



ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO DE UMA FÁBRICA DO SETOR DA METALOMECÂNICA

RICARDO MANUEL GOMES PEDRO

Setembro de 2024

ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO DE UMA FÁBRICA DO SETOR DA METALOMECÂNICA

Ricardo Manuel Gomes Pedro

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

Orientador: Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Mónica Glória Cardoso, Professor Adjunto, Departamento Engenharia Mecânica, Instituto Superior Engenharia do Porto

Vogais:

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

Professor Doutor Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professor Auxiliar, Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo, Universidade Aveiro

Agradecimentos

Findada mais esta etapa da minha vida académica e pessoal, quero expressar o meu mais sincero agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para o cumprimento deste meu objetivo pessoal.

Ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior Engenharia Porto, pelo incansável suporte e profissionalismo ao longo deste trajeto. A sua experiência e incentivo foram essenciais para levar o projeto até bom porto.

À empresa Metalocaima SA, na pessoa do Eng.º António Marques de Sousa, pela disponibilidade total das instalações e toda a documentação necessária à elaboração desta dissertação, assim como na compreensão e facilidade de gerir os meus horários de trabalho de forma a conseguir concluir com sucesso este mestrado.

A todos os colegas que me acompanharam durante o mestrado, pelo apoio e companheirismo em todos os momentos, em especial o Lucas Reis e o Natanael Lacerda, com quem tive o prazer de privar mais perto e que sempre me apoiaram na busca dos meus objetivos.

Aos meus sogros, por todo o encorajamento e o suporte diário que em muito contribuíram para o sucesso deste trajeto.

De uma forma muito especial, aos meus pais pelo esforço e dedicação que tiveram no início da minha vida académica e pelo incentivo e suporte que sempre me deram, estiveram sempre ao meu lado em todos os momentos. Aos meus irmãos, pelo incentivo e motivação ao longo do percurso.

Agradecer com o maior dos sentimentos à minha namorada Patrícia, melhor amiga e companheira todos os dias, para quem não tenho palavras para agradecer todo o carinho, apoio, motivação e suporte ao longo de todo este percurso. Todas as ausências, todos os sacrifícios, provamos que juntos é muito mais fácil lá chegar do que sozinho e, melhor do que ninguém, ela sabe e sentiu junto a mim o quão difícil foi chegar aqui.

Por fim, à minha filha Carminho, ainda tão, mas tão pequenina, mas que me deu um incentivo extra enorme em cada sorriso que dá. Agora posso compensar-te por estes meses atarefados.

Não posso deixar de mencionar o Instituto Superior de Engenharia do Porto, pelas excelentes instalações que tem, mas sobretudo, pela estrutura humana, pelos docentes extraordinários que tudo fazem diariamente para formar engenheiros e pessoas de qualidade superior.

Obrigado do fundo do coração.

Resumo

O desenvolvimento da indústria, especialmente na presente Quarta Revolução Industrial, conhecida por Indústria 4.0, obriga a um especial tratamento dos dados e inovação na forma de analisar conteúdo, explorar, identificar problemas e apresentar novas soluções.

A simulação computacional surge como uma das grandes inovações da era. Esta permite a análise dos processos instalados e simular novas situações de acordo com as variáveis que se pretende explorar. Aliar esta ferramenta à importância que uma evacuação eficaz, rápida e segura que uma empresa deve ter, possibilita obter uma base científica para sugestões de melhorias a implementar.

Nesta dissertação explora-se detalhadamente o processo de evacuação de uma empresa metalúrgica, a Metalocaima SA, através de uma simulação computacional. Através do *software Pathfinder*, foi possível analisar uma série de cenários diferentes de evacuação da fábrica. Foram estudadas diferentes combinações com as portas de saída da empresa, assim como o impacto que catástrofes naturais poderiam ter na evacuação dos ocupantes.

Os resultados demonstraram a importância de ter sempre todas as portas de emergência livres e em funcionamento e que devem ser implementadas medidas preventivas para o caso de incêndios ou cheias no exterior da fábrica, de forma aos trabalhadores estarem prevenidos e que o tempo de evacuação seja o mais rápido possível.

Este trabalho demonstrou como a simulação computacional é uma ferramenta com enorme potencial no apoio à decisão, assim como, na gestão da segurança e do processo de evacuação de uma indústria.

Palavras-chave: Indústria 4.0, simulação, evacuação, *Pathfinder*

Abstract

The development of industry, especially during the current Fourth Industrial Revolution, known as Industry 4.0, requires special attention to data management and innovation in how content is analyzed, problems are identified, and new solutions are proposed.

Computer simulation has emerged as one of the major innovations of this era. It enables the analysis of installed processes and the simulation of new scenarios according to the variables that need to be explored. Combining this tool with the importance of an efficient, quick, and safe evacuation for a company provides a scientific basis for suggesting improvements to be implemented.

This dissertation explores in detail the evacuation process of a metallurgical company, Metalocaima SA, through a computer simulation. Using the Pathfinder software, it was possible to analyze a series of different evacuation scenarios for the factory. Different combinations of the company's exit doors were studied, as well as the impact that natural disasters could have on the evacuation of occupants.

The results demonstrated the importance of always keeping all emergency exits clear and operational, and that preventive measures should be implemented in case of fires or floods outside the factory, ensuring that workers are prepared and evacuation time is minimized. This study demonstrated how computer simulation is a tool with enormous potential to support decision-making, as well as to manage safety and the evacuation process in an industrial setting.

KEYWORDS: Industry 4.0, simulation, evacuation, Pathfinder

Índice

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | iii |
| Resumo | v |
| Abstract..... | vii |
| Lista de Figuras..... | xi |
| Lista de Tabelas..... | xiii |
| Acrónimos | xv |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento..... | 1 |
| 1.2. Objetivos | 2 |
| 1.3. Metodologia de investigação | 3 |
| 1.4. Apresentação da empresa Metalocaima SA..... | 4 |
| 1.5. Conteúdo e organização da dissertação | 5 |
| 2. Revisão Bibliográfica | 7 |
| 2.1. Conceito de simulação | 7 |
| 2.2. Simulação na indústria 4.0 | 7 |
| 2.3. A simulação como ferramenta de melhoria em linhas de produção e na evacuação de edifícios..... | 9 |
| 2.4. Importância da evacuação na melhoria da segurança de edifícios e zonas industriais | 15 |
| 3. Estratégias de evacuação de uma indústria do ramo da metalomecânica..... | 17 |
| 3.1. Configuração física da fábrica..... | 17 |
| 3.2. Análise específica de evacuação..... | 22 |
| 3.2.1. Estudo Simulação | 24 |
| 3.2.2. Modelação (Interface Visual e Animação)..... | 24 |
| 3.2.3. Modelo de simulação – Validação | 34 |
| 3.3. Análise cenários/ estratégias evacuação | 37 |
| 3.3.1. Cenário/ Estratégia 1..... | 38 |
| 3.3.2. Cenário/ Estratégia 2..... | 38 |
| 3.3.3. Cenário/ Estratégia 3..... | 39 |
| 3.3.4. Cenário/ Estratégia 4..... | 40 |
| 3.3.5. Cenário/ Estratégia 5..... | 41 |
| 3.3.6. Cenário/ Estratégia 6..... | 42 |
| 3.3.7. Cenário/ Estratégia 7..... | 44 |
| 3.4. Resultados e Discussão..... | 45 |
| 4. Conclusão e trabalhos futuros | 47 |

| | |
|---|----|
| 4.1. Principais contributos da dissertação | 47 |
| 4.2. Valor acrescentado para a empresa Metalocaima e implementação..... | 48 |
| 4.3. Limitações e dificuldades encontradas..... | 49 |
| 4.4. Trabalhos futuros | 49 |
| Referências | 51 |
| Declaração de Integridade | 55 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Empresa Metalocaima SA..... | 4 |
| Figura 2 - Imagem satélite Metalocaima SA, via Google Maps..... | 17 |
| Figura 3 - Desnível ao longo da fábrica..... | 18 |
| Figura 4 - Vista do fundo da fábrica que mostra o desnível | 18 |
| Figura 5 - Escritórios da fábrica | 19 |
| Figura 6 - Pavilhão principal | 20 |
| Figura 7 - Plataforma no pavilhão principal..... | 21 |
| Figura 8 - Escadas do pavilhão principal que dão acesso à zona de lavagem + escadas que dão acesso à zona de montagem de equipamentos de grandes dimensões..... | 21 |
| Figura 9 - Exterior pavilhão novo, usualmente denominado pavilhão Aço-carbono | 22 |
| Figura 10 - Porta escritórios | 22 |
| Figura 11 - Placa de identificação para saída pela porta dos escritórios | 23 |
| Figura 12 - Marcações no chão de fábrica que delimitam o caminho de peões..... | 23 |
| Figura 13 - Saída de emergência da zona de produção | 23 |
| Figura 14 - Interior pavilhão Aço-carbono..... | 24 |
| Figura 15 - Interface PathFinder | 25 |
| Figura 16 - Abrir a janela de pesquisa para importar ficheiro .CAD..... | 25 |
| Figura 17 - Selecionar "Into a new model" para que fosse um modelo criado de raíz | 26 |
| Figura 18 - Seleção das unidades de medida do ficheiro original..... | 26 |
| Figura 19 - Interface com a planta da fábrica | 27 |
| Figura 20 - Desenho do pavilhão de aço carbono por sobreposição da planta, com a opção "Add a rectangular room" | 28 |
| Figura 21 - Adição de um novo piso | 29 |
| Figura 22 - Campo "Add a new door" e definição da mesma no modelo..... | 29 |
| Figura 23 - Escadas entre os dois pisos dos escritórios e escadas entre o piso 1 dos escritórios e a plataforma do pavilhão principal | 30 |
| Figura 24 - Definição dos corredores através do campo "Add a thin wall" | 31 |
| Figura 25 - Perfis criados para os colaboradores..... | 31 |
| Figura 26 - Ocupantes dos diversos setores da fábrica | 32 |
| Figura 27 - Configuração dos ocupantes | 32 |
| Figura 28 - Comportamentos dos ocupantes | 33 |
| Figura 29 - Visualização 3D do movimento dos colaboradores durante a simulação..... | 34 |
| Figura 30 - Visualização 3D e os vários níveis da fábrica | 34 |
| Figura 31 - Identificação zonas fábrica (parte 1) | 36 |
| Figura 32 - Identificação zonas fábrica (parte 2) | 36 |
| Figura 33 - Relação entre a velocidade média de deslocação e a iluminação média do espaço..... | 37 |
| Figura 34 - Parâmetros de velocidade dos ocupantes definida no modelo computacional | 37 |
| Figura 35 - Ocupantes com a evacuação mais crítica, devido ao bloqueio da porta representada pelo "X" vermelho | 39 |
| Figura 36 - Vista aérea da Metalocaima, Google Maps em 2020 | 43 |

| | |
|---|----|
| Figura 37 - Vegetação densa que envolve a fábrica | 46 |
| Figura 38 - Plano de emergência atual da empresa | 48 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Casos de estudo de modelos de simulação computacional | 10 |
| Tabela 2 - Medições reais, de simulação e percentagem de erro para validação do modelo de simulação computacional | 35 |
| Tabela 3 - Resultados Cenário 1 | 38 |
| Tabela 4 - Resultados Cenário 2 | 39 |
| Tabela 5 - Resultados Cenário 3 | 40 |
| Tabela 6 - Resultados Cenário 4 | 41 |
| Tabela 7 - Resultados Cenário 5 | 42 |
| Tabela 8 - Resultados Cenário 6 | 43 |
| Tabela 9 - Resultados Cenário 7 | 44 |
| Tabela 10 - Sumário dos resultados obtidos nos diversos cenários/ estratégias | 45 |

Acrónimos

Lista de Acrónimos

| | |
|------|---|
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| ISEP | Instituto Superior de Engenharia do Porto |
| SA | Sociedade Anónima |
| EN | <i>European Norm</i> (Norma Europeia) |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização) |
| ASME | <i>American Society of MEchanical Engineers</i> (Associação Americana de Engenheiros Mecânicos) |
| PME | Pequena Média Empresa |
| GD | Grandes Dimensões |
| AC | Aço-Carbono |

1. Introdução

Este primeiro capítulo é iniciado com o enquadramento da presente dissertação, com destaque na apresentação mais detalhada da temática a desenvolver. Serão, de seguida, abordados os objetivos deste estudo que servirão de base para uma posterior análise do sucesso do mesmo, assim como aspetos que possam vir a ser melhorados. A metodologia de investigação e uma breve análise à estrutura da dissertação também serão pontos a destacar neste capítulo. Por fim, uma primeira abordagem à empresa em foco neste estudo.

1.1. Enquadramento

O presente estudo surge na necessidade de atualizar e melhorar os planos de evacuação em ambiente industrial, mais especificamente na empresa Metalocaima SA, localizada em Mansores (Arouca).

Deve-se considerar o processo de evacuação como uma parte fundamental na forma como se deve controlar e atuar quando surgem situações de emergência ou desastres [1]. O risco de existirem vítimas humanas e perdas económicas é considerável e, assim, uma evacuação de emergência eficaz é muito importante. Garantir a segurança dos ocupantes numa emergência, melhorar e tornar mais eficazes as medidas e condições de evacuação na tentativa de evitar vítimas e minimizar perdas económicas são pontos fulcrais na gestão de uma fábrica [2].

Em busca de respostas e soluções mais eficazes e seguras para a empresa Metalocaima, decidiu-se explorar as potencialidades da simulação e dos modelos computacionais neste estudo.

Tem-se verificado que nos ambientes empresariais existe uma crescente complexidade e um aumento significativo na quantidade de dados obtidos, tornando essencial a modelização avançada e métodos informáticos como suporte [3]. Assim, podemos assumir que a introdução destas novas ferramentas, máquinas virtuais e inteligentes, robôs industriais e a necessidade de se produzir/ desenvolver novos sistemas computacionais para simulação e controlo das linhas de produção para obtenção de dados, implica uma transformação na indústria [4].

Sabemos que atualmente, todo o planeta se está a tornar cada vez mais competitivo, que existe uma especial atenção ao detalhe e que há uma necessidade crescente na procura de soluções eficientes para questões da engenharia, tendo como objetivo otimizar cada pequeno passo do processo de resolução de problemas. Assim, antes de se debruçar efetivamente no mesmo, é de extrema importância escolher o método ou métodos, a ferramenta ou ferramentas mais adequadas [5].

Nesta dissertação será explorada uma dessas ferramentas, a modelação por simulação. Os métodos de simulação têm a capacidade de superar algumas das limitações ou restrições existentes na teoria e na experiência de outrora. Dessa forma, passaram a ser utilizadas em larga escala na prevenção de catástrofes e para análise da segurança de evacuação [6]. Neste modelo, pretende-se averiguar o comportamento dos ocupantes da empresa em diversos cenários em que seja necessário proceder-se a uma evacuação e otimizar esse processo, procurando sempre garantir a segurança dos mesmos e minimizar perdas económicas para a empresa.

Para o presente trabalho serão utilizados dados de uma empresa metalúrgica, do ramo da Metalomecânica. Na mesma, são produzidos reservatórios/ tanques, essencialmente em aço inoxidável, mas também em aço carbono pontualmente. Estes equipamentos poderão ser pressurizados ou atmosféricos, o que faz com que seja necessário um estudo e dimensionamento para a produção. Este trabalho é realizado por uma equipa de engenheiros, pertencentes ao departamento técnico-comercial. A empresa em questão está certificada pelas normas europeias EN13445 e EN1090, e também pela norma americana ASME e está certificada pela ISO 9001 e ISO 14001.

A empresa possui um plano de evacuação que remonta ao ano de 2015 e que se encontra desatualizado. Como tal, este estudo identifica-se como algo que pode preencher uma lacuna atual da empresa.

1.2. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo explorar a potencialidade da modelação por simulação num plano de evacuação, neste caso concreto, numa fábrica da indústria metalomecânica. A Metalocaima possui um plano de evacuação que data de 2015 e está sempre na busca de encontrar melhorias e soluções que façam engrandecer a mesma. Desde a criação deste plano, a empresa já sofreu alterações a nível físico com o aumento das instalações e a nível de mão de obra com o aumento do número de colaboradores. Juntamente a isso, é uma empresa familiar que busca um crescimento sustentado, com melhorias significativas a nível de maquinaria nos anos recentes e que aposta na formação dos seus colaboradores e mão de obra qualificada, procurando manter os mesmo de forma permanente. Assim, atualizar e aprimorar o seu plano de evacuação em caso de emergência era algo discutido internamente com frequência, sendo que este estudo foi desenvolvido em estreita colaboração com a empresa, de forma que, num futuro muito próximo, se possa aproveitar a análise deste para implementação interna.

Para se obter resultados para análise e se poder afirmar como confiáveis, é importante atingir pequenos patamares intermédios, de forma a sustentar este estudo:

- Revisão bibliográfica: como qualquer estudo, a revisão bibliográfica é parte integrante e de extrema importância
- Modelação por simulação
 - Modelação de sistema computacional da fábrica: através deste ponto, poderemos analisar de uma forma computacional o modo de funcionamento

- Análise de diversos cenários/ estratégias: perceber o comportamento dos colaboradores perante diferentes adversidades que possam surgir
- Análise de resultados: perante os resultados e evidências, procurar perceber quais os planos mais eficazes e que levam a uma maior segurança dos colaboradores e empresa
- Implementar as melhorias: procurar implementar os pontos mais simples e, juntamente com a empresa, desenvolver estratégias para realizar pontos mais complexos

Estes objetivos vão de encontro à compreensão da dinâmica de evacuação em edifícios industriais, mas também como um meio para fornecer à empresa Metalocaima novas ideias e soluções para aprimorar o seu plano de evacuação interno e, assim, promover um ambiente mais seguro e para os seus colaboradores, consequentemente.

1.3. Metodologia de investigação

Como já referido anteriormente, a metodologia utilizada teve como princípio uma revisão bibliográfica cuidada. Este é um ponto importante, onde deve ser criada uma base coerente e fidedigna, de forma a tomar o estudo confiável para quem o analisa. Foi realizada uma pesquisa, essencialmente em artigos e casos de estudo. Todas as fontes foram verificadas, de forma a garantir que a sua utilização é uma mais-valia e acrescenta valor a esta mesma dissertação.

É muito importante perceber que a simulação é um método mais demorado e mais dispendioso que outros métodos analíticos clássicos, mas tem a vantagem de eliminar deficiências existentes nesses métodos, assim como resolver problemas mais complexos que não seriam resolvidos por métodos mais convencionais [7].

Após esta revisão, o foco irá incidir no caso de estudo. Para a simulação, será utilizado o *software PathFinder*. Este *software* permite modelar qualquer edifício ou importar geometrias complexas que estejam em ficheiro CAD e permite que os usuários projetem em duas e três dimensões [8].

Procedeu-se à modelação computacional da empresa na sua estrutura física. De seguida, foram criados diversos cenários, com variáveis alteradas entre eles, de forma a se analisar o comportamento dos ocupantes, procurando encontrar pontos críticos ou falhas que possam ser melhorados e aprimorados.

Após essa modelação das diversas estratégias, as mesmas serão testadas a nível computacional. O *software* permite explorar essas variâncias, fornecendo dados precisos e qualificados, permitindo efetuar uma análise positiva aos mesmos em busca de soluções para encontrar o melhor plano de evacuação geral e definir comportamentos em caso de acidentes ou catástrofes.

Por fim, após a obtenção de conclusões viáveis e eficazes, procurar-se-á introduzir as mesmas na empresa, de forma a melhorar o ambiente fabril, garantindo uma maior segurança para os colaboradores.

1.4. Apresentação da empresa Metalocaima SA

Efetivamente, o objetivo principal desta dissertação é analisar diferentes estratégias de evacuação da fábrica em estudo, utilizando o *software* de simulação *PathFinder*.

A fábrica em análise, Metalocaima SA, apresentada na Figura 1, é pertencente ao ramo da metalomecânica, com processos de construção e soldadura bastante qualificados. Teve o seu início no princípio dos anos 80, na produção de cubas para a indústria vinícola. Aos dias de hoje, tem um leque de produtos muito mais alargado, abrangendo indústrias de bebidas, alimentares, química e, mais recentemente, produzindo equipamentos para a indústria do hidrogénio.



Figura 1 - Empresa Metalocaima SA

Assim, com um desenvolvimento sustentado e procurando crescer no mercado, a empresa tem sofrido algumas alterações a nível estrutural, tanto físico como de mão de obra. Tem investido em equipamentos tecnológicos que lhe permite maior eficiência e qualidade nos equipamentos produzidos, assim como tem investido em mais mão de obra, com foco na mão de obra qualificada e com capacidade de acrescentar valor à empresa. A nível estrutural, construiu um novo pavilhão nas traseiras do existente, para poder dar resposta a pedidos de clientes com materiais e requisitos diferentes dos habituais.

Em laboração normal, a fábrica conta com 35 funcionários, sendo 12 alocados aos escritórios e 23 à produção/ chão de fábrica.

Importante também referir, que a empresa Metalocaima se encontra situada entre terrenos desocupados e com uma vasta vegetação, pelo que o risco de incêndio durante as alturas quentes do ano é uma preocupação elevada.

1.5. Conteúdo e organização da dissertação

A presente dissertação será composta por 4 capítulos principais: Introdução, Revisão Bibliográfica, Estratégias de evacuação de uma indústria do ramo da Metalomecânica e Conclusão.

No primeiro capítulo procura-se dar uma base para o que será apresentado na dissertação. É importante fazer uma contextualização correta, dar a conhecer a empresa que servirá de base para o estudo, explicar a metodologia e, claro, como está organizada esta dissertação para uma melhor compreensão dos seus leitores. Por fim, uma breve introdução à empresa que serve de base a esta dissertação.

Na Revisão Bibliográfica, apresenta-se a matéria teórica, sólida, que serve de pilar fundamental ao trabalho realizado. Apresenta-se o que é a simulação, a sua importância na indústria como ferramenta de melhoria quer em linhas de produção como na evacuação de edifícios e a preponderância da evacuação na melhoria da segurança de edifícios e a importância desta na indústria. Serão também abordados casos de estudo em que a modelação por simulação foi utilizada e qual o seu contexto na Indústria 4.0.

Quanto ao capítulo relativo às estratégias de evacuação, serão apresentados os vários cenários modelados e testados, para averiguar o comportamento dos ocupantes e obter resultados em busca de compreender os riscos que existem nos diversos momentos de uma evacuação. Um dos pontos importantes a realçar neste terceiro capítulo é a validação do modelo computacional criado. Neste capítulo serão também abordados os Resultados e Discussão em que, como o próprio nome indica, serão abordados os resultados obtidos. A discussão dos mesmos é parte fulcral para se compreender se o estudo foi eficaz e compreender em que condições a evacuação se dá de forma segura e perante que adversidades é importante tomar medidas extra para garantir a segurança dos colaboradores e minimizar perdas.

Por fim, o capítulo da Conclusão, onde serão apresentadas as conclusões finais, os contributos para a Metalocaima e perspectivas de futuro para novos trabalhos e objetivos (a desenvolver futuramente) e ainda as Referências Bibliográficas que serviram de base a esta dissertação.

2. Revisão Bibliográfica

Neste segundo capítulo é feita uma abordagem à fundamentação teórica da dissertação. O mesmo será dividido em quatro subcapítulos já referenciados anteriormente. Estes são baseados em literatura já existente sobre o tema, assim como as ferramentas mais importantes para a construção do modelo de simulação.

2.1. Conceito de simulação

Atualmente, as empresas de produção deparam-se frequentemente com questões de mercado desafiadoras, tanto em relação à complexidade dos produtos como às exigências dos seus clientes. Para se manterem competitivas no mercado, é necessário tomar decisões fortemente influenciadoras para o ciclo produtivo e devem ser tomadas com cuidado [9].

A programação e o planeamento avançado são duas ferramentas poderosas, capazes de analisar e demonstrar situações que descontrolam ou prejudicam o ciclo produtivo de uma linha [10]. Relativamente à simulação, podemos afirmar que existem vários tipos e que é uma ferramenta com bastante poder, usada, principalmente, para fazer uma análise e avaliação em novos projetos, modificar sistemas que já existam ou propor mudanças em sistemas de controlo e regra operacionais [11].

Enquanto ferramenta, a simulação serve como meio de investigação virtual do comportamento de um sistema em estudo. Podemos considerar esta análise como uma série de experiências ou tentativas do tipo “e se” realizados por meio de uma simulação. Ao alterar as variáveis na simulação, podemos observar e prever alterações ao sistema [12].

A simulação de evacuação permite determinar uma forma eficaz de evacuar um aglomerado de pessoas para um local seguro durante uma emergência. Esta tecnologia tem revelado ser uma ferramenta com um enorme potencial para uso em evacuação de edifícios e para novas pesquisas relacionadas com esta ação [13].

Assim, podemos dizer que as simulações imitam processos do mundo real e criam soluções prováveis e otimizadas [14].

2.2. Simulação na indústria 4.0

Existe uma consciência geral que vivemos perante um aumento exponencial do poder computacional. A simulação pode assumir um papel poderoso na tomada de decisão no

controle de sistemas de produção na Indústria 4.0/ Era da Internet. Assim, é fulcral que existam melhorias significativas na eficiência computacional no que à simulação diz respeito [15].

Ao analisar literatura dedicada à Indústria 4.0, fica claro que a simulação irá certamente contribuir para esta revolução, principalmente em [16]:

- Troca automatizada de dados – Será possível receber dados em tempo real e transmitir ao *software* de simulação;
- Geração automática de modelos – Existirá certamente, a capacidade de gerar modelos automaticamente. As empresas serão dinâmicas e os *softwares* capazes de produzir modelos, tendo em conta as necessidades e restrições da empresa, com base nos dados que receber automaticamente;
- Visualização – A facilidade e clareza cada vez mais evidentes de visualizar sistemas complexos, de forma rápida e sem esforço, através de ambientes de realidade virtual ou realidade aumentada.

As novas tecnologias associadas à produção, como os modelos de simulação, são consideradas parte integrante e importante no esforço que tem sido feito continuamente para que se possa melhorar máquinas e processos de fabrico automatizados na indústria. Estas ferramentas de simulação apresentam-se como uma séria vantagem tanto na fase inicial de projeção de uma linha, assim como, durante o processo para sua otimização e melhoria [17].

A simulação é uma ferramenta ideal para a conceção de modelos de exploração e planeamento para otimizar a tomada de decisão, assim como o projeto de sistemas mais complexos de produção. Seria então de esperar que fosse uma parceira na Indústria 4.0 na avaliação de riscos, despesas, impacto do desempenho de linhas de produção, mas, no entanto, são até agora poucos os estudos que incidem sobre a influência da simulação na Indústria 4.0 [18].

A indústria 4.0 demonstra uma mudança significativa nas operações fabris, com melhorias significativas na qualidade, eficiência e custo. Tem também o poder de potenciar muitos aspetos da segurança e gestão de riscos. É de realçar que deve existir um esforço conjunto entre empregador e trabalhador para a garantia de um local de trabalho seguro [19].

Nos últimos anos tem existido um entusiasmo alargado em relação ao potencial da conjunção da Indústria 4.0 e aos sistemas digitais que, ao longo de décadas, têm sido aplicados para apoiar e suportar a gestão de segurança das empresas. Contudo, deve-se entender que o processo de gestão de segurança e análise de riscos continuam a ser um dos maiores desafios apresentados às empresas em geral [20].

Assim, pode-se afirmar que a política de segurança é implementada e determinada pela gestão de segurança e esta intimamente interligada com a eficiência e desenvolvimento industrial. Como tal, a Quarta Revolução, Indústria 4.0, chega com enormes desafios, mas também recheada de oportunidades para a gestão da segurança [21].

2.3. A simulação como ferramenta de melhoria em linhas de produção e na evacuação de edifícios

A indústria moderna procura obter suporte de *softwares* de simulação de forma a poder definir, otimizar e simular com mais exatidão processos produtivos. Pelos resultados que obtêm nestes estudos conseguem determinar e analisar com mais profundidade as especificações e parâmetros inerentes às linhas de produção [22].

A principal vantagem da simulação é a sua fácil compreensão e justificação perante um gestor ou clientes, comparativamente a outros modelos analíticos. No entanto, poderemos enumerar outras vantagens [23]:

- Apresenta maior credibilidade porque compara a simulação com a realidade;
- É possível testar novos designs e layouts sem necessidade de obter ou implementar recursos;
- Consegue-se identificar os *bottlenecks* (gargalos), tanto na informação, como no material ou fluxo do produto;
- Permite simular hipóteses de justificar como ou o porquê de determinado problema num sistema;
- Permite controlar o tempo, testar para um espaço temporal mais prolongado e fazer previsões;
- Permite a experiência de testar situações menos positivas e responder às questões “e se”.

No entanto, a simulação enquanto modelo de apoio à decisão também apresenta desvantagens. A utilização de um modelo de simulação requer prática. É algo que se vai aprendendo ao longo do tempo e com a experiência ganha. Ao mesmo tempo, se duas simulações forem efetuadas para o mesmo sistema, por duas pessoas diferentes, provavelmente não serão iguais, mesmo ambos sendo competentes na sua função [24].

Podemos encontrar outras desvantagens na simulação como [24]:

- Dificuldade na interpretação dos resultados. Como a grande parte dos resultados gerados provém de variáveis aleatórias, por vezes fica complicado perceber se uma observação é de facto determinada por um conjunto de fatores relacionados, ou simplesmente de aleatoriedade;
- O processo de simulação pode ser algo demorado e dispendioso monetariamente;
- A simulação ser usada de forma inadequada;
- Limitações nos softwares de simulação.

Quanto ao *software* que é utilizado como ferramenta ao modelo de simulação, este denomina-se *Pathfinder*. Este permite a elaboração de um modelo tridimensional, sendo possível obter dados básicos na gestão de emergências e modelar cenários de evacuação, analisando a sua eficiência e dificuldades neste processo [25].

O *Pathfinder* apresenta-se como um modelo movimento/ comportamento. O *software* permite ao usuário edificar qualquer estrutura ou importar geometrias complexas *CAD*, sem limitações relevantes. Dois conjuntos de variáveis são definidos: perfil e comportamento do ocupante. Para além disso, o *software* admite que se definam rotas predefinidas e as saídas acessíveis a cada ocupante. Outra variável importante disponível é a velocidade dos ocupantes. O processo de simulação termina quando todos os ocupantes tiverem usado uma das saídas disponível para o efeito [26].

Assim, conclui-se que uma das principais vantagens da modelação computacional da evacuação é a capacidade de avaliar os parâmetros dos cenários mais críticos, quais os ocupantes mais críticos e qual a influência da escolha da porta de saída. Torna-se possível uma avaliação geral das condições existentes e das condições críticas que podem ocorrer durante um processo de evacuação, procurando garantir a segurança de todos os ocupantes [1].

De forma a demonstrar como a simulação tem sido usada na indústria, quer a nível de melhorias de produção, quer a nível de evacuação e gestão de segurança, serão aqui apresentados diversos casos de estudo. Estes estudos, apresentados na Tabela 1, ajudam a reforçar o papel importante da simulação na indústria e como esta ferramenta tem sido usada regularmente ao longo dos últimos anos.

Tabela 1 - Casos de estudo de modelos de simulação computacional

| Autor (Referência) | Descrição do estudo |
|---------------------------|--|
| Shamuel et al., 2016 [24] | O presente estudo foi elaborado numa empresa produtora de invólucros. Tratava-se de uma PME, e teve como objetivo desenvolver uma solução para melhorar a produtividade de uma linha de produção, utilizando a técnica de balanceamento de linha e analisando os resultados através do <i>software ARENA 10</i> , de forma a tornar a empresa competitiva com indústrias de grande porte. |
| Pandian et al., 2014 [27] | O presente artigo demonstra como projetar e desenvolver um modelo de simulação para um processo de produção automatizado numa linha de montagem de robótica. O layout apresentava diversas estações de processo, sendo o mesmo totalmente automatizado, sem qualquer estação de processo manual. Para os modelos de simulação foi utilizado o <i>software ARENA</i> . As descobertas foram analisadas usando o <i>Design of Experiment</i> (DOE) e conseguiram encontrar várias oportunidades de melhoria. |
| Rasib et al., 2021 [28] | Para o artigo em estudo, foi utilizado o <i>software ARENA</i> , com o objetivo de executar uma melhoria na produção de uma indústria alimentícia. Foi analisado o sistema de produção atual e, com base na simulação efetuada, algumas melhorias foram sugeridas. Para comprovar o estudo, foi construído e testado o modelo de simulação aprimorado. No fim, a sugestão de melhoria mais adequada será aplicada ao sistema de produção. |

Tabela 1 - Casos de estudo de modelos de simulação computacional (cont.)

| Autor (Referência) | Descrição do estudo |
|----------------------------------|--|
| Said et al., 2012 [29] | O estudo é focado na possibilidade de desenvolvimento de um modelo de simulação para linha de produção de uma indústria de bebidas gaseificadas, identificando a performance em termos de capacidade de produção, tempo de produção e custo de produção. Estes dados foram analisados através do <i>software ARENA</i> , sendo elaborada uma simulação para melhorar a produção e o layout da mesma. |
| Ferreira et al., 2011 [30] | O trabalho apresentado no artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão, baseado num modelo de simulação. O modelo é aplicado numa classe específica de linhas de produção de montagem e pré-montagem de automóveis, conectados por transportadores. O objetivo da simulação é ser usado para avaliar o impacto nas linhas de produção da variação do comprimento nos transportadores, assim como, apresentar uma proposta de alteração nos comprimentos dos buffers para maximizar o desempenho da linha. |
| Iassinovski et al., 2008 [31] | O artigo referido apresenta e discute um sistema de tomada de decisão para o controlo de sistemas e processos discretos complexos. É apresentada uma representação hierárquica tendo por base as regras de produção e os processos associados. Foi produzido um protótipo numa fábrica de madeira, testado e os resultados obtidos foram satisfatórios. |
| Wang et al., 2011 [32] | O artigo aborda as necessidades e desafios do mercado relativamente à capacidade de resposta dos sistemas de produção às alterações na demanda. Foi desenvolvida uma metodologia com base em dados para modelar um sistema de produção e altera o mesmo com rapidez, correspondendo a novos dados e requisitos necessários. O sistema criado apresenta uma planta de montagem geral. São inseridos os diferentes dados no <i>software</i> de simulação <i>Arena</i> . O estudo numa montagem automotiva baseada em dados permite a modelagem e simulação em tempo real, sendo evidente a melhoria na capacidade de resposta e na flexibilidade da linha de produção. |
| Zahraee et al., 2021 [33] | O estudo incidiu sobre a indústria de construção civil, mais especificamente, no desperdício de betão. O autor afirma que um dos grandes desafios desta indústria é como reduzir as atividades que não geram valor e provocam desperdícios. O estudo teve como objetivo analisar como proceder de forma eficaz ao despejo do betão, identificando diferentes tipos de desperdício criados durante o processo. Através de um Mapa de Fluxo de Valor e de simulação computacional foram encontrados pontos onde diminuir ou eliminar desperdícios. Ao mesmo tempo foi otimizado e formulado um cronograma temporário. Com base nas melhorias impostas, os tempos foram significativamente melhores e a quantidade de desperdício diminuiu. |

Tabela 1 - Casos de estudo de modelos de simulação computacional (cont.)

| Autor (Referência) | Descrição do estudo |
|--------------------------------|---|
| Jamil et al., 2016 [34] | O estudo de simulação foi efetuado usando o <i>software ProModel</i> . O mesmo foi efetuado numa linha de montagem de uma empresa de produção de componentes automóveis. Verificava-se que a produção era insuficiente para as necessidades do cliente, mesmo a empresa suportando um stock de segurança de dois dias. Realizaram-se análises ao fluxo de processo e tempo ao longo da linha. Os dados obtidos em chão de fábrica foram inseridos no <i>software</i> de simulação. Quando comparada a simulação com a realidade, verificou-se que existiam bloqueios e tempos irrealistas. Foram testados vários cenários e otimizados para suportar a tomada de decisão. O novo <i>layout</i> proposto demonstrou que a linha ficaria equilibrada com um buffer para evitar bloqueios e com o aumento da mão de obra. Os resultados foram positivos. |
| Chen et al., 2022 [35] | Através do <i>software Arena</i> , foram testados diversos cenários na busca de melhorar uma Rede Adversária Generativa, em Taiwan. Os autores pretendiam reduzir a complexidade de cálculo de otimização de rotas em serviços prestados à população. No final do estudo concluíram que a forma de obter um serviço com mais qualidade seria associar veículos às estações, referindo também que havia necessidade de se testar mais variáveis em busca de uma solução melhor. |
| Mitrovi et al., 2021 [36] | O estudo demonstrou a capacidade do <i>software Arena</i> na otimização de gestão de stocks, realizado numa Universidade de Belgrado. Foi criado um modelo de simulação que permitiu encontrar uma solução em que o nível de stock e encomendas perfaçam o mínimo de custos necessários. O autor refere que atingiu o objetivo de obter um valor mínimo de stock e que o modelo serviria para futuros trabalhos mais abrangentes. |
| Radulescu et al., 2020 [37] | Neste artigo, realizado em Bucareste, foi analisado numa oficina de reparação automóvel, o desempenho e oportunidades de melhoria através do <i>software Arena</i> . Foram analisados diversos serviços como: Diagnóstico e reparação, chapa e pintura, receção, entre outros. O autor concluiu que a modelação por simulação permite otimizar os recursos disponíveis e garantir um crescimento sustentado da empresa. |
| Harrison et al., 2020 [38] | No estudo realizado, foi utilizado o <i>software Arena</i> como forma de modelação de um sistema de manutenção, com o objetivo de reduzir as despesas de uma petrolífera. Observou-se através dos cenários simulados que seria possível fazer uma redução significativa de FT, WT e WIP. Através do <i>software</i> foi possível perceber as melhorias consequentes das alterações testadas. |

Tabela 1 - Casos de estudo de modelos de simulação computacional (cont.)

| Autor (Referência) | Descrição do estudo |
|--------------------------------|---|
| Sadono et al., 2020 [39] | No aeroporto da Indonésia, verificava-se um elevado tráfego acumulado nas pistas de aviões. Neste artigo, através do <i>software Arena</i> , simulou-se o movimento dos aviões, de forma a tentar compreender o motivo que provocava a acumulação de tráfego. Com este estudo foi possível definir novas rotas para diminuir o tráfego de aviões. Espera-se que o modelo possa ser utilizado noutros aeroportos de forma a servir de suporte no planeamento dos mesmos. |
| Kim et al., 2019 [6] | No presente estudo, pretendeu-se analisar uma simulação de evacuação considerando a densidade populacional e o efeito de uma pessoa caída. Foi testado o impacto das mudanças de velocidade com o aumento da densidade populacional e o impacto de uma pessoa caída durante a evacuação. Concluiu-se que a possibilidade de existir uma pessoa caída propõe um planeamento prévio mais rigoroso para prevenir situações mais extremas. |
| Han et al., 2021 [40] | A simulação e otimização da modelação de evacuação foram testadas num centro comercial. Através do <i>software</i> de simulação <i>Pathfinder</i> , avaliou-se o estado atual do espaço durante uma evacuação de emergência. Com base no estado atual, foram propostas alterações com vista a uma melhoria significativa na extinção de gargalos ou uma melhor distribuição populacional entre as diferentes vias, escadas e elevadores. Estas alterações mostraram uma melhoria muito significativa, com o tempo de evacuação a sofrer uma notória diminuição. |
| Guo et al., 2020 [41] | No artigo em estudo, propôs-se uma simulação em realidade virtual para evacuação de multidões, num espaço com várias saídas, durante um incêndio. Este modelo estuda a influência de diversos fatores ambientais na escolha da saída por parte dos ocupantes. Os resultados mostram que um estudo prévio de simulação em realidade virtual, com resultados confiáveis e com bom efeito de visualização, é capaz de servir de apoio e suporte para minimizar perdas numa cena real. |
| Choochart et al., 2020 [42] | Através do <i>software Pathfinder</i> , pretendeu-se avaliar uma evacuação de emergência de um Airbus A330, de forma a se encontrar a forma mais eficaz de o fazer. Foram testados diversos cenários, desde o uso ou não de todas as portas de emergência, até a evacuação por zonas/ áreas definidas do aparelho. Após o estudo, conclui-se que, caso todas as portas funcionem, o ideal é uma evacuação livre e ordeira por parte dos passageiros. |

Tabela 1 - Casos de estudo de modelos de simulação computacional (cont.)

| Autor (Referência) | Descrição do estudo |
|---------------------------|--|
| Chen et al., 2020 [43] | No artigo em destaque testou-se, através do <i>software</i> de simulação <i>Pathfinder</i> , uma evacuação de emergência numa casa de repouso de idosos, usando como variáveis idosos com diferentes condições físicas, número de idosos ou número de elevadores e prioridade no uso dos mesmos. Contudo, não houve evidências sobre a diferença entre o uso de elevadores ou escadas nesta mesma casa de repouso. |
| Kong et al., 2022 [44] | O estudo apresentado debruçou-se sobre a evacuação do pessoal de um edifício de uma universidade perante um incêndio. Foi utilizado um <i>software</i> de simulação, o <i>Pathfinder</i> , como suporte ao estudo. Os resultados serviram de base para um projeto que visou melhorar a segurança de edifícios da universidade e melhorar os planos de evacuação da mesma. |
| Yao et al., 2023 [45] | Com o auxílio do <i>software Pathfinder</i> , avaliou-se o comportamento de crianças e seus tutores num jardim de infância na China. Outra variável deste estudo foi o tempo médio de evacuação. O estudo pretende servir de modelo para a modelação de evacuação em jardins de infância, estratégias de segurança e <i>layouts</i> mais indicados. |
| Zhao et al., 2015 [46] | Neste artigo, foi realizado um estudo sobre uma simulação de evacuação dos dormitórios de uma universidade. Utilizou-se o <i>software Pathfinder</i> como suporte para o mesmo. As principais variáveis a analisar são o número de estudantes e o tempo de evacuação, nas diversas estratégias avaliadas. Conseguiu-se perceber quais os pontos mais críticos onde deveria ser feito um investimento em melhoria na segurança dos ocupantes e das instalações. |
| Lia et al., 2016 [47] | Para averiguar uma evacuação de emergência numa estação de metro, utilizou-se o método de simulação computacional. O artigo especifica que o estudo foi realizado para uma situação de emergência perante um incêndio. Utilizou-se o <i>software Pathfinder</i> para auxiliar o estudo. Os resultados demonstraram que a estação estava dentro dos parâmetros mínimos definidos na segurança, contudo, encontraram-se alguns gargalos nos portões e portas de emergência que devem carecer de uma análise mais cuidada de forma a procurar soluções de melhoria. |

2.4. Importância da evacuação na melhoria da segurança de edifícios e zonas industriais

Pode-se definir a evacuação de emergência como um movimento instantâneo e rápido de indivíduos, para se afastarem de uma zona de perigo ou ocorrência do mesmo, sendo um fator importante para a redução de perdas. Assim, um plano de evacuação afirma-se como sendo primordial para uma boa gestão de desastres e na busca de uma evacuação bem sucedida [48].

Podemos dividir a evacuação em três fases: pré impacto, impacto e pós impacto. O estado cognitivo e emocional dos evacuados e o seu comportamento são muito diferentes nestas fases, o que poderá dificultar seriamente a eficácia da ação [49]. Conseguir entender e prever os comportamentos das pessoas tem um papel significativo para se conseguir aumentar a segurança dos edifícios [50].

A evacuação segura de espaços apertados e edifícios apresenta-se como um enorme desafio nas avaliações da segurança [51]. O desenvolvimento acelerado da economia e a aceleração na construção e edificação de espaços, considerando especialmente um aumento significativo no número de complexos de grandes dimensões, estimulam os cidadãos a aglomerarem-se. Isto leva, conseqüentemente, ao aumento dos riscos de segurança [52].

A complexidade de na construção de edifícios e indústrias, seja em altura ou subterrâneos, impõe dificuldades acrescidas na gestão de acidentes ou desastres, sendo que o principal desafio desta gestão é conseguir orientar as pessoas para encontrarem as melhores rotas de forma a conseguirem chegar a zonas seguras [53].

Idealizar, projetar e edificar um sistema confiável de evacuação de pessoas de edifícios, em total segurança e o mais rapidamente possível é um ponto de elevado significado na projeção e gestão de instalações complexas. Comparando pequenos espaços ou casas familiares com espaços comerciais ou de grande aglomerado de pessoas, estes últimos carecem de uma atenção muito maior no desenvolvimento de um sistema eficaz de gestão de evacuação [54].

Um plano de emergência para uma necessidade de resgate ou evacuação influencia significativamente as decisões nestes momentos. Estas decisões podem ter um impacto muito significativo para a redução do número de vítimas e perdas associadas ao património, assim como diminuir o impacto social negativo associado ao desastre [55].

3. Estratégias de evacuação de uma indústria do ramo da metalomecânica

Como referido anteriormente, o presente trabalho visa explorar e analisar algumas estratégias de evacuação que possam ser úteis num edifício industrial, em especial a empresa Metalocaima SA, localizada na Zona Industrial da Mata, Rua da Moita nº103, em Mansores (Arouca), conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2 - Imagem satélite Metalocaima SA, via Google Maps

Neste terceiro capítulo, serão abordados diversos pontos relativamente à evacuação da empresa, desde a configuração física, o plano de evacuação existente até à simulação computacional de possíveis estratégias de evacuação, assim como, uma proposta de melhoria do atual plano de evacuação da empresa que se encontra desatualizado.

3.1. Configuração física da fábrica

Quanto à estrutura física, apesar de ser um edifício único, podemos dividi-lo em 3 partes: escritórios, pavilhão principal para produção de equipamentos em aço inoxidável e o novo

pavilhão para produção de equipamentos em outros materiais, especialmente Aço-carbono. Existe também um armazém no subsolo do novo pavilhão, mas que apenas alberga pequenos equipamentos com alguns anos e não tem, praticamente, nenhuma utilidade atualmente, pelo que se considera um espaço insignificante para o estudo realizado.

O terreno em que se situa a fábrica tem um declive acentuado, conforme podemos ver nas Figuras 3 e 4. Aproveitando esse declive, o espaço vai aumentando o seu pé direito, permitindo a produção de equipamentos de maiores dimensões.



Figura 3 - Desnível ao longo da fábrica



Figura 4 - Vista do fundo da fábrica que mostra o desnível

Começando pelos escritórios, apresentados na Figura 5, estes estão divididos em dois pisos. No piso inferior podemos encontrar:

- Receção
- Salas de reuniões
- Gabinete Engenheiro sénior
- Sala de formação
- Duas salas de arquivos
- Gabinete médico
- Casas de banho
- Departamento da Qualidade

Neste piso, trabalham habitualmente 3 pessoas. Quanto ao piso superior, este engloba os seguintes espaços:

- Departamento de compras
- Sala de arrumos
- Departamento financeiro e administrativo
- Departamento de desenho
- Departamento técnico-comercial
- Departamento CEO
- Cozinha/ copa
- Sala do servidor

No primeiro piso podemos encontrar regularmente 9 pessoas a desempenhar as suas funções.



Figura 5 - Escritórios da fábrica

Posteriormente, encontra-se o pavilhão principal. Este é onde se desempenha a grande maioria das operações e onde, habitualmente, estão a maioria dos operários do espaço fabril. Em termos de construção efetiva do espaço, este está dividido em 4 espaços/ pisos. O espaço maior e central, mostrado na Figura 6, é o que alberga mais trabalhadores e mais zonas para as diferentes tarefas:

- Tornearia
- Zona de preparação
- Montagem
- Armazém



Figura 6 - Pavilhão principal

De forma a acomodar escritórios para os encarregados da produção e a ser feito um melhor aproveitamento, foi criada uma plataforma, apresentada na Figura 7, junto aos escritórios, que permite também fazer uma ligação direta ao primeiro piso dos escritórios, facilitando, assim, a comunicação entre os colaboradores dos vários espaços.

- Plataforma
 - Gabinetes dos encarregados da produção
 - Sala reuniões da produção
 - Armazém



Figura 7 - Plataforma no pavilhão principal

Com as operações normais, podemos encontrar 16 funcionários divididos por este espaço. Ainda neste mesmo pavilhão, podemos encontrar mais dois pisos distintos. Através de acesso por escadas, mostradas na Figura 8, e aproveitando o declive existente no terreno, podemos encontrar a zona de lavagem e corte de chapa e uma zona com o pé direito mais elevado da fábrica, para a produção de equipamentos de dimensão elevada. Nestes dois espaços, encontramos geralmente um total de 4 operários.



Figura 8 - Escadas do pavilhão principal que dão acesso à zona de lavagem + escadas que dão acesso à zona de montagem de equipamentos de grandes dimensões

Por fim, encontramos o pavilhão mais recente, apresentado na Figura 9, amplo e com uma área bastante significativa, onde se trabalha, essencialmente materiais como o Aço-carbono, mas também onde podemos encontrar máquinas que são usadas com menos regularidade, mas que apresentam um ótimo desempenho sempre que necessárias. Trabalham neste espaço regularmente 3 funcionários, mas quando existem obras em Aço-carbono de maiores dimensões, e as necessidades assim o exigem, chegam a trabalhar mais 3 colaboradores.



Figura 9 - Exterior pavilhão novo, usualmente denominado pavilhão Aço-carbono

3.2. Análise específica de evacuação

Nos diversos espaços fabris, estão identificadas portas de emergência, assim como sinalização visual em placas e corredores marcados no chão, definidos para a passagem de pessoas e onde não devem estar instaladas máquinas.

Nos escritórios, existe apenas uma porta de entrada e saída (Figura 10) e as placas de identificação de saída (Figura 11) em casa de emergência indicam todas a direção desta.



Figura 10 - Porta escritórios



Figura 11 - Placa de identificação para saída pela porta dos escritórios

Quanto ao pavilhão principal, dividido em 4 níveis, conforme descrito anteriormente, tem identificado no chão, corredores de passagem que delimitam os espaços (Figura 12), assim como placas de sinalização para as saídas de emergência como a da Figura 13, sendo que estas estão espalhadas pelos vários espaços de forma a cumprir todas as regras de segurança.



Figura 12 - Marcações no chão de fábrica que delimitam o caminho de peões



Figura 13 - Saída de emergência da zona de produção

O segundo pavilhão fabril (Figura 14) seguiu os parâmetros do anterior, apresentando os mesmos caminhos definidos para passagem pedonal, assim como identificação para as portas de emergência existentes no espaço.



Figura 14 - Interior pavilhão Aço-carbono

3.2.1. Estudo Simulação

Realizou-se, então, um estudo das diferentes estratégias de evacuação da Metalocaima, através do modo computacional. Para esse feito, o *software* de simulação que permitiu a análise foi o *PathFinder*.

Para a construção do modelo de simulação, foi utilizada a planta existente da Metalocaima, em formato *CAD*, que estava atualizada e completa, e facilitou a introdução inicial dos dados no *software* computacional.

Como será abordado, para validar o modelo de simulação, foram realizados testes no local, de forma a garantir que os valores obtidos pelo *software* seriam válidos.

3.2.2. Modelação (Interface Visual e Animação)

Como abordado anteriormente, a modelação da empresa Metalocaima SA foi efetuada no *software PathFinder* (Figura 15). Através das plantas da empresa, providas pela própria empresa em formato *CAD*, deu-se início ao processo da criação do modelo.

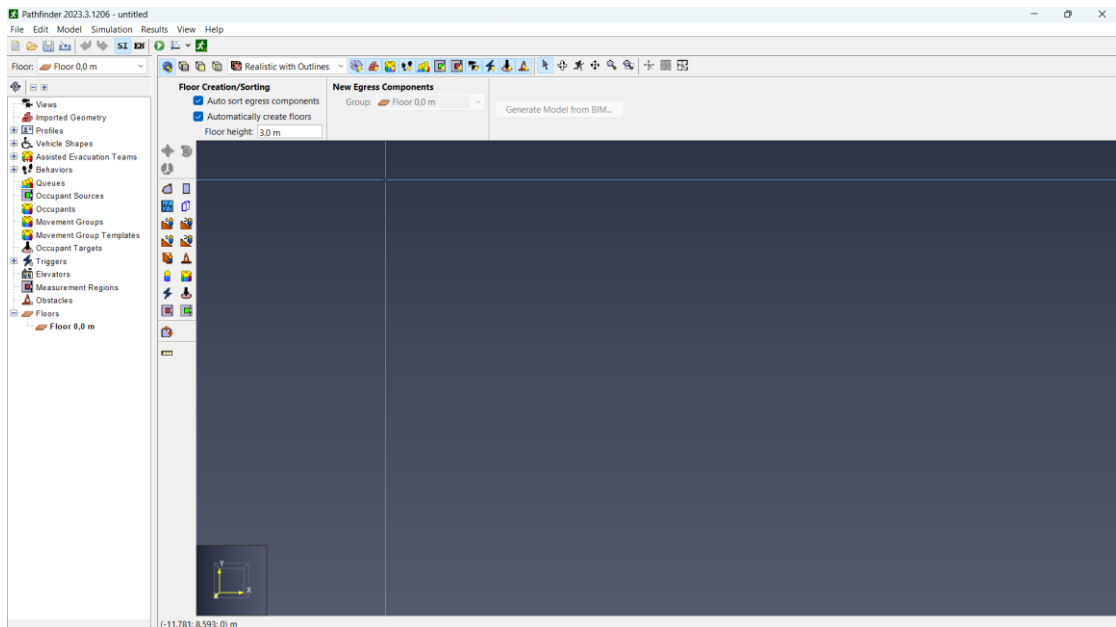


Figura 15 - Interface Pathfinder

Para se dar início ao processo, foi utilizada a funcionalidade que permite adicionar a planta da Metalocaima no formato CAD (Figura 16), para auxiliar, de forma muito mais eficaz, a criação dos pisos e espaços da fábrica. Seguiu-se o caminho “File” -> “Import” e posteriormente selecionou-se o ficheiro na janela de pesquisa.

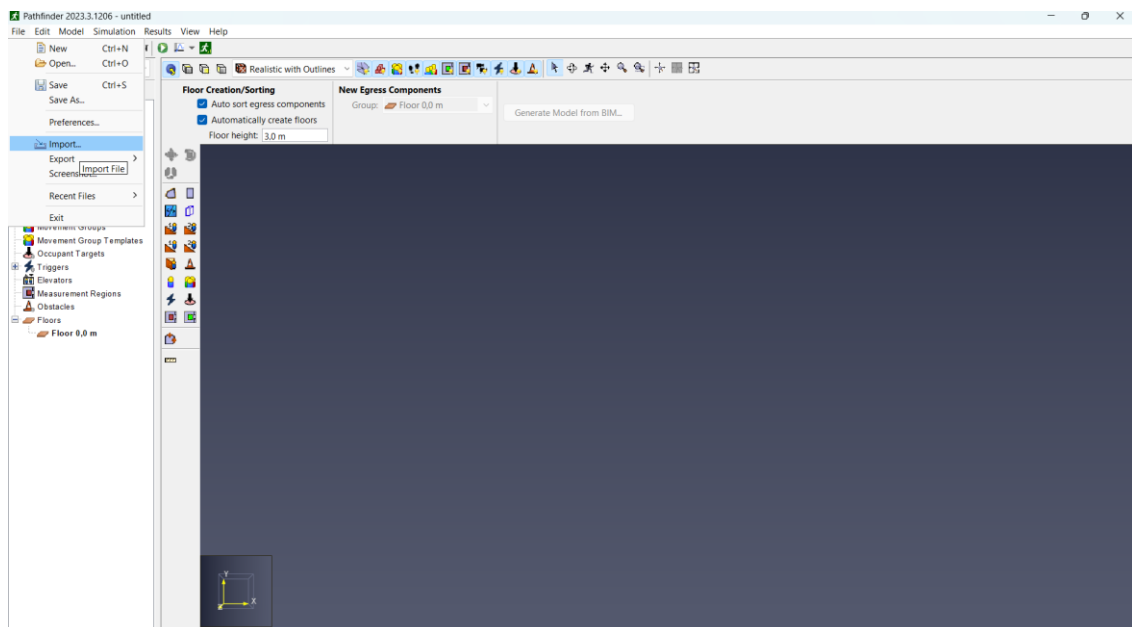


Figura 16 - Abrir a janela de pesquisa para importar ficheiro .CAD

Após a seleção do ficheiro, surge uma nova janela, para configurar o projeto selecionado de acordo com o pretendido. Selecionou-se “Into a new model” conforme Figura 17, visto se tratar de um novo modelo, criado de raiz.

Estratégias de evacuação de uma indústria do ramo da Metalomecânica

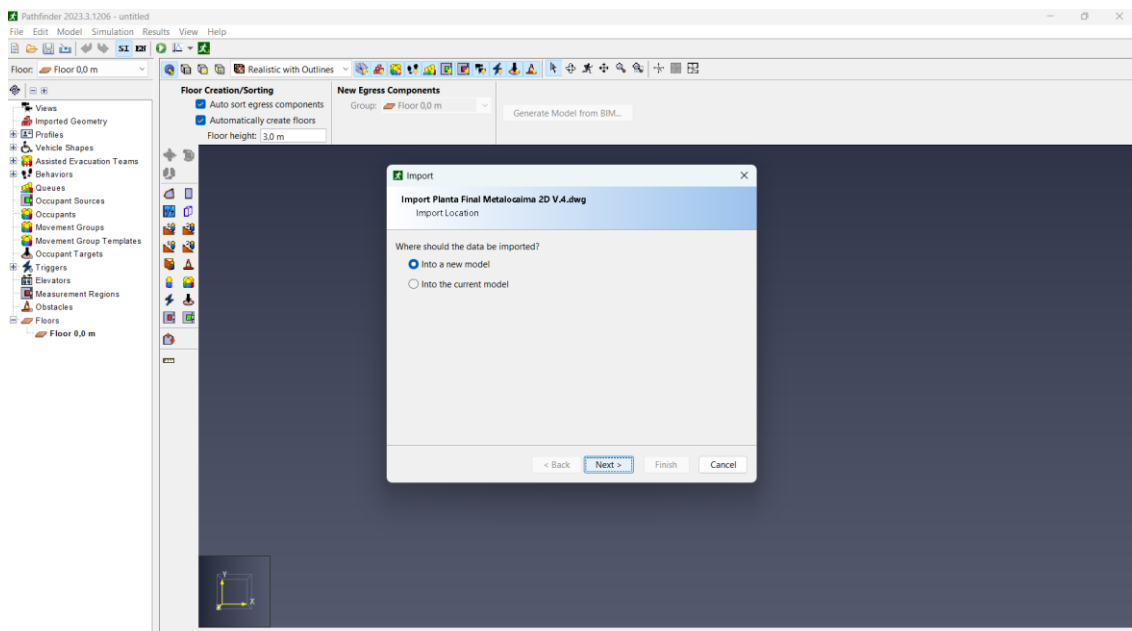


Figura 17 - Selecionar "Into a new model" para que fosse um modelo criado de raiz

Selecionando a opção "Next", surge uma nova janela, para se definir as unidades de medida do ficheiro original (Figura 18), para que o modelo de simulação esteja em conformidade. Neste caso, o ficheiro original estava em metros.

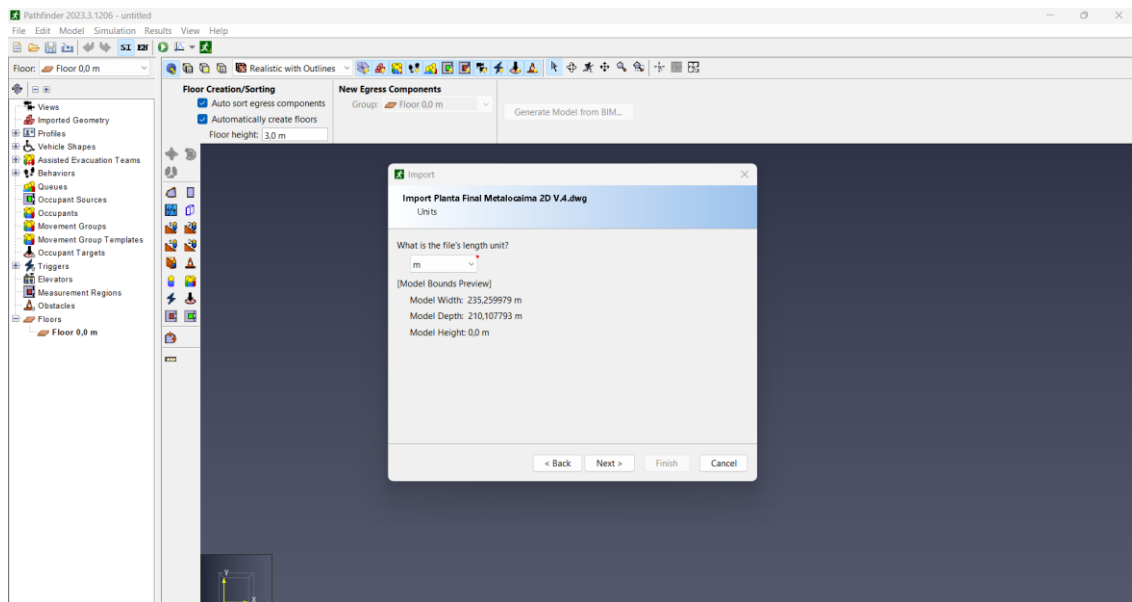


Figura 18 - Seleção das unidades de medida do ficheiro original

Por fim, voltou-se a selecionar "Next" nas duas janelas seguintes, sem se fazer qualquer alteração, finalizando no botão "Finish" para se obter a planta no fundo do modelo de simulação (Figura 19).

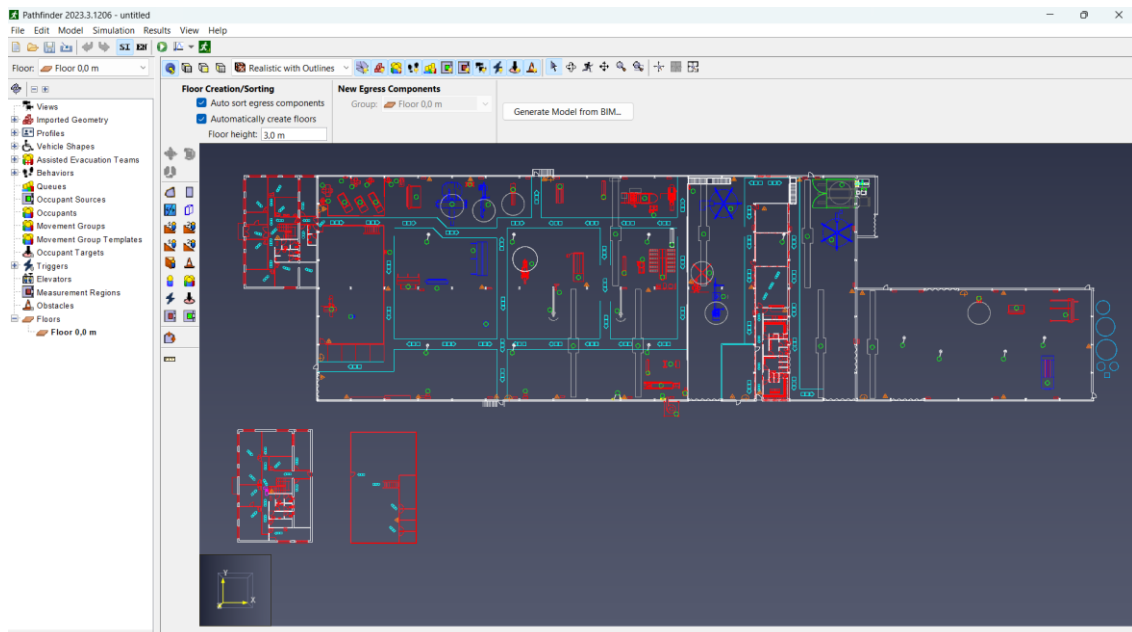


Figura 19 - Interface com a planta da fábrica

A partir deste momento, inicia-se o processo de definição dos espaços através da planta importada. Conforme a Figura 19, temos definidos os escritórios (pequeno retângulo à esquerda), pavilhão principal (grande retângulo central) e o pavilhão de Aço-carbono (retângulo à direita). Os dois espaços definidos pelos retângulos abaixo da planta principal são o piso 1 dos escritórios e a plataforma existente no pavilhão principal, que foi descrita anteriormente.

Assim, através da opção “Add a polygonal room” ou “Add a rectangular room”, começaram a ser definidos os espaços, sobrepondo sobre as linhas da planta de fundo. Desta forma, as áreas assumem as mesmas dimensões dos espaços da planta original/ importada. O piso 1 dos escritórios e a plataforma do pavilhão principal tiveram de ser definidos por medição no local, porque na planta estavam representados fora do seu local real e não era possível sobrepor na planta.

Estratégias de evacuação de uma indústria do ramo da Metalomecânica

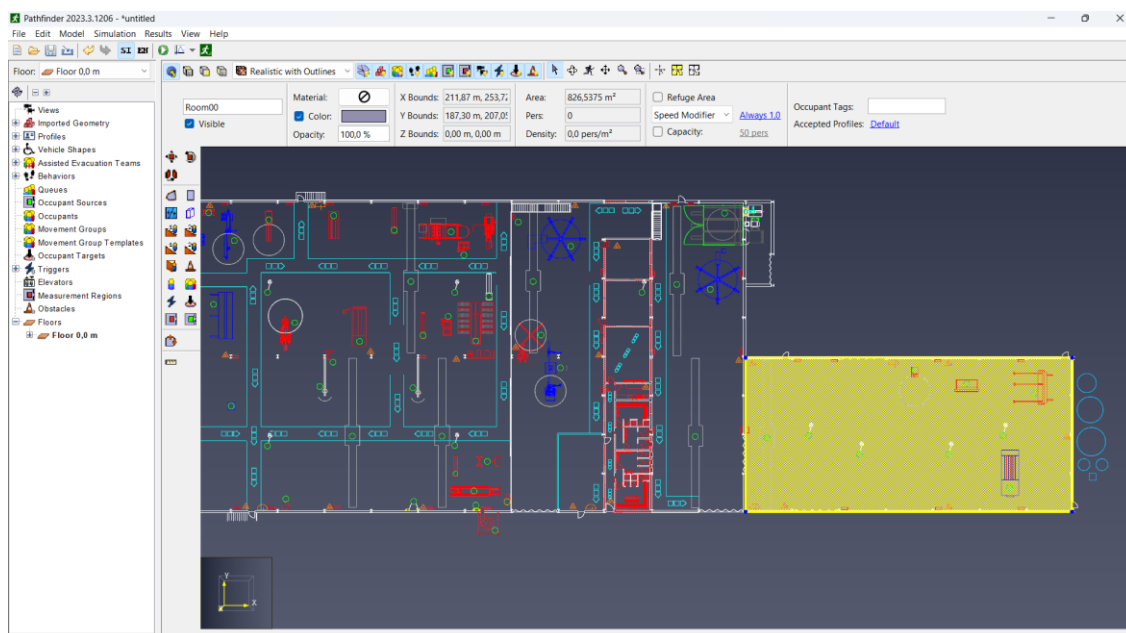


Figura 20 - Desenho do pavilhão de aço carbono por sobreposição da planta, com a opção "Add a rectangular room"

Iniciou-se a definição dos espaços pelo pavilhão de aço carbono conforme mostrado na Figura 20, por este se encontrar na cota mais abaixo. Dessa forma, foi considerado como nível zero metros, visto ficar à superfície, mas com a cota mais baixa, tendo em conta o desnível acentuado do terreno, conforme foi descrito anteriormente neste estudo.

Para os níveis do pavilhão seguinte, assim como dos escritórios, foram criados os espaços com recurso à mesma ferramenta. No entanto, tendo em conta os vários níveis existentes na fábrica, foram adicionados vários pisos, sempre antes da adição dos espaços. No canto superior esquerdo da interface, é possível ver o campo "Floor". Nas opções desse campo surge a opção "Add new..." (Figura 21). Após a seleção deste campo, surge uma pequena janela que pede a altura do novo piso relativamente ao piso 0.

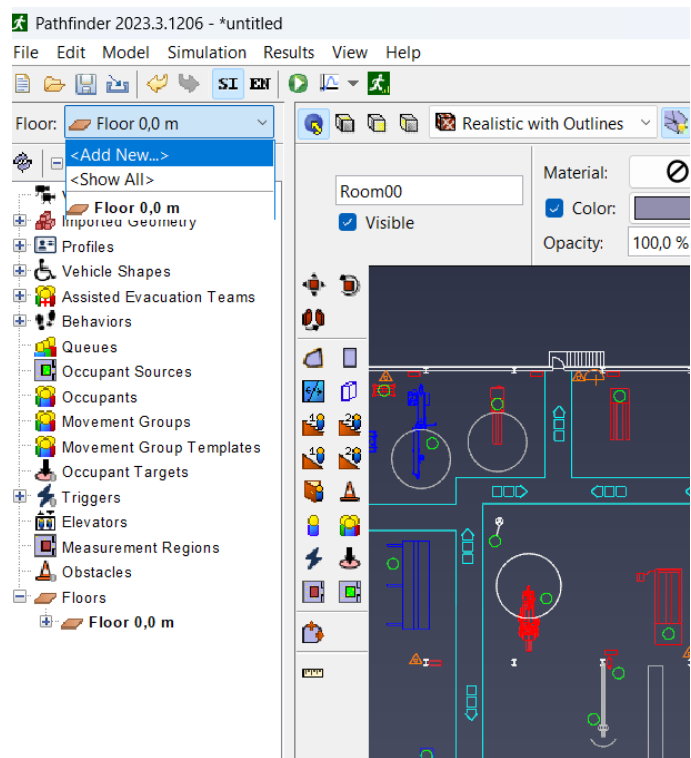


Figura 21 - Adição de um novo piso

A partir daí começam a ser definidos os novos espaços desse piso, novamente na opção “Add a rectangular room”.

Depois de definidos os espaços, foram adicionadas as portas e portões existentes em cada divisão. A opção para os diversos tipos de portas e portões é a mesma, no campo “Add a new door”. No entanto, após a seleção deste campo, é possível definir o comprimento da porta ou portão a adicionar, de forma a aproximar das dimensões reais, conforme mostra a Figura 22.

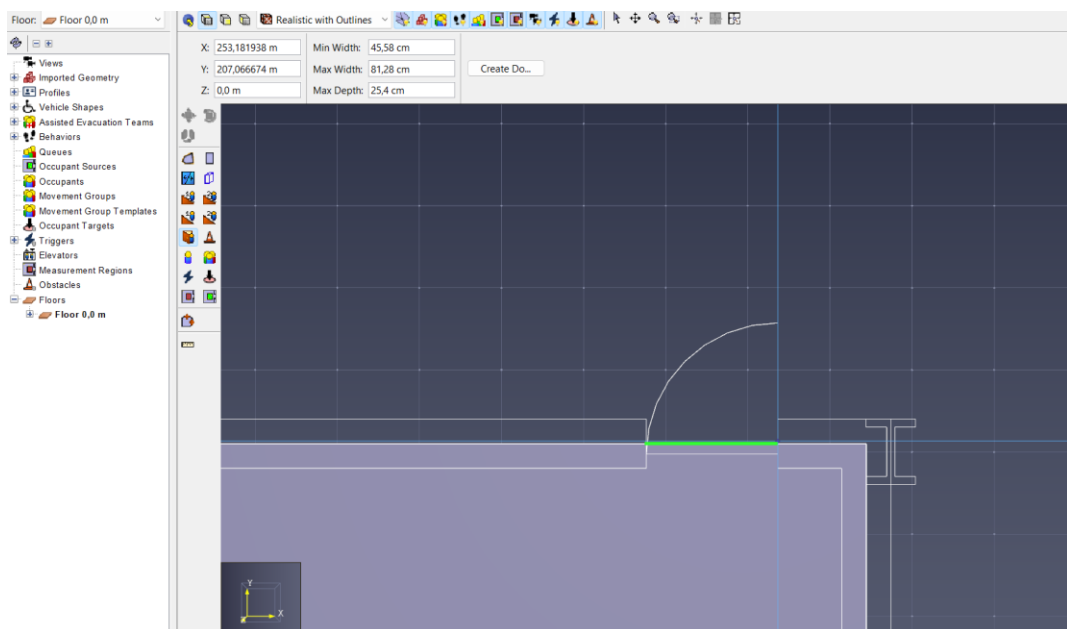


Figura 22 - Campo “Add a new door” e definição da mesma no modelo

De realçar que, quando adicionadas no modelo, as portas assumem duas cores. Verde quando é uma porta com ligação para o exterior ou amarelo quando representa uma porta no interior da fábrica.

Para a correta conexão entre os diferentes pisos, o *software* dá-nos opções como escadas, rampas ou elevadores. No caso da fábrica da Metalocaima apenas foi preciso inserir as escadas, mostradas na Figura 23, pois os outros elementos não existem nas instalações. Foram adicionados pequenos degraus entre os pavilhões, entre o pavilhão principal e os escritórios e entre os desníveis do pavilhão principal, tal como sucede na fábrica.

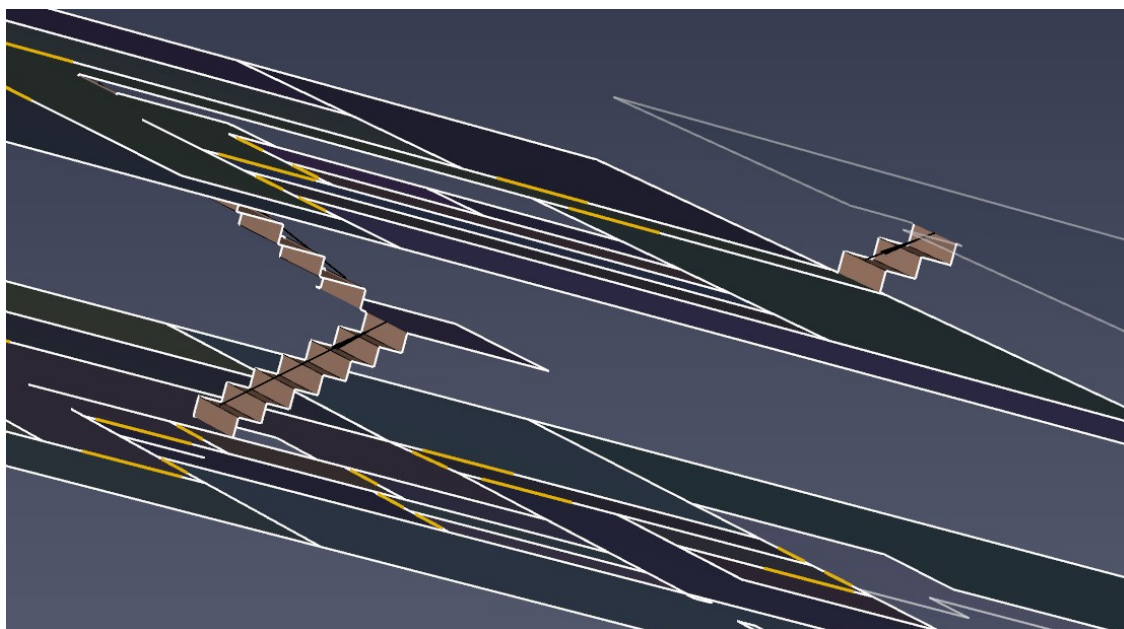


Figura 23 - Escadas entre os dois pisos dos escritórios e escadas entre o piso 1 dos escritórios e a plataforma do pavilhão principal

Para escadas de dois níveis, como sucedeu com as escadas dos escritórios, não é suficiente o simples passo de “Create stairs”. Foi necessário adicionar um piso intermédio e, posteriormente, criar dois lanços de escadas separadamente.

Apesar de, em caso de uma emergência, ser necessário procurar uma saída o mais rapidamente possível, o objetivo do estudo passa por averiguar, também, a eficácia dos caminhos definidos para a passagem de pessoas. Assim, através do campo “Add a thin wall” (Figura 24), foram marcados os corredores, para que, aquando da simulação, os colaboradores se deslocassem para estes e, só depois, se encaminhassem para a saída.

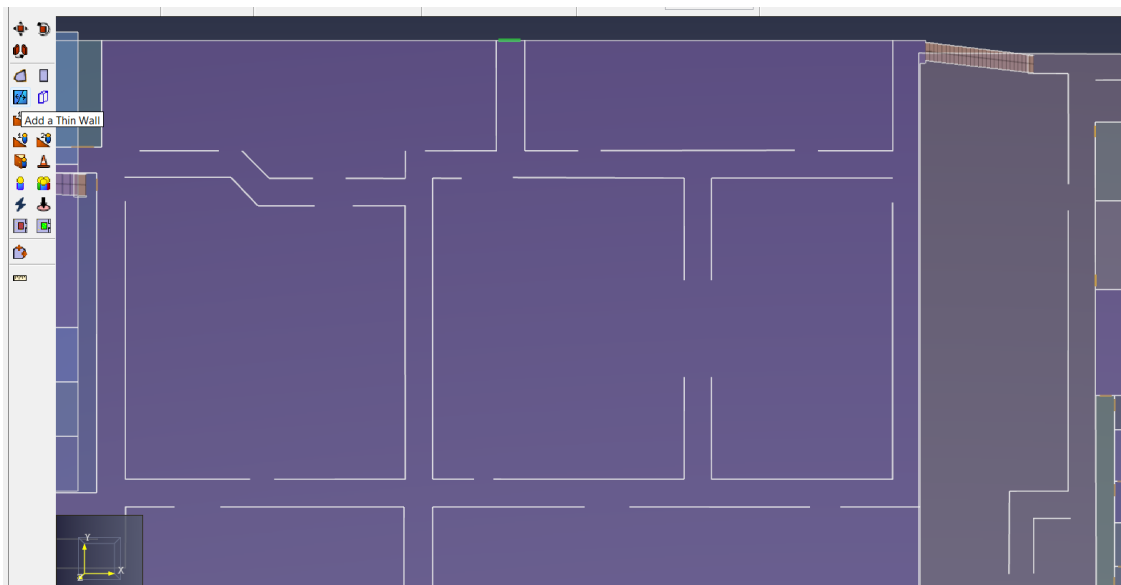


Figura 24 - Definição dos corredores através do campo "Add a thin wall"

Com estes passos, ficou definido o espaço físico da fábrica. Outra opção muito importante no software *PathFinder* é a adição de obstáculos. No entanto, a maquinaria fixa existente não interfere diretamente com a evacuação, visto estar essencialmente junto às paredes e, como tal, optou-se por não se adicionar ao modelo. Contudo, é uma opção a realçar e que poderá ser extremamente útil em projetos futuros.

Assim, estando o espaço físico definido, passou-se para a inserção dos colaboradores. Tendo em conta tratar-se de uma pequena empresa, familiar, não existem muitos perfis diferentes dentro da empresa. No entanto, destacam-se dois grupos de pessoas significativos (Figura 25): os colaboradores dos escritórios e os colaboradores da produção, os operários.

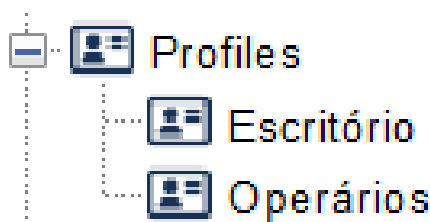


Figura 25 - Perfis criados para os colaboradores

Apesar dos diferentes perfis, nenhum destes tem algum tipo de mobilidade reduzida, pelo que, podemos considerar que todos os colaboradores se encontram aptos e nas suas maiores capacidades em caso de evacuação.

Posteriormente, foram adicionados os 35 ocupantes da fábrica, mostrados na Figura 26, no seu local habitual de trabalho. Para o fazer, deve-se clicar no campo "Add an occupant" ou "Add occupants to a region". A primeira opção permite adicionar um ocupante de cada vez, ao passo que a segunda permite adicionar vários ocupantes a um espaço, definindo como se devem distribuir pelo espaço, sem grande exatidão. Assim, tendo em conta a existência de poucos colaboradores e ser bastante importante a sua localização, optou-se por utilizar a primeira.

Estratégias de evacuação de uma indústria do ramo da Metalomecânica

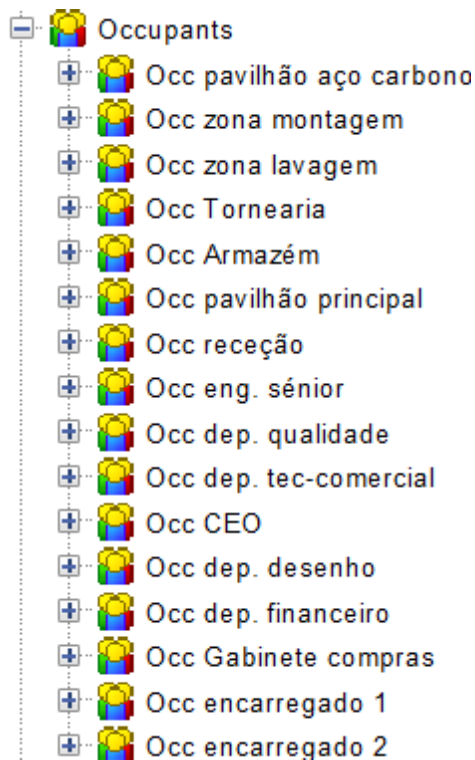


Figura 26 - Ocupantes dos diversos setores da fábrica

Relativamente aos ocupantes de cada perfil, tal como referido anteriormente, foram considerados como não possuindo limitações de movimentações. Contudo, foi necessário configurar corretamente os ocupantes e as suas capacidades.

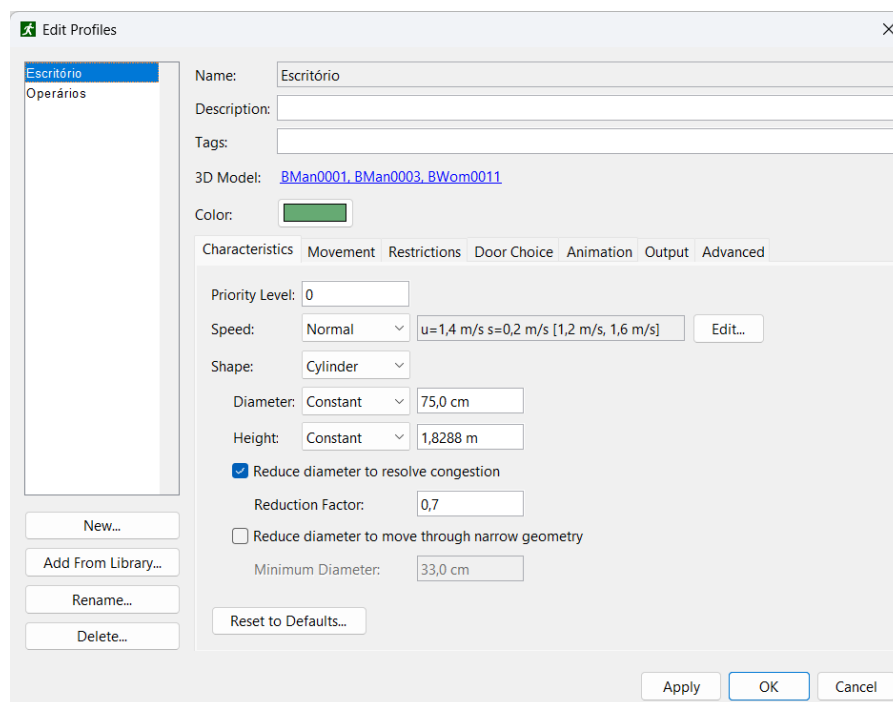


Figura 27 - Configuração dos ocupantes

Conforme a figura 27, os principais aspetos a definir são o nível de prioridade e a velocidade. Quanto ao nível de prioridade, sendo que não temos funcionários com limitações, todos foram definidos com o mesmo nível. Quanto à velocidade, uma média de 1.4m/s, com um desvio padrão de 0,2m/s. De forma a diferenciar entre os colaboradores de escritório e da produção, as cores dos cilindros representados no modelo computacional podem ser verdes ou azuis.

Por fim, surge uma nova configuração para o comportamento dos ocupantes (Figura 28), que é a saída para onde se devem dirigir. Neste caso, numa fase inicial, fica definido que qualquer ocupante pode sair por qualquer porta, no entanto, para efeitos de estratégias de evacuação, é um fator a ter em conta, que permite abordar novas perspetivas.

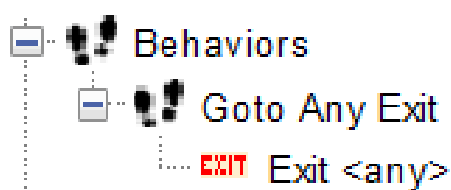


Figura 28 - Comportamentos dos ocupantes

Existem diversas formas de configurar o comportamento dos ocupantes, dependendo do objetivo e do local em que estes se devem refugiar. A possibilidade de se fazerem abordagens distintas permite adaptar o modelo computacional à realidade, atendendo às necessidades e especificidades de cada caso. A facilidade com que se podem testar estratégias diferentes mostra-nos como o *software* pode ser vantajoso na melhoria e aperfeiçoamento do plano de evacuação nas mais variadas situações, neste caso, mais concretamente numa empresa fabril.

Tendo então completado os passos descritos, fica construído o modelo computacional de simulação. Para este estudo foi definido o modo *steering*, de forma a que seja mais realista a simulação de evacuação dos ocupantes.

Executando a simulação, esta pode ser visualizada em formato 3D, o que torna a experiência e a observação muito mais realista e interativa, dando a perceber determinados pormenores e comportamentos dos ocupantes e, assim, caso seja necessário, a execução de pequenos ajustes, que torne o modelo o mais real e fiável possível.

Além da possibilidade de efetuar uma representação fiel das instalações da Metalocaima, o *software* de simulação *PathFinder* permite um detalhe elevado na evacuação em caso de emergência. É possível verificar as diferentes possibilidades de saída e tomar conhecimento de possíveis pontos de estrangulamento, gargalos, e assim, discutir e melhorar estes pontos em busca de uma solução mais eficaz. A representação em 3D, mostrada nas imagens 29 e 30, é uma mais-valia do *software* pois permite uma perceção muito maior dos acontecimentos durante a simulação de evacuação.

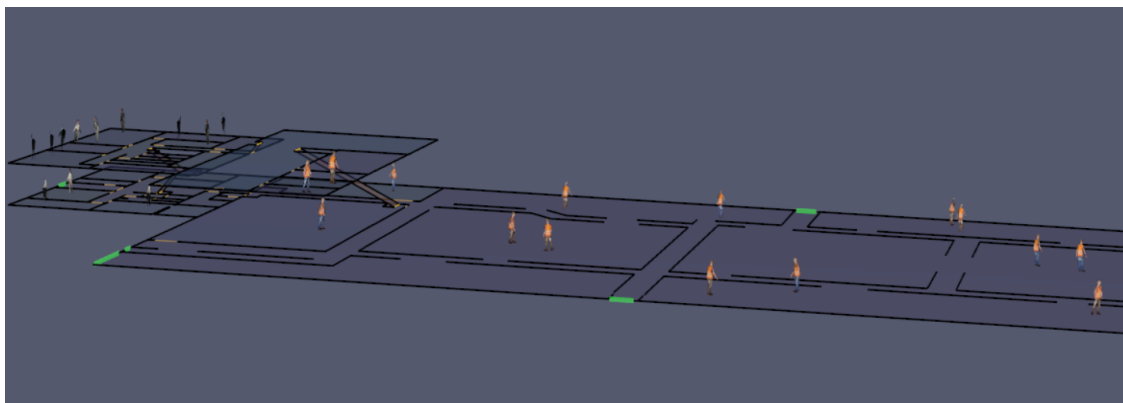


Figura 29 - Visualização 3D do movimento dos colaboradores durante a simulação

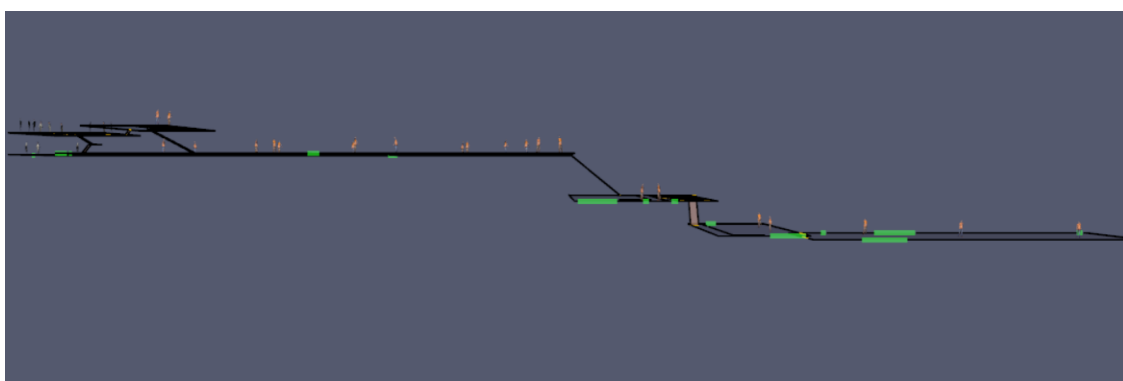


Figura 30 - Visualização 3D e os vários níveis da fábrica

Assim, podemos olhar para esta ferramenta como uma via valiosa para a melhoria significativa do plano de evacuação da empresa Metalocaima, contribuindo assim para a melhoria contínua da empresa, possibilitando uma maior segurança aos trabalhadores e colaboradores da empresa.

3.2.3. Modelo de simulação – Validação

Com o objetivo de validar o modelo de simulação, foi necessário realizar medições dos tempos de evacuação numa situação real para que fossem comparados com os valores obtidos no modelo idealizado no *PathFinder*.

De forma a averiguar a validade ou não do modelo desenvolvido, foram realizadas 11 cronometragens, mostradas na Tabela 2, ou seja, o tempo que o colaborador demora a se deslocar do seu habitual posto de trabalho até à saída mais próxima. Em todas as medições, o ocupante começou o seu movimento após o início da cronometragem, de forma a considerar o tempo de reação, e procurou sempre manter uma velocidade constante.

Tabela 2 - Medições reais, de simulação e percentagem de erro para validação do modelo de simulação computacional

| Ocupante (localização) | Tempo simulação (s) | Tempo real (s) | % erro |
|-------------------------------|---------------------|----------------|--------|
| 1 (Escritórios Piso 0) | 13,10 | 13,25 | 1,13 |
| 2 (Armazém) | 17,90 | 19,30 | 7,25 |
| 3 (Pavilhão) | 16,70 | 18,65 | 10,46 |
| 4 (Pavilhão) | 26,80 | 25,58 | 4,77 |
| 5 (Pavilhão) | 22,70 | 23,78 | 4,54 |
| 6 (Plataforma) | 35,80 | 37,30 | 4,02 |
| 7 (Zona Lavagem) | 6,40 | 6,43 | 0,47% |
| 8 (Montagem GD) | 12,30 | 13,23 | 7,03 |
| 9 (Montagem GD) | 14,90 | 15,86 | 6,05 |
| 10 (Pavilhão AC) | 11,70 | 12,37 | 5,42 |
| 11 (Pavilhão AC) | 6,10 | 6,47 | 5,72 |

Na tabela 2, podemos analisar os valores obtidos na situação real, na Metalocaima, e os valores obtidos através do modelo de simulação computacional. O ponto mais importante da tabela e que valida ou não o sistema criado no *software PathFinder* é o erro percentual, que nos é dado pela equação (1),

$$|\text{Erro}| (\%) = \frac{(\text{Tempo simulação} - \text{Tempo real})}{\text{Tempo real}} \quad (1)$$

Desta forma, podemos verificar que o maior erro percentual obtido foi de 10.46% e que o menor erro percentual foi de 0.47%. Contando que foram 11 observações, em 35 operadores possíveis, obteve-se um erro médio de 5.17%. Dos pontos observados, podemos verificar que a larga maioria dos pontos se encontra muito próximo do erro percentual médio e que este é um valor baixo, o que nos leva a concluir que o modelo computacional desenvolvido se encontra validado.

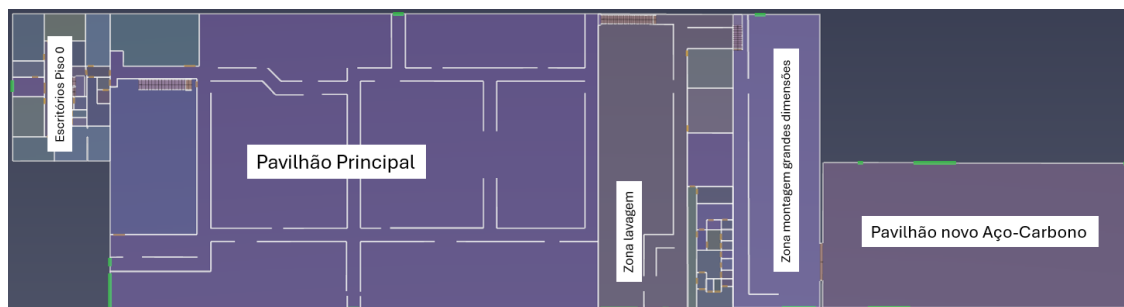


Figura 31 - Identificação zonas fábrica (parte 1)

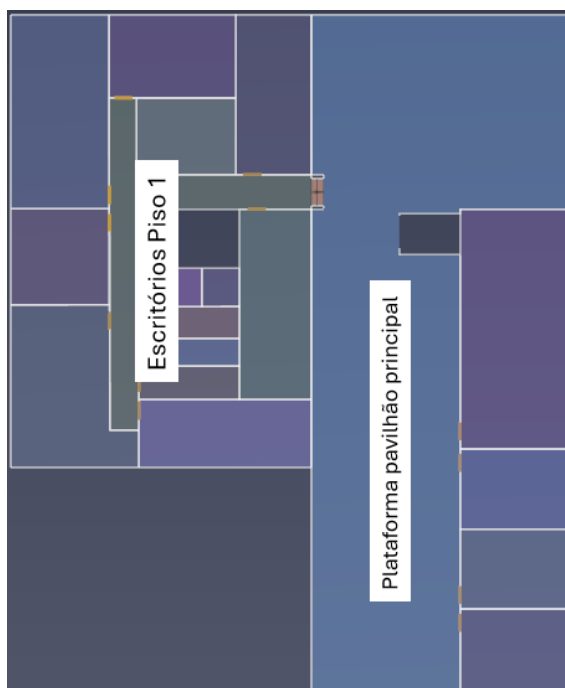


Figura 32 - Identificação zonas fábrica (parte 2)

Para a velocidade de evacuação, de acordo com (Ouellette & Rea1, 1989), Figura 33, a iluminação dos espaços tem um papel preponderante na mesma. Assim, foi definido que a velocidade seguirá uma distribuição normal, com uma velocidade média de 1,4 m/s, uma velocidade mínima de 1,2 m/s e uma velocidade máxima de 1,6 m/s, com um desvio-padrão de 0,2 m/s (Figura 34) e um tempo de pré-evacuação de 60 segundos.

Nas Figuras 31 e 32 podemos ver os espaços identificados na fábrica para uma melhor compreensão dos locais onde foram realizadas as simulações.

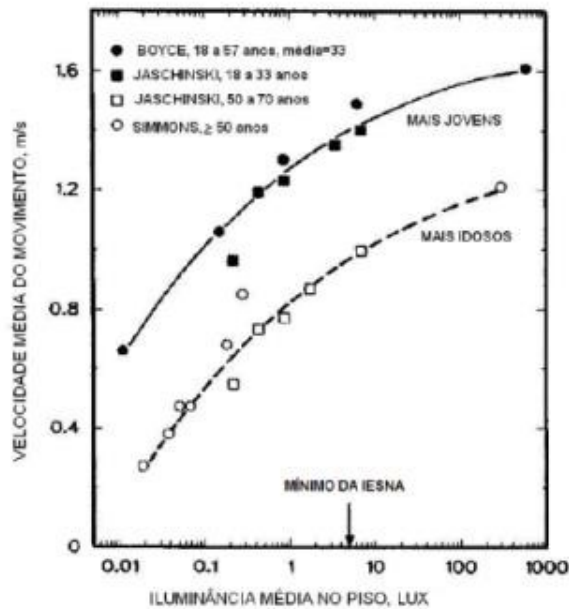


Figura 33 - Relação entre a velocidade média de deslocação e a iluminância média do espaço

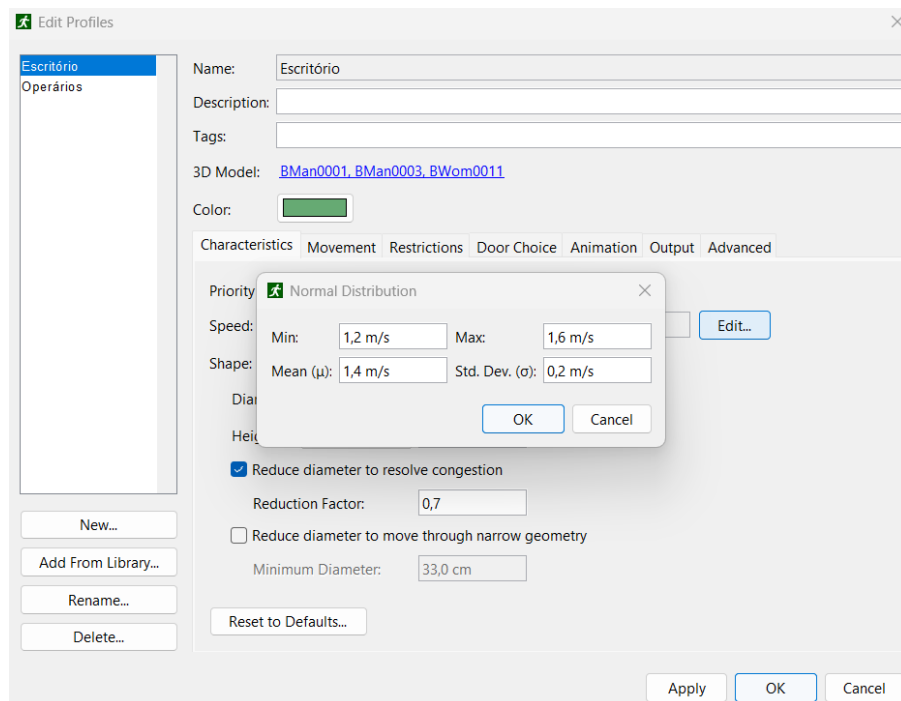


Figura 34 - Parâmetros de velocidade dos ocupantes definida no modelo computacional

3.3. Análise cenários/ estratégias evacuação

De forma a ser feita uma análise aos cenários/ estratégias de evacuação, foram definidas diferentes variáveis para cada, a fim de investigar o comportamento dos colaboradores da Metalocaima. Como já referido anteriormente, num dia normal de trabalho, estão alocadas 35 pessoas nos seus postos de trabalho. Contudo, por vezes surgem sobrecargas de trabalho e existe subcontratação de funcionários, que já chegou a atingir os 48 colaboradores. Assim, será

assumido na análise dos cenários que estão 35 trabalhadores, mas será testado um cenário com a capacidade máxima já atingida pela empresa.

Definir, testar e explorar diversos cenários ou estratégias de evacuação permite identificar os comportamentos mais positivos e mais negativos, de forma a tentar garantir sempre a máxima segurança dos colaboradores.

3.3.1. Cenário/ Estratégia 1

Nesta primeira abordagem, considerou-se a laboração normal da fábrica, com 35 colaboradores, com todas as saídas abertas e normal funcionamento, sem restrições. A tabela 3, mostra os resultados obtidos:

Tabela 3 - Resultados Cenário 1

| Descrição | Evacuação total (s) | Tempo médio de evacuação dos colaboradores (s) | Distância média percorrida (m) |
|--|---------------------|--|--------------------------------|
| Todas as saídas e portões abertos e disponíveis | 35,6 | 18,2 | 22,5 |

Como seria de esperar, com todas as saídas de emergência disponíveis, ou seja, numa situação ideal, os resultados obtidos são bastante satisfatórios, conforme se observa na Tabela 3.

Obeve-se um tempo total de evacuação de 35,6 segundos e uma distância média de 22,5 metros. Tendo em conta as dimensões da empresa, estes valores indicam que existem bastantes saídas disponíveis e espalhadas pela empresa. De realçar que a maior distância percorrida por um colaborador foi de 49,3 metros, por um ocupante que se encontra a trabalhar na plataforma do pavilhão principal.

Este cenário apresenta uma eficácia inequívoca, de forma a garantir uma evacuação rápida e segura para os trabalhadores.

3.3.2. Cenário/ Estratégia 2

Neste segundo cenário, atenta-se na realidade existente na fábrica. Por questões de ocupação dos espaços por maquinaria, por falta de uso ou por segurança fora do horário de trabalho, algumas saídas de emergência encontram-se fechadas/ bloqueadas, pelo que não podem ser utilizadas em caso de necessidade.

As portas referidas, habitualmente fechadas encontram-se:

- 2 portas no pavilhão novo;
- 1 porta na zona de montagem do nível mais baixo do pavilhão principal;
- 1 porta junto à zona de lavagem e balneários e copa da produção;

- 1 porta junto ao armazém do pavilhão principal;
- 1 porta na lateral do pavilhão principal.

Tabela 4 - Resultados Cenário 2

| Descrição | Evacuação total (s) | Tempo médio de evacuação dos colaboradores (s) | Distância média percorrida (m) |
|---|---------------------|--|--------------------------------|
| Situação real da empresa – Algumas saídas de segurança bloqueadas | 40,3 | 21,5 | 26,8 |

Observando a Tabela 4, verifica-se que houve um aumento ligeiro do tempo total de evacuação. O tempo de evacuação aumentou 4,7 segundos, para um total de 40,3 segundos, enquanto o tempo médio de evacuação aumentou para 21,5 segundos e a distância média percorrida pelos colaboradores aumentou para 26,8 metros.

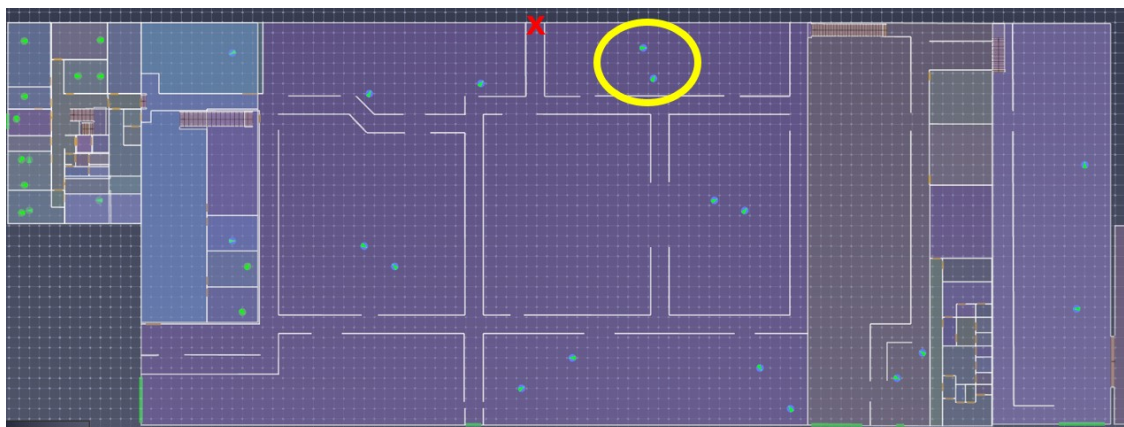


Figura 35 - Ocupantes com a evacuação mais crítica, devido ao bloqueio da porta representada pelo "X" vermelho

Conforme a Figura 35, neste cenário, os ocupantes que ficam em situação mais crítica são os que estão rodeados pelo círculo amarelo. Anteriormente, com a porta representada pelo "X" vermelho disponível, percorriam poucos metros até conseguirem estar no exterior. Nesta abordagem, passam a ser os que maior distância têm de percorrer, superior a 49 metros, até encontrarem a saída de emergência mais próxima e conseguirem estar no exterior em segurança.

Contudo, este cenário mostra que, apesar de algumas importantes saídas estarem encerradas, a evacuação continua a ser eficaz e rápida, garantindo a segurança dos ocupantes.

3.3.3. Cenário/ Estratégia 3

Para além das portas habitualmente encerradas, o pavilhão novo e os pisos inferiores do pavilhão principal, ou seja, a zona de lavagem e montagem de grandes dimensões, costumam ter os seus portões encerrados. Nesta terceira etapa, iremos analisar este impacto.

O facto de usualmente estes portões estarem encerrados tem uma razão válida. Efetivamente, quando estão abertos provocam correntes de ar significativas, assim como o arrastar de poeiras do exterior e levantar das que estão no interior. As poeiras têm um impacto extremamente grande na soldadura, provocando falhas e poros na mesma, o que prejudica de forma significativa os trabalhos. Por isso, estes portões só costumam ser abertos em caso de necessidade para carga ou descarga de equipamentos ou material, ou quando não estão a decorrer os trabalhos de soldadura. Outro motivo que leva a estes portões estarem normalmente encerrados é a temperatura, por a fábrica se encontrar numa zona geográfica em que faz muito frio no inverno e muito calor no verão, e quando estão abertos provocam grandes movimentações de massas de ar.

Contudo, estes portões, apesar da sua possibilidade de utilização, não estão conotados como saídas de emergência. O facto de terem nas proximidades portas de emergência que não estão a funcionar é que leva a que estes portões tenham uma importância maior no atual estado de uma situação de evacuação da empresa.

Tabela 5 - Resultados Cenário 3

| Descrição | Evacuação total (s) | Tempo médio de evacuação dos colaboradores (s) | Distância média percorrida (m) |
|---|---------------------|--|--------------------------------|
| Algumas saídas de segurança bloqueadas + portões pisos mais inferiores da empresa fechados | 40,3 | 22,3 | 27,8 |

Numa terceira estratégia, o tempo total de evacuação manteve-se nos 40,3 segundos, obtendo-se apenas um muito ligeiro aumento no tempo médio de evacuação dos colaboradores para 22,3 segundos e a distância média percorrida por ocupante para 27,8 metros (Tabela 5). Estes resultados mostram que os portões de grandes dimensões não têm impacto significativo numa evacuação dos ocupantes, visto existirem portas de emergência muito próximas destes.

A realçar apenas, na zona de montagem de grandes dimensões do pavilhão principal, onde se verificou um aumento significativo de tempo e distância para os colaboradores que lá trabalham, mas sem impacto considerável nos resultados.

3.3.4. Cenário/ Estratégia 4

Na análise da estratégia 4 de evacuação da Metalocaima, debruçou-se sobre a preponderância da porta dos escritórios. Apesar de a grande maioria dos ocupantes pertencer à produção, são ainda 12 os membros que ocupam diariamente o espaço dos escritórios.

Os escritórios, espaço composto por dois andares, possuem apenas uma porta de entrada e saída por exterior. Têm mais duas, uma em cada piso, mas que fazem ligação ao pavilhão principal. Como tal, para os ocupantes desta zona, apenas existe uma alternativa direta em caso de necessidade de evacuação. Como tal, explorar o impacto existente no caso de bloqueio da mesma numa situação de emergência é tido como muito importante neste estudo.

Tabela 6 - Resultados Cenário 4

| Descrição | Evacuação total (s) | Tempo médio de evacuação dos colaboradores (s) | Distância média percorrida (m) |
|---|---------------------|--|--------------------------------|
| Porta de entrada/saída dos escritórios bloqueada | 62,4 | 31,1 | 38,8 |

O tempo de evacuação total subiu claramente neste quarto cenário. Obteve-se um valor de 62,4 segundos, com um tempo médio por parte dos ocupantes de 31,1 segundos. A distância média percorrida por cada um também subiu para 38,8 metros (Tabela 6).

O impacto de existir uma única porta de evacuação nos escritórios é muito significativo. A maior distância percorrida é de um colaborador dos escritórios, 72 metros, que tem de se deslocar para o pavilhão principal e, só aí, consegue encontrar uma saída para o exterior da fábrica.

Comparando com os cenários anteriores, podemos afirmar que a saída dos escritórios é a que tem até ao momento, maior preponderância e relevo em caso de evacuação.

3.3.5. Cenário/ Estratégia 5

O pavilhão novo para equipamentos em Aço-carbono, assim como a zona de montagem de grandes dimensões e de lavagem do pavilhão principal, encontra-se numa cota baixa de terreno, relativamente ao resto da fábrica, devido ao desnível existente já mencionado anteriormente. Considerando uma hipotética corrente de água, vinda de uma forte chuva ou tempestade, estes pisos estão mais suscetíveis a inundações, ou a causarem maior dificuldade de evacuação pelas suas saídas de emergência. Assim, nesta quinta estratégia, será explorado o comportamento dos colaboradores e as consequências existentes, caso seja necessário excluir as portas existentes nestes espaços, e sejam apenas consideradas as portas do pavilhão principal no seu nível mais alto.

Tabela 7 - Resultados Cenário 5

| Descrição | Evacuação total (s) | Tempo médio de evacuação dos colaboradores (s) | Distância média percorrida (m) |
|--|---------------------|--|--------------------------------|
| Todas as saídas do pavilhão novo, zona de lavagem e de montagem de grandes dimensões bloqueadas | 104,1 | 32,6 | 40,7 |

Pela Tabela 7, pode-se verificar que os principais valores em estudo nesta dissertação subiram, com especial ênfase para o tempo total de evacuação que aumentou para 104,1 segundos. De forma mais residual, subiram também o tempo médio de evacuação por colaborador para 32,6 segundos e a distância média percorrida para 40,7 metros, em comparação com a estratégia anterior. No entanto, olhando às estratégias um e dois, que refletem o estado ideal e o estado real, respetivamente, podemos verificar que os parâmetros em análise tiveram um crescente muito acentuado.

Os colaboradores dos pisos com cota mais baixa, ou seja, no pavilhão novo e na zona de montagem de grandes dimensões, têm de percorrer uma grande distância até encontrarem uma saída, chegando a ultrapassar os 133 metros. É, sem dúvida, a maior distância, até ao momento, dos vários cenários analisados e deve ser tida em conta para um estudo mais aprofundado, de forma a garantir maior segurança dos trabalhadores destes espaços.

3.3.6. Cenário/ Estratégia 6

Um das questões mais preocupantes da empresa, tendo em conta a sua situação geográfica, são os incêndios rurais, visto que a empresa se encontra rodeada por arvoredo e vegetação densa.



Figura 36 - Vista aérea da Metalocaima, Google Maps em 2020

A Figura 36, referente ao ano de 2020, mostra como a empresa está vulnerável na sua vizinhança em caso de incêndio. No ano corrente, as imediações encontram-se ainda com vegetação mais densa, com falta de limpeza e com um risco de incêndio elevado e perigoso para os colaboradores ali presentes.

De forma a se compreender melhor os riscos e perigos associados a um incêndio nas imediações da empresa, será testado neste sexto cenário apenas as saídas superiores, diretas ao ponto de encontro em caso de uma evacuação, e que ficam junto à estrada e caminho de fuga.

Tabela 8 - Resultados Cenário 6

| Descrição | Evacuação total (s) | Tempo médio de evacuação dos colaboradores (s) | Distância média percorrida (m) |
|--|---------------------|--|--------------------------------|
| Apenas utilizadas saídas superiores, junto ao ponto de encontro em caso de evacuação e próximo da estrada | 135,7 | 44,8 | 57,6 |

Seguindo a lógica do cenário anterior, este apresenta valores ainda mais críticos. O tempo total de evacuação da Metalocaima subiu para os 135,7 segundos, assim como o tempo médio de evacuação de cada ocupante para 44,8 segundos e a distância média percorrida para os 57,6 metros, apresentados na Tabela 8.

Mais uma vez, como expectável, os trabalhadores que estão no pavilhão novo e na zona de montagem de grandes dimensões têm mais limitações para conseguirem evacuar. Têm de percorrer todo o comprimento da fábrica, para conseguirem sair na cota mais alta da empresa.

Comparativamente aos cenários estudados anteriormente, este afirma-se como o mais crítico. Certo que este cenário analisa a existência de constrangimentos no exterior, fenómenos naturais que inviabilizem as saídas de emergência localizadas nas cotas mais baixas, no entanto, tendo em conta a distância e o tempo necessário a percorrer no interior das instalações, é importante ponderar medidas que melhorem estes dados ou, pelo menos, não dificultem o caminho dos colaboradores em direção às saídas de emergência disponíveis.

3.3.7. Cenário/ Estratégia 7

Para este último cenário, foi estudado o impacto que tem um número bem mais significativo de funcionários. Até aos dias de hoje, de acordo com as informações recolhidas, o maior número de funcionários que a empresa teve em laboração conjunta foi de 48 ocupantes. Tal como referido anteriormente, em alturas de sobrecarga de encomendas, a empresa subcontrata funcionários temporários para dar uma resposta aos seus mais fiéis clientes e, assim, conseguir cumprir os prazos pretendidos a que se propôs.

Apesar das instalações de dimensão considerável, a maquinaria existente ocupa bastante espaço, assim como muitos dos equipamentos produzidos. Por isso, o feedback existente é de que a experiência com 48 trabalhadores foi positiva, mas que não deve ser excedida. Como tal, esta sétima estratégia aborda este pico máximo que a empresa Metalocaima se concede a atingir.

Tabela 9 - Resultados Cenário 7

| Descrição | Evacuação total (s) | Tempo médio de evacuação dos colaboradores (s) | Distância média percorrida (m) |
|---|---------------------|--|--------------------------------|
| Pico de laboração – 48 ocupantes | 41,4 | 21,9 | 26,8 |

Por fim, este sétimo cenário mostra que o impacto do aumento do número de trabalhadores não é significativo, tendo em conta os tempos de evacuação. Comparando com o cenário dois, cenário totalmente idêntico exceto no número de ocupantes, obteve-se agora 41,4 segundos para um tempo total de evacuação, apenas mais 1,1 segundos. Quanto ao tempo médio de evacuação por colaborador foi agora de 21,9 segundos, mais 0,4 segundos que no cenário dois

(Tabela 9). A distância média percorrida foi de 26,8 metros, exatamente a mesma distância obtida no cenário comparativo.

Este cenário é importante, para que neste estudo se possa perceber se há necessidade ou não da implementação de medidas extraordinárias quando o número de trabalhadores é superior ao habitual.

3.4. Resultados e Discussão

O suporte que o modelo computacional oferece é extramente importante na procura da melhoria de um sistema de evacuação rápido e eficaz na empresa Metalocaima.

Após a análise individual dos cenários, com apenas algumas notas comparativas entre os mesmos, fez-se uma análise comparativa entre os sete cenários, de forma a que se possa perceber de forma mais sucinta, os pontos chave deste estudo, assim como compreender onde a empresa apresenta atualmente bons aspetos e quais são os que pode melhorar, em busca de um plano de evacuação mais seguro, rápido e eficaz.

Tabela 10 - Sumário dos resultados obtidos nos diversos cenários/ estratégias

| Cenário | Tempo total evacuação (s) | Tempo médio por colaborador (s) | Distância média percorrida por colaborador (m) |
|------------------|----------------------------------|--|---|
| Cenário 1 | 35,6 | 18,2 | 22,5 |
| Cenário 2 | 40,3 | 21,5 | 26,8 |
| Cenário 3 | 40,3 | 22,3 | 27,8 |
| Cenário 4 | 62,4 | 31,1 | 38,8 |
| Cenário 5 | 104,1 | 32,6 | 40,7 |
| Cenário 6 | 135,7 | 44,8 | 57,6 |
| Cenário 7 | 41,4 | 21,9 | 26,8 |

Pela análise da Tabela 10, podemos afirmar que, os tempos de evacuação têm uma variação significativa, consoante as condicionantes existentes no local. Obteve-se um valor ideal e mínimo de 35,6 segundos, para uma evacuação total, mas podendo atingir os 135,7 segundos sob uma situação emergente grave. Da mesma forma, o tempo médio que cada colaborador demora a evacuar pode ir de 18,2 segundos a 44,8 segundos, e a distância média percorrida por ocupante varia entre 22,5 metros até 57,6 metros.

Verificou-se que, caso todas as saídas de emergência estejam disponíveis, o plano de evacuação é rápido e eficaz, conforme comprovam os cenários 1 e 2. Estes apresentam excelentes resultados, sendo de realçar as distâncias curtas a percorrer pelos ocupantes, assim como o baixo tempo médio até saírem das instalações.

Contudo, os resultados obtidos pelos cenários 5 e 6 mostram a preponderância que as saídas dos pisos mais baixos representam. Em caso de bloqueio, o tempo de evacuação sobe de forma substancial, podendo ser um problema para a segurança dos ocupantes. Apesar de sazonais, as épocas de perigo de incêndio e de cheias, devem ser analisadas com especial atenção, para que, em caso de necessidade, todos os ocupantes saibam os caminhos que devem seguir, todas as ações que devem tomar, de forma a se garantir a melhor evacuação, sempre com o objetivo de manter a segurança e integridade física de todos os colaboradores (Figura 37).



Figura 37 - Vegetação densa que envolve a fábrica

Apesar de não apresentar valores críticos nem considerados fora do normal, o tempo de evacuação, em caso de falha da saída dos escritórios, é bastante superior ao normal com a porta em funcionamento. Assim, é mais um ponto importante e que deve ser tido em conta no plano de evacuação da empresa.

Por fim, outro dos objetivos deste estudo era perceber qual o impacto que o aumento do número de colaboradores teria num plano de evacuação da Metalocaima. Pelo cenário sete, podemos afirmar que o impacto é mínimo, podendo mesmo ser insignificante. Ou seja, no estado atual da empresa Metalocaima, o plano de evacuação será tão eficaz com os atuais 35 funcionários como na sua lotação máxima de 48 funcionários.

4. Conclusão e trabalhos futuros

Para finalizar, este último capítulo encerra o estudo realizado na empresa Metalocaima, apresentando de forma sucinta as principais conclusões às análises e procedimentos executados.

Serão abordados os principais contributos, o valor que esta dissertação acrescenta, as principais dificuldades enfrentadas e sugestões para futuras pesquisas similares.

4.1. Principais contributos da dissertação

O presente estudo permitiu fazer uma análise aprofundada da empresa Metalocaima, essencialmente das suas instalações, sendo possível identificar pontos críticos e melhorias possíveis no seu plano de evacuação existente.

Deste modo, podemos verificar que a presente dissertação permitiu:

- Elaborar um modelo das instalações da empresa Metalocaima no *software* de simulação *PathFinder*;
- Elaborar um modelo de simulação computacional da empresa no *software PathFinder*, para análise do seu plano de evacuação;
- Analisar o impacto de diversas variáveis no Tempo Total de evacuação, no Tempo Médio de Evacuação por Colaborar e na Distância Média Percorrida por Colaborador;
- Averiguar o impacto das variáveis: saídas de emergência fechadas ou bloqueadas, fenómenos naturais como incêndios na envolvente ou cheias, importância da porta única dos escritórios, do número de ocupantes para a eficácia do plano de evacuação;
- A utilização de uma ferramenta didática para a compreensão de um processo de evacuação, mais concretamente na empresa em estudo, do ramo da metalomecânica;
- Identificar as zonas mais críticas e os funcionários que correm mais riscos e requerem mais atenção numa situação de evacuação;
- Compreender a importância de um bom planeamento num plano de evacuação, assim como, o impacto positivo que tem o auxílio de um *software* de simulação que permite uma visualização dos acontecimentos e comportamentos.

forma a usufruir das conclusões deste estudo e, assim, atualizar o seu plano de emergência, tornando-se numa empresa mais segura e em que os seus ocupantes sintam que a Metalocaima busca um caminho que os torne mais capazes de enfrentar possíveis situações de emergência.

4.3. Limitações e dificuldades encontradas

Durante a realização desta dissertação, foram encontradas algumas limitações e dificuldades, que colocaram à prova o espírito crítico e o desejo de obter um resultado positivo.

Desde logo, o *software* de simulação *PathFinder*. Um *software* novo, com o qual nunca tinha existido qualquer contacto, implicou uma vasta pesquisa e compreensão do mesmo, de forma a conseguir-se retirar do programa o máximo de dados com a fiabilidade e credibilidade que o estudo assim exigia. A familiarização com o *software* levou tempo e esforços importantes, na busca de atingir os objetivos propostos. Os passos mais importantes e complexos foram a definição dos espaços, as ligações entre eles através de escadas e delimitação dos caminhos que os ocupantes podiam percorrer.

Outra limitação foi a obtenção de dados. Apesar de toda a disponibilidade da empresa em fornecer os dados que tinham, o facto de ser uma pequena empresa e de o plano de evacuação estar desatualizado levou a que fosse preciso fazer uma interpretação dos mesmos mais aprofundada e um maior “trabalho de campo” em busca dos dados em falta.

Estes aspetos implicaram um maior esforço e dedicação, contudo, fazem com que o sentimento de dever cumprido seja muito mais satisfatório. O conhecimento adquirido, o desenvolvimento de estratégias na empresa Metalocaima e o enriquecimento pessoal e profissional e competências desenvolvidas durante esta dissertação são o culminar da superação das dificuldades e limitações encontradas durante o processo.

4.4. Trabalhos futuros

Nos dias de hoje, a simulação encontra-se num crescimento a passos largos, apesar de ainda pouco reconhecida no nosso país. Contudo, tendo em conta esta evolução significativa, esta dissertação mostra que a simulação pode ser utilizada nas mais variadas indústrias, das pequenas empresas familiares às grandes multinacionais.

Relativamente à empresa Metalocaima, este processo pode ser ainda mais explorado com a interligação entre diferentes *softwares* de simulação, de forma a melhorar a resposta dada pela empresa em situações de fenómenos naturais inesperados.

Por fim, outro aspeto que pode ser melhorado é a simulação da existência de pessoas com mobilidade reduzida. Apesar de atualmente não existir nenhum funcionário nessa condição, é algo passível de acontecer e, como tal, é importante a empresa já estar preparada para dar resposta em caso de necessidade.

Referências

- [1] A. Kallianiotis, D. Papakonstantinou, V. Arvelaki, and A. Benardos, "Evaluation of evacuation methods in underground metro stations," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 31, pp. 526–534, 2018, doi: 10.1016/j.ijdrr.2018.06.009.
- [2] Y. Fan, H. Cui, J. Qin, C. Liu, and Q. Huang, "A Case Study on the Evacuation of People during a Fire in the Workshop of a Large Factory," *Fire*, vol. 7, no. 2, pp. 1–14, 2024, doi: 10.3390/fire7020047.
- [3] M. P. Fanti, G. Iacobellis, W. Ukovich, V. Boschian, G. Georgoulas, and C. Stylios, "A simulation based Decision Support System for logistics management," *J Comput Sci*, vol. 10, pp. 86–96, 2015, doi: 10.1016/j.jocs.2014.10.003.
- [4] A. Florescu and S. A. Barabas, "Modeling and simulation of a flexible manufacturing system—a basic component of industry 4.0," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 22, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/app10228300.
- [5] L. Fumagalli, A. Polenghi, E. Negri, and I. Roda, "Framework for simulation software selection," *Journal of Simulation*, vol. 13, no. 4, pp. 286–303, 2019, doi: 10.1080/17477778.2019.1598782.
- [6] H. Kim, J. Han, and S. Han, "Analysis of evacuation simulation considering crowd density and the effect of a fallen person," *J Ambient Intell Humaniz Comput*, vol. 10, no. 12, pp. 4869–4879, 2019, doi: 10.1007/s12652-019-01184-7.
- [7] E. Ludavicius, A. Ali, and A. L. Linton, "Modeling and Simulation of Automotive Engine Sub-Assembly for Production Improvement," *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7 – 9, 2014*, pp. 2040–2049, 2014, [Online]. Available: <http://ieomsociety.org/ieom2014/pdfs/444.pdf>
- [8] J. Sudte and S. Patvichaichod, "Evacuation time analysis of high-rise building by Using Pathfinder case study: Residential Occupancy," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 715, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/715/1/012007.
- [9] I. Antoniuk, R. Svitek, M. Krajcovic, and B. Furmannová, "Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0," *Transportation Research Procedia*, vol. 55, pp. 503–509, 2021, doi: 10.1016/j.trpro.2021.07.093.
- [10] M. Gansterer, C. Almeder, and R. F. Hartl, "Simulation-based optimization methods for setting production planning parameters," *Int J Prod Econ*, vol. 151, pp. 206–213, 2014, doi: 10.1016/j.ijpe.2013.10.016.
- [11] G. Caputo, M. Gallo, and G. Guizzi, "Optimization of production plan through simulation techniques," *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, vol. 6, no. 3, pp. 352–362, 2009.
- [12] J. S. Carson, "Introduction to modeling and simulation," *Proceedings - Winter Simulation Conference*, vol. 2005, pp. 16–23, 2005, doi: 10.1109/WSC.2005.1574235.

- [13] M. Xiao *et al.*, “Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings,” *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, pp. 1–18, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-06211-w.
- [14] H. Kaid, A. Dabwan, and A. Al-Ahmari, “Modeling and simulation of queuing systems using stochastic Petri net and Arena software: A case study,” *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, vol. 2018-March, pp. 1303–1315, 2018.
- [15] B. Ozdemir and M. Kumral, “Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines,” *Simul Model Pract Theory*, vol. 95, no. April, pp. 36–48, 2019, doi: 10.1016/j.simpat.2019.04.006.
- [16] R. Ojstersek and B. Buchmeister, “Use of simulation software environments for the purpose of production optimization,” *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*, no. November, pp. 750–758, 2017, doi: 10.2507/28th.daaam.proceedings.106.
- [17] T. L. Garwood, B. R. Hughes, M. R. Oates, D. O’Connor, and R. Hughes, “A review of energy simulation tools for the manufacturing sector,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, no. November 2016, pp. 895–911, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.063.
- [18] R. E. Shannon, “Introduction to the art and science of simulation,” *Winter Simulation Conference Proceedings*, vol. 1, pp. 7–14, 1998, doi: 10.1109/wsc.1998.744892.
- [19] M. J. Lees and M. C. Johnstone, “Implementing safety features of industry 4.0 without compromising safety culture,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 13, pp. 680–685, 2021, doi: 10.1016/j.ifacol.2021.10.530.
- [20] J. Lee, I. Cameron, and M. Hassall, “Improving process safety: What roles for digitalization and industry 4.0?,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 132, pp. 325–339, 2019, doi: 10.1016/j.psep.2019.10.021.
- [21] Z. Liu, K. Xie, L. Li, and Y. Chen, “A paradigm of safety management in Industry 4.0,” *Syst Res Behav Sci*, vol. 37, no. 4, pp. 632–645, 2020, doi: 10.1002/sres.2706.
- [22] J. Banks, “Introduction to simulation,” *Winter Simulation Conference Proceedings*, vol. 1, pp. 7–13, 1999, doi: 10.1145/324138.324142.
- [23] S. K. H. Al-khafaji and H. M. R. Al-Rufaifi, “A Case Study of Production Improvement by Using Lean with Simulation Modeling,” *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 271–279, 2012.
- [24] P. Shamuvel, K. S. B, S. M. S, B. S. G, K. S. J, and P. A. V, “Performance of manufacturing system improvement by arena 10 simulation software,” vol. 2, no. 5, pp. 35–38, 2016.
- [25] H. Zhang and H. C. Long, “Simulation of Evacuation in Crowded Places Based on BIM and Pathfinder,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1880, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1880/1/012010.
- [26] V. Alonso-Gutierrez and E. Ronchi, “The simulation of assisted evacuation in hospitals,” *Fire and Evacuation Modelling Technical Conference, FEMTC*, 2016.
- [27] A. Pandian and A. A. Ali Leon Linton, “The Effects of System Failures in a Robotic Assembly Line- Simulation Modeling and DOE Analysis,” *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali*, pp. 513–522, 2014.
- [28] A. H. A. R. Et.al, “Production Smoothness Improvement through ARENA Application in the Food Manufacturing Industry,” *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, vol. 12, no. 3, pp. 3516–3526, 2021, doi: 10.17762/turcomat.v12i3.1627.

- [29] M. A. bin Mohd Said and N. B. Lsmail, "Virtual production line layout modeling using arena simulation software," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 393, pp. 42–48, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.393.42.
- [30] L. P. Ferreira, E. A. Gómez, G. C. P. Lourido, J. D. Quintas, and B. Tjahjono, "Analysis and optimisation of a network of closed-loop automobile assembly line using simulation," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 59, no. 1–4, pp. 351–366, 2012, doi: 10.1007/s00170-011-3502-4.
- [31] S. Iassinovski, A. Artiba, and C. Fagnart, "A generic production rules-based system for on-line simulation, decision making and discrete process control," *Int J Prod Econ*, vol. 112, no. 1, pp. 62–76, 2008, doi: 10.1016/j.ijpe.2006.08.028.
- [32] J. Wang, Q. Chang, G. Xiao, N. Wang, and S. Li, "Data driven production modeling and simulation of complex automobile general assembly plant," *Comput Ind*, vol. 62, no. 7, pp. 765–775, 2011, doi: 10.1016/j.compind.2011.05.004.
- [33] S. M. Zahraee, R. Esrafilian, R. Kardan, N. Shiwakoti, and P. Stasinopoulos, "Lean construction analysis of concrete pouring process using value stream mapping and Arena based simulation model," *Mater Today Proc*, vol. 42, pp. 1279–1286, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.955.
- [34] M. Jamil and N. M. Razali, "Simulation of Assembly Line Balancing in Automotive Component Manufacturing," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 114, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1757-899X/114/1/012049.
- [35] Y. C. Chen, C. H. Loh, F. C. Wang, Z. J. Chen, S. H. Fu, and C. Y. Wang, "Application of Generative Adversarial Network to Optimize Vehicle Allocation at Dispatch Stations of Paratransit Services," *Electronics (Switzerland)*, vol. 11, no. 3, 2022, doi: 10.3390/electronics11030423.
- [36] M. Mitrovi, M. Vidovi, and G. Radivojevi, "Order Level Optimization in Inventory Management Using Arena Simulation Model," *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 257–266, 2021, doi: 10.7708/ijtte.2021.11(2).06.
- [37] I. Radulescu, A. C. Tociu, and A. V. Radulescu, "Modeling and simulating the activities in an automobile repair shop using ARENA software - Part 1," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 997, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/997/1/012128.
- [38] S. Harrison, J. Bansee, B. Chowdary, R. Seepersad, and D. Frederick, "Exploring an Optimization Strategy At the Maintenance Department of an Oil Company," no. January 2017, pp. 936–945, 2020, doi: 10.47412/gxhp6799.
- [39] M. Sadono, D. Y. Putra, and S. A. Harahap, "Development of Aircraft Movement Simulation in Airport Airside Area," *Avia*, vol. 2, no. 1, pp. 9–19, 2021, doi: 10.47355/avia.v2i1.13.
- [40] F. Han, L. Liu, and Y. Zhang, "Pathfinder-Based Simulation and Optimisation of Personnel Evacuation Modelling of a Shopping Mall," *J Phys Conf Ser*, vol. 1757, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1757/1/012112.
- [41] Y. Guo *et al.*, "A virtual reality simulation method for crowd evacuation in a multiexit indoor fire environment," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 9, no. 12, 2020, doi: 10.3390/ijgi9120750.
- [42] P. Choochart and C. Thipyopas, "Study of Passenger Evacuation from the Airbus A330-300 Aircraft," p. 25, 2020, doi: 10.3390/proceedings2019039025.
- [43] Y. Chen *et al.*, "Fire Evacuation Process Using Both Elevators and Staircases for Aging People: Simulation Case Study on Personnel Distribution in High-Rise Nursing Home," *Discrete Dyn Nat Soc*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/5365126.
- [44] S. Kong, W. Guo, and W. Wang, "Research on Evacuation Simulation of University Teaching Building Based on Pathfinder," 2023, doi: 10.4108/eai.2-12-2022.2328684.

- [45] Y. Yao and W. Lu, "Children's evacuation behavioural data of drills and simulation of the horizontal plane in kindergarten," *Saf Sci*, vol. 133, no. September 2020, p. 105037, 2021, doi: 10.1016/j.ssci.2020.105037.
- [46] J. Zhao and S. Song, "Proceedings of 2015 2nd International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering," *Proceedings of 2015 2nd International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering*, pp. 493–499, 2016, doi: 10.1007/978-981-287-655-3.
- [47] Z. Y. Li, M. Tang, D. Liang, and Z. Zhao, "Numerical Simulation of Evacuation in a Subway Station," *Procedia Eng*, vol. 135, pp. 616–621, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.126.
- [48] Y. Shen, Q. Wang, W. Yan, and J. Sun, "An evacuation model coupling with toxic effect for chemical industrial park," *J Loss Prev Process Ind*, vol. 33, pp. 258–265, 2015, doi: 10.1016/j.jlp.2015.01.002.
- [49] H. C. M. Vorst, "Evacuation models and disaster psychology," *Procedia Eng*, vol. 3, pp. 15–21, 2010, doi: 10.1016/j.proeng.2010.07.004.
- [50] R. Lovreglio, E. Kuligowski, S. Gwynne, and K. Boyce, "A pre-evacuation database for use in egress simulations," *Fire Saf J*, vol. 105, no. May 2018, pp. 107–128, 2019, doi: 10.1016/j.firesaf.2018.12.009.
- [51] J. Kmec, "Challenges in Train Evacuation Modelling," pp. 1–14, 2022.
- [52] Y. Kang and X. Xia, "Pr ep rin t n pe er re v Pr t n ot pe er v ed," vol. 1.
- [53] S. Atyabi, M. Kiavarz Moghaddam, and A. Rajabifard, "Optimization of emergency evacuation in fire building by integrated bim and gis," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 42, no. 4/W18, pp. 131–139, 2019, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-131-2019.
- [54] J. Zhang, J. Guo, X. Liu, H. Xiong, and D. Zhang, "A framework for an intelligent and personalized fire evacuation management system," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 14, 2019, doi: 10.3390/s19143128.
- [55] P. Chen, G. Chen, L. Wang, and G. Reniers, "Optimizing emergency rescue and evacuation planning with intelligent obstacle avoidance in a chemical industrial park," *J Loss Prev Process Ind*, vol. 56, no. April, pp. 119–127, 2018, doi: 10.1016/j.jlp.2018.08.006.

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: Ricardo Manuel Gomes Pedro

ISEP, Porto, 08 de setembro de 2024