-se as escadas que separam as bancadas 2 e 3.

Apesar de não haver um motivo válido, observa-se uma grande diferença no fluxo das escadas, sendo a orientação pessoal dos ocupantes um motivo para um acréscimo no tempo de evacuação de qualquer simulação.

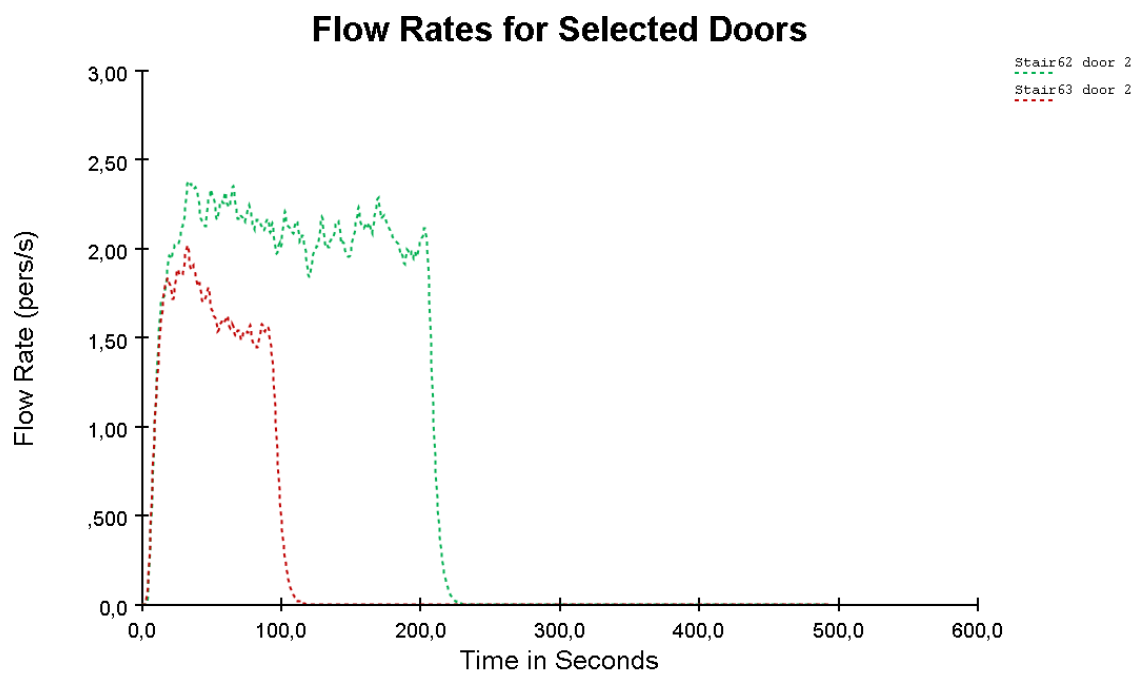


Figura 38 - Representação gráfica para o caudal de pessoas nas escadas seleccionada

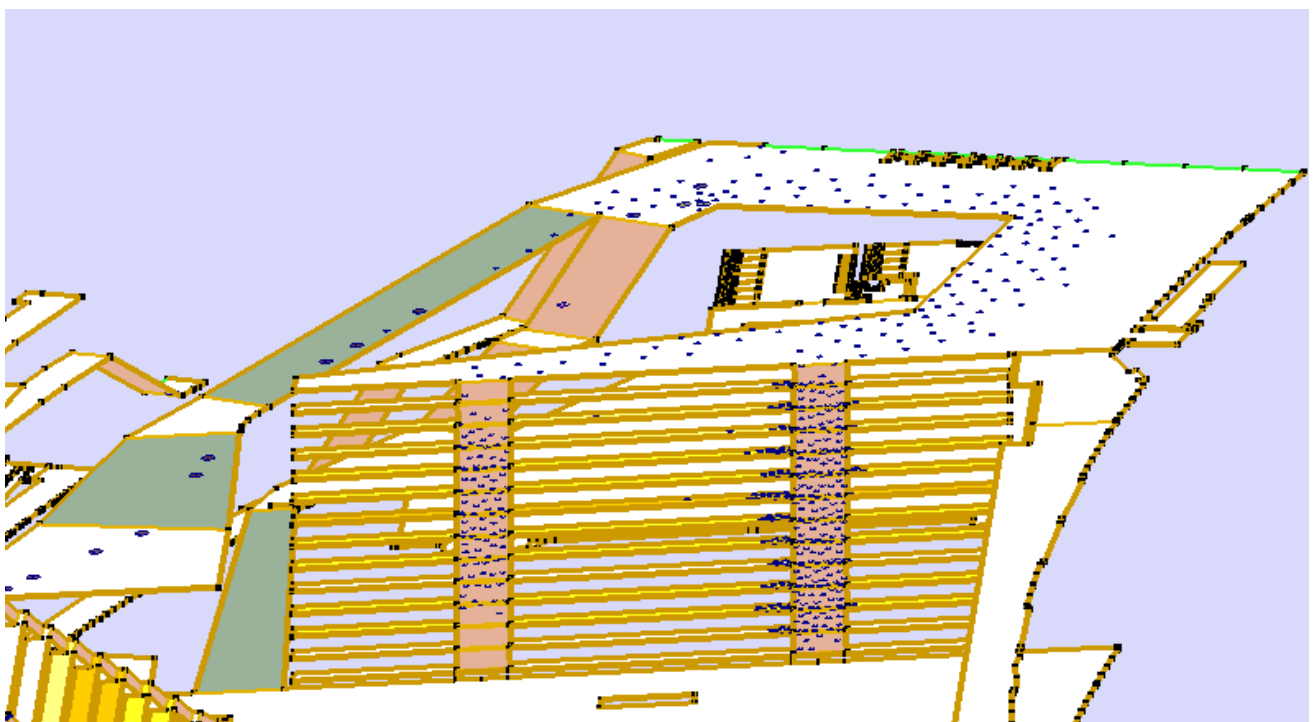


Figura 39 - Representação do fluxo de pessoas

3.4.6. Cenário 6 – Todos ocupantes saem pelas Portas Nascente

O último cenário depara-se com a saída de todos os ocupantes pelas portas do lado Nascente da arena (Porta Nascente Norte; Porta Nascente Setores 4/5/6; Porta Nascente Sul; Porta Varandim).

Tabela 12 - Estudo de tempos para o cenário 6

u=1,4 m/s s=0,2 m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s]	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	539.3
Tempo total (s)	659.3
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	246.2
Distância Média Percorrida (m)	96.2

A Tabela 12 demonstra os resultados para esta simulação, totalizando um tempo total de evacuação de 659.3 segundos. A distância média é bastante menor comparativamente ao cenário anteriormente estudado dado que as saídas se encontram próximas das bancadas, no que toca ao tempo médio de evacuação é relativamente alto, o que indica que há um grande ponto de congestionamento, principalmente na entrada que dá acesso às portas “Porta Nascente 4/5/6” e “Porta Nascente Norte”, como demonstrado na Figura 40.

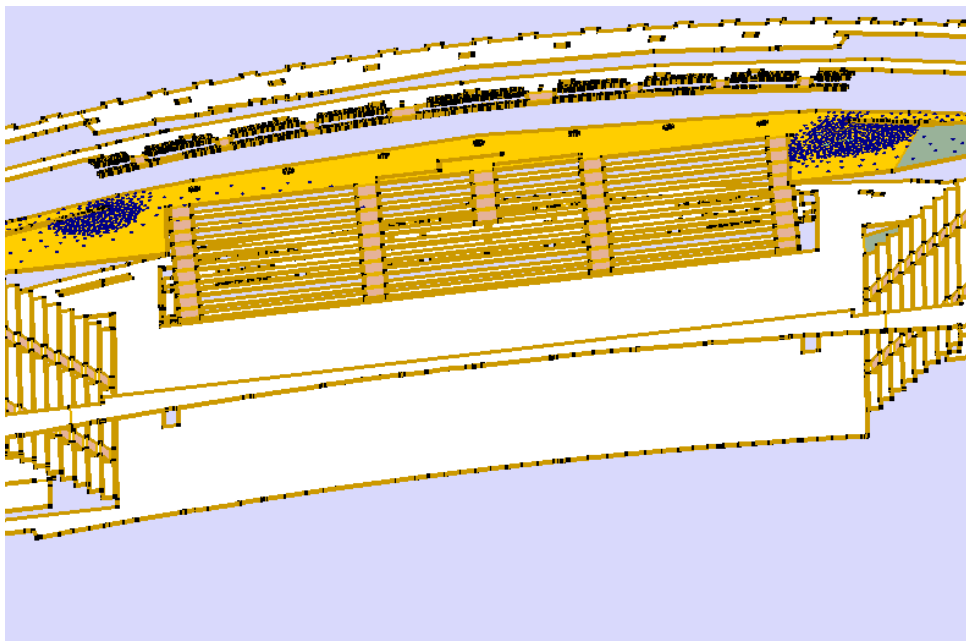


Figura 40 - Representação do fluxo de pessoas

Através do gráfico da Figura 41 é possível concluir que metade das pessoas conseguiram sair do estádio passados, aproximadamente, 231 segundos. O tempo total de evacuação foi de cerca de 539.3 segundos, sendo esse o tempo necessário para a segunda metade de adeptos se deslocar para o exterior do Estádio.

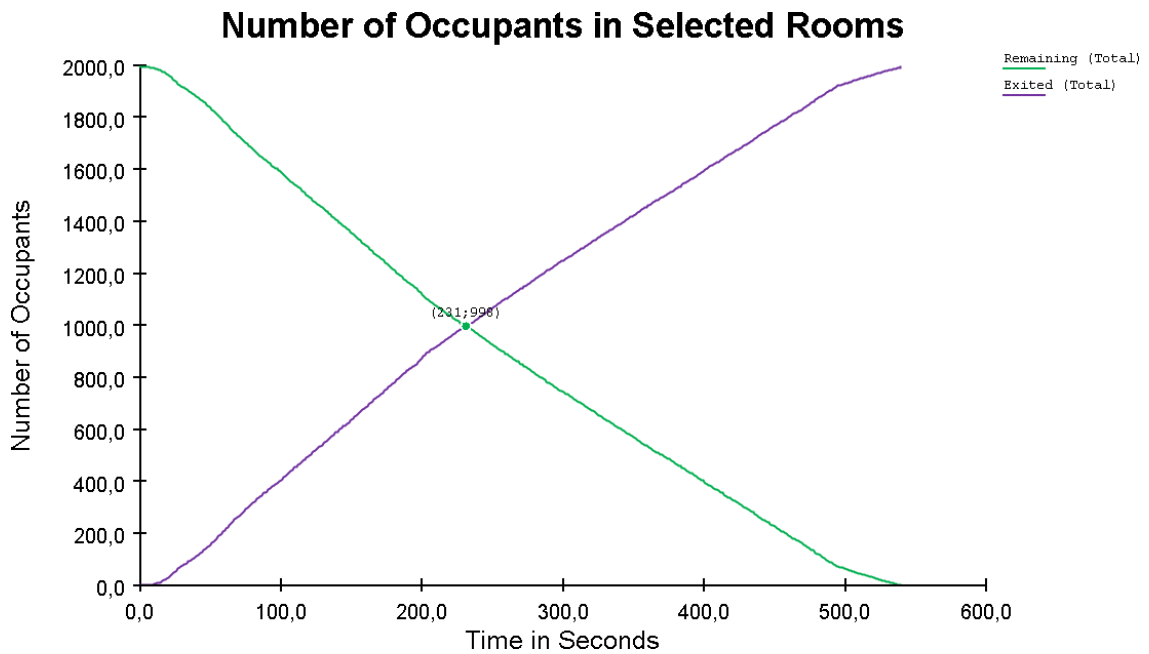


Figura 41 - Evolução do número de adeptos – velocidade média 1,2 m/s

As variações do declive mostram o número de pessoas a serem evacuadas em segurança ao longo do tempo, quanto menor for o declive do gráfico verde, menos pessoas são salvas por unidade de tempo (segundos). Desta maneira, conclui-se que neste cenário o fluxo de saída de ocupantes é muito constante e simétrico entre as portas “Porta Nascente 4/5/6” e “Porta Nascente Norte”.

4. Resultados e Discussão

A análise deste estudo permitiu entender a dinâmica de evacuação no Dragão Caixa, destacando a importância de orientações claras e a disponibilidade de acessos para evitar congestionamentos que atrasam a evacuação completa. Observou-se que, apesar dos ocupantes não terem uma orientação específica, a definição clara dos caminhos a seguir é essencial para prevenir congestionamentos, que podem resultar em atrasos significativos na evacuação total.

4.1. Apresentação de resultados

Com os resultados obtidos foi possível comparar os valores de evacuação referentes à simulação computacional em cada um dos cenários. Analisou-se, ainda, que o número de adeptos em cada bancada e a porta para a qual são dirigidos influencia diretamente no tempo total de evacuação.

Tabela 13 - Estudo de tempos para todos os cenários

Estratégia	Tempo Total de Evacuação (s)	Tempo Médio de Evacuação p/ Ocupante (s)	Distância Média Percorrida p/ Ocupante (m)
1	420,3	116,5	52,7
2	461,0	154,1	82,8
3	511,5	185,5	98,1
4	735,8	244,4	117,8
5	626,0	247,3	134,9
6	659,3	246,2	96,2

A Tabela 13 apresenta os resumos dos tempos recolhidos em todos os cenários estudados. Desta maneira, conclui-se que o tempo ideal de evacuação seria o cenário 1 apesar de ser uma simulação que se afasta da realidade, pois num cenário real os adeptos das bancadas nem sempre podem, por questões de segurança, dirigir-se à porta mais próxima.

Comparando os cenários 4 e 5, que são cenários muito semelhantes, concluímos que o cenário 4 (com mais portas disponíveis), contraditoriamente, tem o maior tempo total de evacuação,

ou seja, vemos a importância de uma boa orientação de cada pessoa e organização da distribuição dos ocupantes para as diferentes portas.

5. Conclusão

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Projeto/Dissertação/Estágio do 2º ano do curso de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O objetivo do trabalho é desenvolver um modelo de simulação de um Pavilhão Desportivo para analisar e melhorar o processo de evacuação. Diversas estratégias foram apresentadas, estudadas e analisadas para compreender o seu impacto neste processo. Nos subcapítulos seguintes, são apresentadas as principais conclusões obtidas neste trabalho, assim como suas limitações e sugestões para futuras investigações.

5.1. Conclusões finais

Esta dissertação foi desenvolvida para estudar a evacuação do Dragão Caixa utilizando simulação computacional. O estudo possibilitou a análise de diferentes estratégias de evacuação, com o objetivo de melhorar o processo e identificar os acessos cruciais para concluir uma evacuação de emergência com sucesso no menor tempo possível. Os resultados obtidos permitem afirmar quais condições são fundamentais para a evacuação da arena:

- o As portadas Sul quando estão indisponíveis para a evacuação dos ocupantes da arena resultam num aumento considerável do tempo de evacuação e um congestionamento adicional nos outros acessos;
- o A zona Norte tem maior dificuldade de escoamento de pessoas visto que, contrariamente à zona sul, é composta por corredores estreitos, mas por outro lado composta por mais opções de saída;
- o Os maiores congestionamentos estão nas escadas das bancadas e na zona de Circulação Nascente;
- o A ausência de orientação faz com que os ocupantes tentem evacuar pelos acessos mais próximos, o que aumenta o congestionamento nos pontos de saída que já possuem maior densidade de pessoas desde o início da evacuação;
- o Quando os elevadores não estão funcionais, torna-se impossível evacuar ocupantes com mobilidade reduzida pela zona norte do pavilhão;

Quanto mais portas de saída estiverem disponíveis para os adeptos, mais rápida será a evacuação, já que os tempos de evacuação são menores quando todas as saídas estão acessíveis.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

A realização deste projeto permitiu dar a conhecer à empresa F.C. Porto diferentes estratégias de evacuação do Dragão Caixa. Possibilitou ainda a identificação de locais críticos e quais têm mais impacto no processo de evacuação da arena.

Este estudo demonstrou a importância da simulação nos processos de emergência em recintos desportivos, onde o tempo é escasso e uma resposta rápida é essencial.

5.3. Dificuldades Sentidas

Numa primeira fase, surgiram dificuldades de adaptação aos softwares. A visualização e interpretação das plantas fornecidas também foi uma dificuldade a ultrapassar pela ausência de alçados, cortes e detalhes construtivos.

5.4. Limitações e Investigação Futura

Para ampliar o alcance do estudo e superar suas limitações, ele pode ser estendido a futuras pesquisas para incluir melhorias necessárias:

- o Analisar o impacto da orientação dos ocupantes no tempo total de evacuação.
- o Simular a presença de ocupantes com mobilidade reduzida para avaliar seu impacto na evacuação da arena.
- o Simular evacuações com separação de claques.
- o Examinar o efeito das mudanças na velocidade dos ocupantes.
- o Avaliar o impacto do distanciamento social no processo de evacuação do pavilhão.
- o Simular a evacuação de famílias juntas para analisar seu comportamento durante o processo de evacuação.

Referências

- Alginahi, Y. M., & Kabir, M. N. (2016). Simulation of building evacuation: Performance analysis and simplified model. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(8).
- Antunes, A. (2005). "Planeamento de sistemas de transporte". Fundação Calouste Gulbenkian.
- BODUR, A. (2021). Assessing fire safety in sports halls: An investigation from Samsun. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 12, 76-84.
- CFPA. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings, CFPA -E No 19:2009 F.
- Couto, A. (2011). Planeamento e gestão de transportes em Portugal. Universidade do Porto.
- Fernandes, L. F. (2014). *Intelligence e Segurança Interna*. Lisboa: ISCPSI.
- FANG, Zhixiang, et al. (2011). A proposed pedestrian waiting-time model for improving space–time use efficiency in stadium evacuation scenarios. *Building and Environment*, 46(9), 1774-1784.
- FANG, Zhixiang, et al. (2013). A space–time efficiency model for optimizing intra-intersection vehicle–pedestrian evacuation movements. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 31, 112-130.
- Gai, W. M., Du, Y., & Deng, Y. F. (2018). Evacuation risk assessment of regional evacuation for major accidents and its application in emergency planning: A case study. *Safety science*, 106, 203- 218.

- Giachini, P., Gonsoulin, J. M., Hart, K. W., Yeung, P. G., Revenko, N. V., & Crowther, K. G. (2010, April). Risk-informed assessment of Scott Stadium evacuation through agent-based simulation. In 2010 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium (pp. 163-168). IEEE.
- Golshani, N., Shabanpour, R., Mohammadian, A., Auld, J., & Ley, H. (2019). Evacuation decision behavior for no-notice emergency events. *Transportation research part D: transport and environment*, 77, 364-377.
- Gravit, M., Kirik, E., Savchenko, E., Vitova, T., & Shabunina, D. (2022). Simulation of evacuation from stadiums and entertainment arenas of different epochs on the example of the Roman Colosseum and the Gazprom Arena. *Fire*, 5(1), 20.
- Hall, S., Cooper, W. E., Marciani, L., & McGee, J. M. (2011). Security management for sports and special events: An interagency approach to creating safe facilities. *Human Kinetics*.
- Hashemi, M. (2018). Emergency evacuation of people with disabilities: A survey of drills, simulations, and accessibility. *Cogent Engineering*, 5(1), 1506304.
- Jonjo, O. S. T. (2018). *Gestão da segurança dos eventos desportivos: um estudo exploratório sobre o policiamento desportivo em Angola-o caso do futebol* (Doctoral dissertation).
- KLÜPFEL, Hubert; MEYER-KÖNIG, Tim. (2005). Simulation of the Evacuation of a football stadium using the CA Model PedGo. In: *Traffic and granular flow'03*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 423-428.
- Klüpfel, H., & Meyer-König, T. (2013). PedGo Guardian: Evacuation Decision Support System for Events. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (pp. 445-454). Cham: Springer International Publishing.
- Minegishi, Y., & Takeichi, N. (2018). Design guidelines for crowd evacuation in a stadium for controlling evacuee accumulation and sequencing. *Japan Architectural Review*, 1(4), 471-485.

MUÑOZ-ARCENALES, Jose Andrés et al. (2014). Adaptive evacuation management system based on monitoring techniques. In: 2014 IEEE Latin-America Conference on Communications (LATINCOM). IEEE, pp. 1-5.

Oliveira Carneiro, L., Cavalcante-Neto, J. B., Vidal, C. A., & Dutra, T. B. (2013, May). Crowd evacuation using cellular automata: Simulation in a soccer stadium. In 2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality (pp. 240-243). IEEE.

Olsson, P. Å., & Regan, M. A. (2001). A comparison between actual and predicted evacuation times. *Safety science*, 38(2), 139-145.

Paul, D. R. (2015). Game day emergency: a flow and vector based GIS stadium evacuation model. The University of Alabama.

Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in construction*, 17(4), 377-385.

Rodríguez, H., Quarantelli, E. L., Dynes, R. R., Sorensen, J. H., & Sorensen, B. V. (2007). Community processes: Warning and evacuation. *Handbook of disaster research*, 183-199

Rovira-Beleta, E., Cuerva, E., Pires de Souza, E., Planas, C., & Alavedra, P. (2015). Accessibility of emergency evacuation of persons with disabilities in public swimming pools in Barcelona, Spain: a review of literature and regulations. *Architectural Engineering and Design Management*, 11(6), 475-487.

Sammut, J. (2001). Sydney 2000: Olympic Stadium Medical Programme. *Prehospital and Disaster Medicine*, 16(S1), S64-S64.

Schomborg, A., Nökel, K., & Seyfried, A. (2011). Evacuation assistance for a sports arena using a macroscopic network model. In *Pedestrian and evacuation dynamics* (pp. 389-398). Boston, MA: Springer US.

- Shi, L., Xie, Q., Cheng, X., Chen, L., Zhou, Y., & Zhang, R. (2009). Developing a database for emergency evacuation model. *Building and Environment*, 44(8), 1724-1729.
- Shirvani, M., & Kesserwani, G. (2021). Flood–pedestrian simulator for modelling human response dynamics during flood-induced evacuation: Hillsborough stadium case study. *Natural hazards and earth system sciences*, 21(10), 3175-3198.
- Shi, L., Xie, Q., Cheng, X., Chen, L., Zhou, Y., & Zhang, R. (2009). Developing a database for emergency evacuation model. *Building and Environment*, 44(8), 1724-1729.
- Soares, I. I. D. S. (2014). O terrorismo e a segurança nos megaeventos desportivos: Caso dos Jogos Olímpicos de Londres (Doctoral dissertation).
- Souza, J. C., & de Castro Brombilla, D. (2014). Humanitarian logistics principles for emergency evacuation of places with many people. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 162, 24-33.
- Tufekci, S., & Kisko, T. M. (1991). Regional evacuation modeling system (REMS): A decision support system for emergency area evacuations. *Computers & industrial engineering*, 21(1-4), 89- 93.
- Wagner, N., & Agrawal, V. (2014). An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2807-2815.
- Wąs, J., & Lubaś, R. (2014). Towards realistic and effective agent-based models of crowd dynamics. *Neurocomputing*, 146, 199-209.
- Wei, Z., Hui, D., & Tong, W. (2009). The application of fire spread and evacuation simulation technology in large stadium. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(4), 433- 439.
- Weerasekara, N. N. (2015). Modeling and simulation of evacuation plan for Hancock Stadium. Illinois State University. ProQuest LLC number 16000 665
- Windhouwer, C. J., Klunder, G. A., & Sanders, F. M. (2005). Decision support system emergency planning, creating evacuation strategies in the event of flooding (pp. 171-180). Royal Flemish Academy of Belgium.

Xie, H., & Weerasekara, N. N. (2016). Modeling and Simulation of the Evacuation Plan for Hancock Stadium. In Construction Research Congress 2016 (pp. 2453-2462).

Xie, H., Weerasekara, N. N., & Issa, R. R. (2017). Improved system for modeling and simulating stadium evacuation plans. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(3), 04016065.

Yi, X. (2011, July). The application research of virtual reality technology in emergency evacuation simulation of sports stadium. In 2011 Seventh International Conference on Natural Computation (Vol. 4, pp. 2300-2303). IEEE.

Yu, J., Pande, A., Nezamuddin, N., Dixit, V., & Edwards, F. (2014). Routing strategies for emergency management decision support systems during evacuation. *Journal of Transportation Safety & Security*, 6(3), 257-273.

Zale, J. J., & Kar, B. (2012). A GIS-based football stadium evacuation model. *Southeastern Geographer*, 52(1), 70-89

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: Henrique de Sá Faria

ISEP, Porto, 9 de julho de 2024

ISEP, Porto, (dia) de (mês) de (ano)

