

CONTRIBUTOS DA SIMULAÇÃO PARA A MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM AIRBUS A320

ALEXANDRA DANIELA BORGES DA SILVA PRATA

julho de 2024

CONTRIBUTOS DA SIMULAÇÃO PARA A MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM AIRBUS A320

Alexandra Daniela Borges da Silva Prata

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

Orientador: Professor Doutor Luís Pinto Ferreira

Júri:

Presidente:

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

Vogais:

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

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

CONTRIBUTOS DA SIMULAÇÃO PARA A MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM AIRBUS A320

Alexandra Daniela Borges da Silva Prata

2024

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

CONTRIBUTOS DA SIMULAÇÃO PARA A MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM AIRBUS A320

Alexandra Daniela Borges da Silva Prata

Estudante n.º 1220097

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira.

2024

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Muitos foram os que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização desta dissertação, aos quais não poderia deixar de agradecer.

Um agradecimento especial, ao professor Doutor Luís Pinto Ferreira por aceitar ser meu orientador, pelo conhecimento transmitido, pela prontidão no apoio e motivação nos momentos cruciais durante todo o tempo da realização deste trabalho.

Ao meu marido pela incondicional ajuda, alento e força, mesmo quando eu própria duvidava, não só para a realização desta dissertação, mas também durante todo o percurso precedente.

Aos meus pais e sogros pela ajuda incansável e pela compreensão da ausência em momentos familiares para que a realização deste mestrado fosse possível.

Aos amigos mais próximos, pela compreensão de todas as ausências e incentivo para o sucesso da realização deste mestrado.

A todos o meu imenso obrigado, pois só assim foi possível!

página propositadamente em branco

RESUMO

A sustentabilidade é uma prioridade crescente na indústria da aviação, que busca continuamente maneiras de reduzir seu impacto ambiental enquanto melhora a eficiência operacional. Por este motivo e devido ao crescente aumento na procura, a aviação comercial enfrenta desafios constantes para melhorar a eficiência e reduzir custos. As etapas necessárias para garantir a chegada e realizar nova partida de um avião são cruciais à economia e fluxo dos aeroportos, nomeadamente o desembarque e embarque. É fundamental que haja cada vez mais otimização de cada uma dessas etapas para proporcionar uma melhoria. O desembarque de um avião eficiente é decisivo para as companhias aéreas, causando impacto direto na satisfação dos clientes e na lucratividade. Assim, o avião está disponível mais rapidamente para ser preparado para a realização de uma nova rota.

O principal objetivo desta dissertação passa por analisar diferentes estratégias de desembarque e identificar quais são as mais eficazes para reduzir o tempo total necessário para que todos os passageiros abandonem a aeronave. Para alcançar o objetivo proposto, recorreu-se ao *software* Pathfinder no qual se desenvolveu um modelo de simulação de evacuação de um Airbus A320. No *layout* estudado, estavam disponíveis 156 lugares para passageiros, sendo 24 destinados à *Business Class*. Foram estudadas cinco diferentes estratégias, sendo que para cada uma delas foram testados dois cenários: a utilização de uma só porta e de duas portas.

O estudo realizado, através de modelos de simulação, permitiu identificar que a utilização de duas portas em simultâneo é favorável à eficiência do desembarque. O desembarque completamente aleatório do Airbus A320 com 156 passageiros com a utilização de uma porta demora 380,1 segundos, enquanto a utilização de duas portas reduz esse tempo para 179,7 segundos. A aplicação de estratégias mais organizadas, demonstram que o desembarque poderá ser realizado num menor tempo. A estratégia que melhor resultado apresenta é a estratégia 4, *Center to Window in group*, com um tempo necessário de 148,7 segundos com utilização de 2 portas, o que se traduz num ganho de 17% em relação ao desembarque aleatório.

PALAVRAS-CHAVE

Estratégias de evacuação, Pathfinder, Simulação computacional, Airbus A320

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Sustainability is a growing priority in the aviation industry, which is constantly seeking ways to reduce its environmental impact while improving operational efficiency. For this reason and with the increasing demand, commercial aviation faces constant challenges to improve efficiency and reduce costs. The steps required to ensure the arrival and departure of an aircraft are crucial to the economy and flow of airports, namely disembarking and boarding. It is essential that there is an increasing optimization of each of these steps to provide an improvement. The efficient disembarking of an aircraft is crucial for airlines, having a direct impact on customer satisfaction and profitability. Thus, the aircraft is available more quickly to be prepared for a new route.

The main objective of this dissertation is to analyse different disembarking strategies and identify which are most effective in reducing the total time required for all passengers to leave the aircraft. To achieve the proposed objective, the Pathfinder software was used to develop a simulation model for the evacuation of an Airbus A320. The layout studied had 156 seats available for passengers, 24 of which were for Business Class. Five different strategies were studied, and two scenarios were tested for each of them: the use of a single door and two doors. The study carried out, using simulation models, identified that the use of two doors simultaneously is favourable to the efficiency of disembarkation. The completely random disembarkation of the Airbus A320 with 156 passengers using one door takes 380.1 seconds, while using two doors reduces this time to 179.7 seconds. The application of more organised strategies shows that disembarkation can be carried out in less time. The strategy that presented the best result is strategy 4, Center to Window in group, with a time required of 148.7 seconds using two doors, which translates into a gain of 17% compared to random disembarkation.

KEYWORDS

Evacuation strategies, Pathfinder, Computer simulation, Airbus A320

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema de investigação, enquadramento e pertinência	1
1.2. Questão e objetivos de investigação	2
1.3. Opções metodológicas	2
1.4. Gestão e organização da dissertação	3
2. REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. A importância do sector aeroespacial	5
2.2. Sustentabilidade	7
2.3. Simulação como ferramenta de apoio à decisão	9
2.4. Casos de estudo de aplicação de sustentabilidade no sector aeroespacial	11
2.5. Importância da melhoria do processo de evacuação na aviação comercial	15
2.6. Evacuação	16
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	19
3.1. <i>Layout</i> Airbus A320	19
3.2. Estudo de simulação	20
3.2.1. Interface Gráfica	20
3.2.2. Estratégias de desembarque	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Apresentação de resultados	27
4.1.1. Estratégia 1 – <i>Random</i>	27
4.1.2. Estratégia 2 – <i>Front to Back</i>	29
4.1.3. Estratégia 3 – <i>Center to Window</i>	30
4.1.4. Estratégia 4 – <i>Center to Window in group</i>	31
4.1.5. Estratégia 5 – <i>Cross</i>	33
4.2. Discussão de resultados	34
5. CONCLUSÃO	39
5.1. Conclusões finais	39
5.2. Limitações e investigação futura	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE	49

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – “Comércio Internacional de bens – Exportações Produtos de alta tecnologia – Valor e taxa de variação anual, 2013-2022” (Fonte: INE, 2023 p.13)	6
Figura 2 – “Comércio Internacional de bens – Exportações Produtos de alta tecnologia – Valor por agrupamento, 2021-2022” (Fonte: INE, 2023, p. 14).....	7
Figura 3 - Posição das empresas perante desafios da sustentabilidade. (Adaptado “Hermundsdottir & Aspelund, 2021).....	8
Figura 4 – Programa ZERO da AIRBUS. Fonte: Decarbonisation (Airbus, sem data).....	8
Figura 5 - Esquema das operações necessárias de um avião (San Antonio et al., 2017).....	15
Figura 6 - Etapas do <i>turnaround time</i> (Böhm et al., 2022).....	16
Figura 7 – Modelo e dimensões do Airbus A320	19
Figura 8 – <i>Layout</i> da distribuição de lugares do Airbus A320	20
Figura 9 – Menu inicial do <i>software</i> Pathfinder.....	21
Figura 10 – Atribuição do ponto de referência no <i>software</i>	21
Figura 11 – Distribuição das áreas do Airbus A320.....	22
Figura 12 – Menu de introdução de portas no <i>software</i>	22
Figura 13 – Distribuição dos ocupantes do Airbus A320.....	23
Figura 14 – Definição do perfil dos ocupantes.....	23
Figura 15 – Perfis e comportamentos dos passageiros.....	24
Figura 16 – Função de definição de comportamentos	24
Figura 17 – Opção de escolha de saídas na função de definição de comportamento	25
Figura 18 – Exemplo de comportamento atribuído ao ocupante da <i>Business Class</i> e posição D....	27
Figura 19 – Exemplo de comportamento atribuído ao ocupante da <i>Economy Class</i> e posição D... 27	27
Figura 20 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 1; (a) uma porta; (b) 2 portas	28
Figura 21 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Business Class</i> da fila 1	29
Figura 22 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Economy Class</i> da fila 7	29
Figura 23 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 2; (a) uma porta; (b) 2 portas	29
Figura 24 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Business Class</i> das posições C e D	30
Figura 25 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Business Class</i> das posições A e F.....	30
Figura 26 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 3; (a) uma porta; (b) 2 portas	31
Figura 27 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Business Class</i> das posições C e D das filas 1 a 3.....	32
Figura 28 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Business Class</i> das posições C e D das filas 4 a 6.....	32
Figura 29 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 4; (a) uma porta; (b) 2 portas	32
Figura 30 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Business Class</i> das posições A e C da fila 1 e D e F da fila 2	33

Figura 31 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da <i>Business Class</i> das posições D e F da fila 1 e A e C da fila 2	33
Figura 32 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 5; (a) uma porta; (b) 2 portas	34
Figura 33 – Comparação de resultados dos dois cenários analisados	35
Figura 34 – Resultados das cinco estratégias com utilização de uma porta.....	36
Figura 35 – Ganhos de tempo em relação à Estratégia 1 - <i>Random</i>	36
Figura 36 – Resultados das cinco estratégias com utilização de duas portas.....	37
Figura 37 – Ganhos de tempo em relação à Estratégia 1 - <i>Random</i>	37

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Casos de estudo de sustentabilidade no sector aeroespacial	11
Tabela 2 – Descrição das estratégias a analisar	25
Tabela 3 – Resultados obtidos para a estratégia 1 (com uma e com duas saídas)	28
Tabela 4 – Resultados obtidos para a estratégia 2 (com uma e com duas saídas)	30
Tabela 5 – Resultados obtidos para a estratégia 3 (com uma e com duas saídas)	31
Tabela 6 – Resultados obtidos para a estratégia 4 (com uma e com duas saídas)	33
Tabela 7 – Resultados obtidos para a estratégia 5 (com uma e com duas saídas)	34

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

ABS	<i>Acrylic Butadiene Styrene</i>
AM	<i>Additive Manufacturing</i>
ESA	Agência Espacial Europeia
ABMS	<i>Agent-based modeling and simulation</i>
CEI	<i>Circular Economy Indicator</i>
DES	<i>Discrete Event Simulation</i>
EVM	<i>Earned Value Management</i>
E ² -EVM	<i>Enhanced and Efficient Earned Value Management</i>
EIA	<i>Environmental Impact Assessment</i>
FMI	Fundo Monetário Internacional
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
HS	<i>Hybrid Simulation</i>
IPA	<i>Importance-Performance Analysis</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
ISM	<i>Interpretive Structural Modelling</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
MCDA	<i>Multi-Criteria Decision Analysis</i>
NU	Nações Unidas
NPV	<i>Net Present Value</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Organização Mundial de Saúde
PIB	Produto Interno Bruto (PIB)
IDSS	Sistema Inteligente de Apoio à Decisão
SSA	<i>Strategic Sustainability Assessment</i>
SPD	<i>Sustainable Product Development</i>
SD	<i>System Dynamics</i>
VDD	<i>Value-Driven Design</i>
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>

Lista de Símbolos

<i>s</i>	Segundos	<i>s</i>
<i>m</i>	Metros	<i>m</i>

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo apresenta-se a contextualização do projeto, através da identificação do problema, e a sua pertinência nos dias atuais. São ainda apresentadas questões de investigação, os objetivos a atingir com a concretização do trabalho e a metodologia adotada.

1.1. Problema de investigação, enquadramento e pertinência

Nos últimos anos assistimos a alterações climáticas muito preocupantes para a sobrevivência dos seres vivos. O aumento da temperatura é talvez o mais sentido, tendo sido o ano de 2022 o sexto mais quente desde 1880, e os dez anos mais quentes foram todos registados desde o ano de 2010 (Department for Energy Security and Net Zero, 2023; U.S. Global Change Research Program, 2017). Por consequência do aumento das temperaturas, ocorre o degelo dos glaciares e aumenta o nível da água do mar. E ainda fomos assistindo a furacões com ventos a atingir records. (Levin, 2019). As alterações climáticas têm efeito também no aumento de seca, perda de espécies, escassez de comida, riscos para a saúde e pobreza e deslocamento (United Nations, sem data-a).

Importa entender quais os fatores que proporcionam estas alterações climáticas. As principais causas são a produção de energia através de combustíveis fósseis, fabricação de produtos, desflorestação, uso de transportes a combustão, produção de alimentos, o desaproveitamento de energia nos edifícios e o consumo em excesso (NASA, sem data; Turrentine, 2022; United Nations, sem data-a).

O termo sustentabilidade emergiu nos finais de 1970 e inícios de 1980, mas começou a ser mais reconhecido com a publicação do relatório *World Commission on Environment and Development* (WCED) com o apoio das Nações Unidas (NU), (Caradonna, 2022; Mebratu, 1998). As NU tornou o tema muito mais pertinente com a elaboração de uma agenda de sustentabilidade em 2015, com o objetivo de desenvolvimento sustentável para as gerações futuras. Caso a população, organizações e governos mantenham o comportamento das últimas décadas a sobrevivência de espécies no planeta Terra e a própria existência humana é colocada em causa. Para tal as NU enumerou dezassete objetivos de desenvolvimento sustentável e assinou o Acordo Climático de Paris que impõe metas e redução de emissões de gases com efeito de estufa. As NU também conseguiu envolver um conjunto de entidades que apoiam o desenvolvimento sustentável, tais como o Fundo Monetário Internacional (FMI), Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (United Nations, sem data -b; UNFCCC, sem data).

Sem dúvida que a produção e consumo de energia é o que mais contribui para a emissão dos gases com efeito de estufa, intrinsecamente esse consumo está também relacionado com indústrias (Lamb et al., 2021; Olivier & Peters, 2020). Embora as indústrias tenham períodos de abrandamento, como a crise bancária de 2008 e a crise pandémica do Covid-19, a tendência é que estejam em constante crescimento. Isto, perfaz uma elevada dependência e consumo energético, quer seja a energia para as máquinas da produção funcionar à necessidade de combustíveis para alimentar a cadeia logística.

A necessidade das indústrias tomarem medidas que diminuam ou eliminem por completo as emissões de gases com efeito de estufa é urgente. Para que possamos garantir um futuro sustentável.

A indústria aeroespacial não é exceção à dependência energética. A indústria aeroespacial encontra-se em grande crescimento e com elevado nível de competitividade, quer seja pela conquista de viagens ao espaço quer pelo desenvolvimento de aviões de transporte de passageiros. Atualmente ninguém consegue colocar de lado a facilidade de realizar deslocações de milhares de quilómetros em apenas algumas horas. Os satélites também nos permitem aceder facilmente a informações metrológicas, bastante fidedignas, e informações de navegação. Esta indústria, por sua vez tem uma cadeia de valor bastante pesada no que diz respeito às emissões de gases com efeito estufa, que vai desde os combustíveis utilizados nas aeronaves, passando pela complexidade dos materiais utilizados na construção das aeronaves e consequente reciclagem e valorização em fim de vida. Na aviação comercial o tempo que uma aeronave permanece em terra é um período crítico que afeta a pontualidade, a experiência dos passageiros e os custos operacionais. Com a otimização desse tempo, as companhias aéreas podem reduzir o consumo de combustível, diminuir as emissões de gases com efeito estufa e melhorar a eficiência geral, mas também desempenha um papel importante na sustentabilidade.

1.2. Questão e objetivos de investigação

Tendo em consideração o problema descrito, este trabalho pretende obter resposta à questão de investigação: qual a melhor forma de evacuar um Airbus A320, contribuindo para a redução do *turnaround time*, bem como na eficiência operacional e na sustentabilidade?

Sendo o principal objetivo o desenvolvimento de um modelo de simulação que permita analisar a eficiência de evacuação de um Airbus A320 com 156 passageiros, enumeram-se em seguida os objetivos mais específicos para alcançar o objetivo principal:

- Identificação do *layout* do Airbus A320, distribuição de lugares disponíveis;
- Realização do modelo de simulação do Airbus A320 no Pathfinder;
- Análise de diferentes estratégias através do Pathfinder;
- Comparação das diferentes estratégias;
- Identificação das estratégias mais promissoras.

1.3. Opções metodológicas

Esta dissertação enquadra-se numa metodologia de Estudo do Caso. Esta metodologia permite o estudo aprofundado de uma decisão, um incidente, um processo, entre outros (Coutinho, 2011). O Estudo do Caso é a metodologia que procura analisar, descrever e compreender alguns casos (Morgado, 2012).

De forma a sintetizar esta metodologia, foram identificadas três fases (Morgado, 2012):

- Fase exploratória: é analisada a pertinência do problema, são identificados os elementos-chave e contornos do problema em estudo;
- Fase de recolha de dados: momento no qual deve ser recolhida toda a informação crucial para a realização do estudo. É fundamental verificar a qualidade dos dados recolhidos, para garantir o rigor e veracidade do estudo;
- Fase de análise, interpretação e divulgação dos dados: fase de elaboração de um documento, como por exemplo a dissertação, no qual se apresenta e faça a discussão dos resultados obtidos.

Durante a realização deste trabalho, foram aplicadas as três fases, resultando na apresentação dos resultados obtidos com as diferentes estratégias de evacuação do Airbus A320, para que seja possível alcançar o objetivo de identificar as estratégias mais eficientes.

1.4. Gestão e organização da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco principais capítulos.

No capítulo 1 é dedicado ao enquadramento da realização deste trabalho, á descrição dos objetivos a atingir no presente trabalho, assim como a metodologia adotada.

O capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, com o objetivo de entender as preocupações e a importância que o setor da indústria aeroespacial dá à importância da sustentabilidade, como os trabalhos que tem vindo a ser desenvolvidos na área da sustentabilidade.

No capítulo 3 é descrito a configuração do modelo do Airbus A320 para a realização do estudo do presente trabalho, o desenvolvimento do modelo de simulação para apoio à decisão das diferentes estratégias adotadas.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação dos resultados obtidos das simulações das diferentes estratégias, bem como a discussão dos mesmos resultados.

Por fim, o capítulo 5 são enumeradas as conclusões retidas do estudo realizado, as propostas para realização de futuros trabalhos e as dificuldades encontradas.

2. REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo é dedicado à fundamentação da literatura para a realização do presente trabalho. Inicialmente é abordada a importância do sector aeroespacial e a sustentabilidade, de modo a perceber a sua importância nos dias de hoje e para o futuro. São expostos os fortes contributos das simulações e as abordagens mais utilizadas para diferentes áreas. São apresentados casos de estudos que demonstram que o estudo da sustentabilidade no sector aeroespacial é um assunto bastante pertinente.

2.1. A importância do sector aeroespacial

O sector aeroespacial engloba todas as atividades de pesquisa e desenvolvimento, produção e operações de aviões, helicópteros, satélites, foguetões, entre outros veículos de transporte aéreo e espacial. As suas aplicações concentram-se essencialmente em aplicações comerciais, industriais e militares. O desenvolvimento deste sector permitiu o transporte rápido e eficiente de pessoas e mercadorias em todo o mundo, os aviões comerciais permitem viagens de longa distância num espaço temporal de horas, promovendo a comunicação entre culturas e comércio. A exploração do espaço tem ampliado o conhecimento sobre o universo e cooperado para avanços científicos. Os satélites de comunicação, desenvolvidos e lançados pelo sector aeroespacial, permitem a transmissão de dados, voz e vídeo à escala global. Esses sistemas são essenciais para telecomunicações, internet, televisão por satélite e comunicações de emergência. Também os satélites de sensoriamento remoto monitorizam a meteorologia, o meio ambiente, os recursos naturais e os desastres naturais. Essas informações são essenciais para a previsão do estado do tempo, a monitorização das alterações climáticas, a previsão de desastres e a conservação ambiental. O sector aeroespacial fornece tecnologia avançada para defesa e segurança nacional, incluindo aeronaves de combate, sistemas de vigilância, satélites de reconhecimento e mísseis de defesa. Importa ainda referir, que está em constante desenvolvimento tecnológico numa gama alargada de áreas. No entanto, não deixa de ser um sector que enfrenta desafios relativamente ao nível de produtividade, eficácia e sustentabilidade (Jornal Económico, 2021; Público, 2022; Expresso, 2023; Case Studies Cegoc, sem data). A Agência Espacial Europeia (ESA), reconhece a importância da sustentabilidade, começando por implementar atividades e programas que vão de encontro com as orientações da ISO 26000, norma criada para apoiar as organizações a assumirem um compromisso real e mensurável com o desenvolvimento sustentável (ESA, sem data; NQA, sem data). A norma 14001, que diz respeito à gestão ambiental, é também uma das normas que as empresas do sector aeroespacial procuram obter a certificação (Airbus, sem data; ISQ Portugal, sem data; Aerospace Manufacturing and Design, sem data).

Em Portugal, há cerca de 20 anos apenas existiam entre três ou quatro empresas, em que o Estado Português possuía o domínio do capital. Nos últimos anos, tem-se caminhado a passos largos para uma posição importante neste sector, atualmente é o sector privado que possui o domínio com cerca de oitenta empresas. Portugal conseguiu atrair interesse e investimentos de grandes empresas mundiais. Em 2017 a Airbus instalou-se em Santo Tirso, com a meta de criar 250 postos de trabalho até 2023 (Renascença, 2022). A Beyond Gravity, a maior empresa espacial Suíça, instalou-se em Lisboa em 2023 ambicionando empregar pelo menos 200 trabalhadores até 2025

(Jornal de Negócios, 2023). Além do investimento empresarial, também projetos europeus tem impulsionado Portugal a marcar posição no sector aeroespacial, também o Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) irá financiar cerca de 243,6M€ até 2025 em projetos como o *New Space Portugal*, *Agenda Aero.Next Portugal* e *AI Fights Space Debris*. A realização destes projetos possibilita um grande crescimento e firmeza no sector aeroespacial, principalmente na formação altamente qualificada de pessoas e fixação dos talentos que são tão preciosos para a indústria. (Jornal Económico, 2021; Expresso, 2023)

O crescente desenvolvimento da indústria aeroespacial também tem contribuído favoravelmente nas finanças portuguesas. Em 2022, o sector aeroespacial representava 1,4% do Produto Interno Bruto (PIB), no referido ano, e segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE) as exportações de produto de alta tecnologia (onde está incluído o sector aeroespacial) subiram 36,1%, como mostra a Figura 1. O sector aeroespacial está a despertar interesse de países como a Alemanha, França e Itália. (ECO, 2023; INE, 2023; Público, 2022)

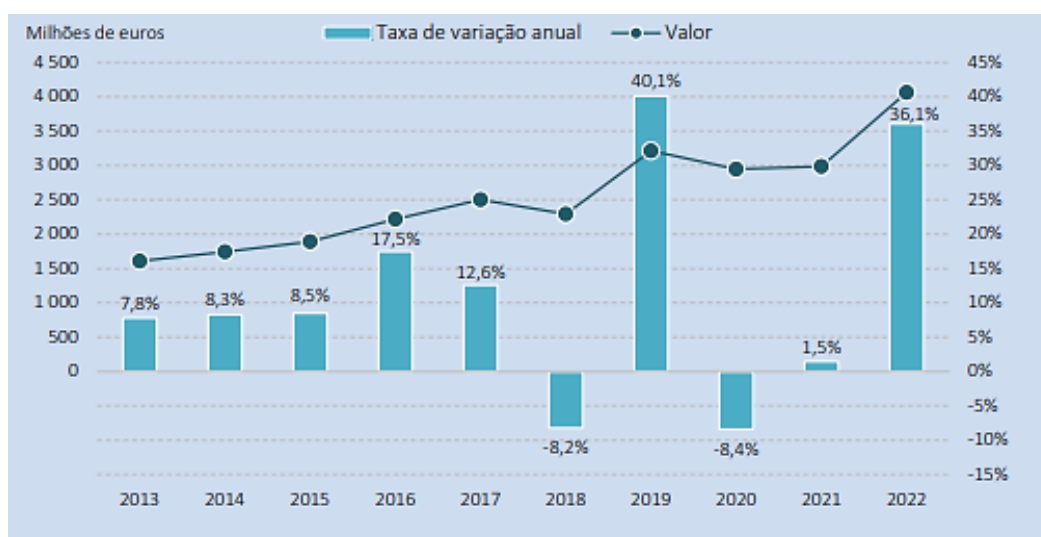


Figura 1 – “Comércio Internacional de bens – Exportações Produtos de alta tecnologia – Valor e taxa de variação anual, 2013-2022” (Fonte: INE, 2023 p.13)

A Figura 2 apresenta detalhadamente os valores por cada área/tipo de produtos, e pode-se observar que em 2022 o sector aeroespacial teve um crescimento significativo. O que comprova que Portugal está se a conseguir posicionar no sector aeroespacial (INE, 2023).

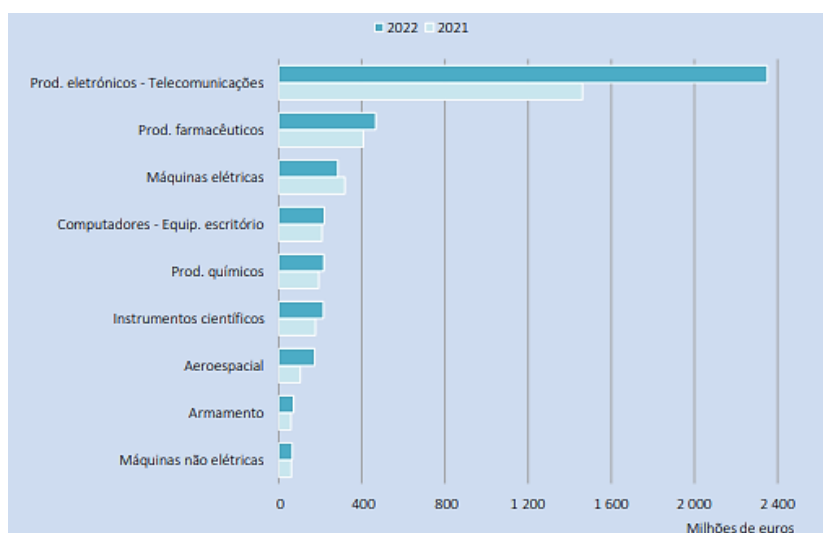


Figura 2 – “Comércio Internacional de bens – Exportações Produtos de alta tecnologia – Valor por agrupamento, 2021-2022” (Fonte: INE, 2023, p. 14)

2.2. Sustentabilidade

A sustentabilidade pode ser definida, citando Geissdoerfer et al. (2017), “integração equilibrada do desempenho económico, da inclusão social e da resiliência ambiental, em benefício das gerações atuais e futuras” (Geissdoerfer et al., 2017, p.767). A sustentabilidade surgiu devido à preocupação em relação às prejudiciais emissões resultantes da utilização de recursos, que deram origem às alterações climáticas a que se tem assistido (Hermundsdottir & Aspelund, 2021). Tradicionalmente são associadas três dimensões à sustentabilidade: sociedade, ambiente e economia (Purvis & Robinson, 2019; Rupperecht et al., 2020). Arena et al. (2009) identificaram nove sub-dimensões: materiais, energia, água, biodiversidade, emissões, resíduos, produção e serviços, conformidade e transporte (Arena et al., 2009). O conceito de sustentabilidade é facilmente ligado com desenvolvimento sustentável (Ruggerio, 2021), embora na literatura haja opiniões contraditórias à cooperação dos dois conceitos, mas cada vez mais é reforçada a ideia que ambos estão fortemente associados, um dos fatores que completou esse reforço foi a definição dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pelas NU (Purvis & Robinson, 2019). Assim devido a pressões externas, governamentais e dos *stakeholder* levou as empresas a adotar nas suas gestões e inovações os três principais pilares da sustentabilidade. Numa visão mais conservadora há a percepção de que a sustentabilidade e competitividade das empresas seguem caminhos opostos. A competitividade pode ser colocada em causa, pois implementar medidas de sustentabilidade pode envolver custos elevados, riscos e os baixos apoios governamentais. Por outro lado, há quem tenha uma visão mais progressista, em que vê as regulamentações ambientais como desafio das empresas, a serem cada vez mais inovadoras e procurem soluções que fomentem a criação de valor e eficiência operacional. Os pilares da sustentabilidade e a visão das empresas pode ser resumido ao esquema apresentado na Figura 3 (Hermundsdottir & Aspelund, 2021).

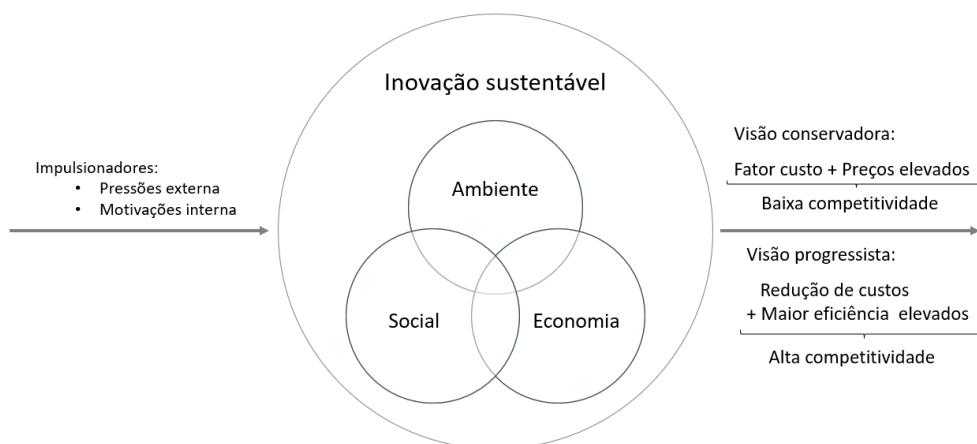


Figura 3 - Posição das empresas perante desafios da sustentabilidade. (Adaptado “Hermundsdottir & Aspelund, 2021)

Importa entender quais as ferramentas que as empresas podem adotar para alcançar os objetivos da sustentabilidade. Já foram disponibilizadas algumas ferramentas pelas instituições governamentais e pelas universidades, no entanto essas ferramentas possuem implementações complexas devido à adaptação e à viabilidade financeira. Por vezes é mais fácil adaptar metodologias individuais de acordo com a área de atuação, por exemplo nas indústrias importa identificar o tipo de energia consumida, materiais utilizados, desperdícios e regulamentações a obedecer (Arena et al., 2009). O conceito de economia circular, que é aliado ao conceito de sustentabilidade, pode apoiar as empresas a alcançar um maior sucesso um desenvolvimento sustentável (Rossi et al., 2020).

O sector aeroespacial não é exceção em implementar medidas e adotar metodologias que façam o seu sector mais sustentável. Atualmente as companhias aéreas têm obrigatoriamente de controlare reportar as emissões. Estas medidas pretendem que entre 2021 e 2035 o sector compense 80% das emissões superiores aos limites desde 2020 (European Commission, sem data). Um exemplo é Airbus, que se propõe a atingir o objetivo da neutralidade carbónica até 2050, tal como mostra a Figura 4 (Airbus, sem data).



Figura 4 – Programa ZERO da AIRBUS. Fonte: Decarbonisation (Airbus, sem data)

2.3. Simulação como ferramenta de apoio à decisão

As simulações podem ser definidas uma operação que simula um sistema real, em que é dado um input e através do modelo de simulação utilizado é obtido um output (Maria, 1997). As simulações englobam os seguintes componentes:

- Modelação esta é o momento em que se desenvolve o modelo;
- Modelo que representa de modo abstrato e simples o sistema, com pressupostos, que por vezes são representados por relações matemáticas ou lógicas;
- Sistema que é o processo que se pretende analisar;
- Processo que agrupa elementos inter-relacionados;
- Simulação que é a operação do modelo ao longo do tempo.

As simulações permitem prever as possíveis melhorias num sistema sem recorrer a utilização excessiva de recurso e consequentemente possibilita a redução de custos (de Paula Ferreira et al., 2020; Maria, 1997).

As simulações atualmente têm uma aplicação muito diversificada, pois permitem testar e validar produtos, processos, projetos e prever o desenvolvimento e resultados. Estas previsões são alcançadas de forma mais rápida e sem recorrer a elevados recursos, como aconteceria se testássemos algo na realidade. As simulações podem ser utilizadas para diferentes fins, tais como, prever, comprovar, explicar, e obter orientação empírica (de Paula Ferreira et al., 2020). Para além disso, a maioria dos principais fornecedores de software de simulação, por exemplo, *AnyLogic*, *MathWorks*, *Arena*, *Autodesk*, *Aspen Technology*, *AVEVA*, *Pathfinder*, continuam a apostar na inovação de modo a acompanhar as necessidades do mercado.

São várias as abordagens disponíveis para simular um sistema, entre as quais se destacam:

- *Agent-based modeling and simulation (ABMS)*: “é uma nova abordagem para modelar sistemas compostos por agentes autónomos e interativos” (Macal &North, 2005, p.1). É frequentemente utilizada em áreas de ecologia, alterações climáticas, economia, biologia, sociologia, indústria 4.0 (Abar et al., 2017; de Paula Ferreira et al., 2020). Define-se agente como um elemento do software apto para agir de modo independente, com o intuito de alcançar um conjunto de objetivos (de Paula Ferreira et al., 2020; Macal &North, 2005;). Um agente pode representar máquinas, organismos, empresas, instituições, produtos, inovações, entre outros. Esta abordagem compromete-se em obter bons e fiáveis resultados para apoio à decisão e a contribuir para diversas investigações (Abar et al., 2017; Macal &North, 2005).
- *Discrete Event Simulation (DES)*: “é aquela em que as variáveis de estado mudam apenas nos pontos discretos no tempo em que os eventos ocorrem” (Banks, 1998, p.8). *O evento consiste numa alteração que ocorre no sistema num instante de tempo* (de Paula Ferreira et al., 2020; Sharma, 2015). Os eventos podem representar algo que entra num sistema e após algum tempo sai desse sistema, por exemplo um produto que entra em fila de espera para ser concluído (de Paula Ferreira et al., 2020). O DES é reconhecido pela capacidade de modelar fluxos de processo, pelo que tem sido aplicado em áreas de cadeias de

abastecimentos, operações militares, saúde, entre outros (de Paula Ferreira et al., 2020; Sharma, 2015).

- *System Dynamics (SD)*: trata-se de uma simulação contínua que analisa, ao longo do tempo, sistemas dinâmicos recorrendo a stocks, fluxo, feedbacks e atrasos. Os diagramas de stocks e fluxo compromete uma abordagem quantitativa, enquanto os feedbacks e atrasos conduzem a uma abordagem qualitativa. A SD é reconhecida como sendo uma abordagem de modelação mais estratégica, aplicando modelos altamente abstratos. (de Paula Ferreira et al., 2020; Tang & Vijay, 2001)
- *Hybrid Simulation (HS)*: trata-se de uma abordagem que combina dois ou mais métodos de simulação, nomeadamente o ABMS, DES e DS. Na literatura, foram identificados quatro tipos de hibridação a sequencial (modelo é usado como entrada para outro modelo), enriquecedora (método é predominantemente utilizado, mas com o uso ocasional ou restrito de outro método), iteração (iteração cíclica de modelos sem supremacia) e integração (métodos são combinados de tal forma que é difícil distinguir claramente onde um método termina e o outro começa) (Brailsford et al., 2019; de Paula Ferreira et al., 2020).

Os impactos da sustentabilidade recorrem também a simulações em diversas áreas como prever a produção agrícola com baixa utilização de recursos (Sarkar et al., 2020), escalonamentos de flow-shop (Fathollahi-Fard et al., 2021), cadeia de abastecimento de recursos médicos durante pandemias (Goodarzian et al., 2021).

2.4. Casos de estudo de aplicação de sustentabilidade no sector aeroespacial

Tal como exposto, o sector aeroespacial precisa de realizar um desenvolvimento sustentável, é determinante para ser aceite pelas instituições e governos. A Tabela 1 agrupa diversos casos de estudo realizados no sector aeroespacial no âmbito da sustentabilidade.

Tabela 1 – Casos de estudo de sustentabilidade no sector aeroespacial

Jiang et al., 2022	O trabalho foi desenvolvido com o intuito de solucionar problemas reais na programação com maior eficiência energética no <i>job shop</i> (tipo de processo onde é produzido um elevado número de artigos diferentes, geralmente em pequenas quantidades e frequentemente de acordo com determinadas especificações do cliente) da indústria aeroespacial na China. O <i>job shop</i> , de acordo como os autores, pode implicar elevados custos de processamento e consumos energéticos e baixa produtividade. Este trabalho resultou no desenvolvimento de um algoritmo aperfeiçoado, em que foi utilizada uma combinação de algoritmos para atingir o objetivo do trabalho. O algoritmo obtido mostrou-se bastante eficiente e melhor que os usualmente utilizados
Javaid et al., 2021	Este estudo foi realizado com o objetivo de identificar quais as principais vantagens ambientais da <i>Additive Manufacturing</i> (AM) relativamente aos processos convencionais. São apontadas vantagens como o uso de menor quantidade de material para a produção de componentes, tornando-se esta também mais leve. O processo também proporciona maior rapidez e facilidade em produzir componentes para reparações. O processo de AM possibilita a criação de cadeias de valor mais curtas, simples e maior versatilidade.
Hallstedt et al., 2015	Para colmatar a falha de modelos de apoio à decisão na fase de design na indústria aeroespacial, os autores propõem um modelo com combinação de técnicas qualitativas e quantitativas. Os objetivos passam por apresentar o impacto na sustentabilidade de forma mais concreta e compreensiva durante o processo de escolha de design, e ainda aplicar um questionário sistemático de forma a simplificar e priorizar o que realmente é importante. O método desenvolvido mostrou-se bastante útil para avaliar a sustentabilidade de modo mais estruturado na fase mais preparatórias do projeto, e facilita a exposição das consequências a nível da sustentabilidade.
Ruiz-Benitez et al., 2017	Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar as relações e ligações na utilização de prática de <i>lean</i> na cadeia de abastecimento verde e resiliente, para verificar o impacto no desempenho ambiental na indústria aeroespacial. Para a identificação das relações entre as práticas e as medidas de desempenho, combinaram a técnica de <i>Importance-Performance Analysis</i> (IPA) e a abordagem <i>Interpretive Structural Modelling</i> (ISM). A implementação de <i>lean</i> na cadeia de abastecimento sugeriu como estimuladoras das práticas de cadeia de abastecimento verde e resiliente e tem um impacto ambiental mais positivo em relação à prática de cadeias de abastecimento resilientes.

Franchino, 2022	A realização deste trabalho teve como motivação as necessidades de as empresas do sector aeroespacial necessitarem de apoio, no que diz respeito a quantificar os resultados na sustentabilidade e de uma metodologia para apoio à decisão que quantifique as melhorias na sustentabilidade e na rentabilidade. Assim, o autor centrou-se nos principais pilares da sustentabilidade as pessoas, o lucro e o planeta. Investigou diversas empresas do sector de modo a identificar os desafios em relação à produção mais sustentável e como resolvê-los. A informação recolhida foi organizada em quadros que apoiam na comparação de cenários e recorrendo à simulação de eventos discretos conseguiu apoiar as empresas para que as empresas continuem lucrativas, e em simultâneo acatem as obrigações ambientais e sociais.
Haddad et al., 2022	Os autores desenvolveram uma estrutura para avaliar a sustentabilidade com base na avaliação do ciclo de vida. O estudo foi validado com o fabrico de um componente estrutural metálico real. Os resultados demonstraram que os componentes utilizados no setor aeroespacial possuem elevada complexidade nas diferentes fases de produção, o que dificulta a implementações de melhoria do seu impacto ambiental.
Kumar et al., 2023	No presente trabalho recorreram à <i>Interpretive Structural Modelling (ISM)</i> com o intuito de verificar o impacto da implementação de conceitos <i>lean</i> e de sustentabilidade no setor aeroespacial. Verificou-se que os conceitos de <i>lean</i> e sustentabilidade oferecem vantagem estratégica, nomeadamente no que diz respeito ao esbanjamento em processos de fabricação que podem ser evitados com a aplicação de ambos os conceitos.
Markatos & Pantelakis, 2022	Com o objetivo de cooperar para entender o impacto na sustentabilidade da fase de seleção dos materiais, com base no combustível e em aspetos da economia circular, os autores desenvolveram uma ferramenta de apoio à decisão que permite identificar e selecionar os materiais com melhor performance para satisfazer as necessidades e requisitos estipulados. A ferramenta é composta por <i>Circular Economy Indicator (CEI)</i> , vocacionado para os materiais e componentes relativamente às suas propriedades, tendo também em consideração a degradação dos materiais face ao número de ciclos de reciclagem a que são sujeitos. A <i>Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)</i> , foi também incluída na ferramenta para que diminua a subjetividade na determinação do peso de cada critério considerado. A ferramenta foi testada com dois materiais frequentemente utilizados, o alumínio e polímero reforçado com fibras de carbono, a ferramenta demonstrou ser sensível à variação da ponderação do peso.
Sun, 2022	Com a preocupação nas alterações climáticas, a otimização da trajetória dos transportes aéreos pode contribuir significativamente para a redução do consumo de combustível e consequentemente as emissões de gases com efeito de estufa. O autor apresenta um otimizador de trajetórias de voos totalmente aberto, o <i>OpenAP.com</i> , que pretende oferecer facilidade no acesso, mantendo-se eficiente. Este simulador permite obter trajetórias otimizadas em algumas dezenas de segundos.
M. Bertoni et al., 2015	A implementação e classificação das implicações da sustentabilidade por vezes torna-se numa tarefa árdua e complexa. O trabalho propõe um método baseado em modelos, no qual os aspetos da sustentabilidade são classificados e expressos relativamente em valor para apoiar a decisão eficaz. Este modelo tem como principal vantagem a capacidade de analisar as consequências da sustentabilidade de forma mais precisa e holística, relacionando-as com os valores financeiros numa fase precoce de um novo produto.

Dinu et al., 2022	O trabalho apresenta o desenvolvimento de um material termoendurecível, resultante da conjugação de dois epóxis de base biológica. O material apresentado cumpriu com todos os requisitos para ser aplicado no sector aeroespacial. A utilização deste tipo de materiais torna o sector mais sustentável, pois permitiu substituir materiais de base fóssil.
A. Bertoni et al., 2018	O trabalho apresenta a utilização de <i>Machine Learning</i> (ML) para integrar modelos de valor e sustentabilidade de forma automatizada. Esta abordagem possibilita a análise multidimensional simultânea de casos de projetos incluindo os resultados de simulação mecânica e avaliação de valor e sustentabilidade. O trabalho foi desenvolvido e implementado preparatoriamente com um fabricante de subsistemas aeroespaciais. O trabalho apresentado possibilita uma análise multidisciplinar inicial com inúmeras opções de design direcionando à seleção das soluções mais promissoras.
M. Bertoni et al., 2014	No desenvolvimento de novos componentes, além da sua aerodinâmica e a sua estrutura mecânica, importa também avaliar o impacto na sustentabilidade. O trabalho apresenta uma abordagem com técnicas qualitativas, como a <i>Environmental Impact Assessment</i> (EIA) e <i>Strategic Sustainability Assessment</i> (SSA), com <i>Net Present Value</i> (NPV). Este trabalho e seus modelos constitutivos foram previamente validados com designers e proprietários de processos em oficinas industriais do sector.
A. Bertoni et al., 2020	Com o objetivo de apoiar as fases preliminares de desenvolvimento de produtos e tecnologias no sector aeroespacial, os autores apresentam uma abordagem utilizando ML em conjunto com avaliadores de valor sustentável para alcançar um modelo para apoiar na exploração de design. O método possibilita agregar modelos de avaliação de valor e sustentabilidade num ambiente de modelação único, calculando automaticamente modelos <i>Value-Driven Design</i> (VDD) e <i>Sustainable Product Development</i> (SPD), abrangendo a estimativa de variáveis numéricas e categóricas por meio de ML.
Scurati et al., 2020	O design de componentes da indústria aeroespacial é visto como uma fase determinante no impacto da sustentabilidade. Este trabalho elaborou um jogo para incrementar a consciencialização dos impactos das escolhas na sustentabilidade. O jogo contempla as diversas fases do desenvolvimento de design com o objetivo de consciencializar e inculcar bases que os ajudem a possuir disciplina nas suas tomadas de decisão.
Dev & Srivastava, 2021	Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar um componente de <i>Acrylic Butadiene Styrene</i> (ABS), produzido através da técnica de <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM), dentro das diversas técnicas de AM. Uma preocupação presente neste trabalho foi a sustentabilidade de desenvolvimento de design, com a redução de materiais mantendo as propriedades mecânicas requisitadas. Os resultados obtidos mostraram-se bastante promissores para aplicar de modo mais abrangente.
Cruz Rambaud et al., 2021	Com a crescente preocupação de tornar o sector aeroespacial mais sustentável, recorrendo a energias mais limpas, os autores apresentam o modelo <i>Enhanced and Efficient Earned Value Management</i> (E ² -EVM), que teve como ponto de partida o modelo geralmente utilizado, o <i>Earned Value Management</i> (EVM) para gestão de projetos. O novo modelo apresentado diferencia-se no facto de apoiar no âmbito da sustentabilidade. O modelo apresentado tem em atenção a flexibilidade do projeto de modo a ajustar-se aos ODS, e ainda apresentar o diagnóstico antecipado de potenciais atrasos e perdas durante o projeto.

García Martín et al., 2023	Os autores estudam o efeito que os tipos de liderança podem ter impacto no desenvolvimento sustentável, nomeadamente na reconstrução social. Duas empresas, uma europeia e outra Indiana, do sector foram consideradas para este estudo. O trabalho foi centrado em três tipos de lideranças: transaccional, transformacional e servidora. Os investigadores concluíram que ambas as empresas aplicam tipos de liderança muito semelhantes aos abordados, o que também apoia na obtenção de bons resultados para o desenvolvimento sustentável.
Pop et al., 2023	Tendo em conta a crescente procura por viagens aéreas e transporte de mercadorias, impulsionada por avanços tecnológicos, o trabalho propõe uma abordagem integrada para aperfeiçoar a eficiência, qualidade e sustentabilidade no setor aeroespacial. Os autores começaram por identificar desafios críticos e oferecer soluções inovadoras, alinhando-se aos princípios da Indústria 4.0. A integração de tecnologias da Indústria 4.0 e a abordagem integrada à qualidade podem impulsionar a eficiência operacional, qualidade do produto e sustentabilidade na indústria aeroespacial.
Mutanov et al., 2023	Este trabalho sugere apoiar a inovação mais sustentável no sector aeroespacial através do um Sistema Inteligente de Apoio à Decisão (IDSS). O IDSS é apresentado como uma plataforma integrada de apoio à decisão, resolução de problemas e pesquisa na indústria. Com intuito de apoiar engenheiros, técnicos e gestores a desvendar dados complexos, realizar análises precisas e indicar conselhos perspicazes. Os resultados mostram-se promitentes em identificar padrões e tendências em conjuntos de dados através de palavras-chave, promovendo práticas inovadoras na indústria.

Pelos casos de estudo apresentados, verifica-se uma grande preocupação de diversos apoios para um sector aeroespacial mais sustentável, com especial ênfase às ferramentas de apoio à decisão. Confirmando-se a pertinência de apoiar o sector a aplicar as medidas que mais impacto possam ter para contribuir para a sustentabilidade.

Os desenvolvimentos do sector aeroespacial permitiram aceder a tecnologias e comodidades para o nosso dia a dia. No entanto, não podemos colocar de lado as diretrizes da sustentabilidade, pois estas estão a trabalhar para que possamos continuar a viver num ecossistema com boa qualidade.

As simulações vieram comprovar que são boas aliadas no apoio à decisão, permitindo ter boas projeções sem utilização de muitos recursos. Com a sua evolução ao longo tempo e com a evolução das tecnologias também permite obter respostas num curto espaço de tempo.

Assim, é fundamental englobar estes três pontos chave, setor aeroespacial, sustentabilidade e simulações para apoiar nas previsões do impacto que as medidas irão ter ao longo do tempo.

2.5. Importância da melhoria do processo de evacuação na aviação comercial

O crescimento populacional verificado nos últimos anos conseqüentemente gerou uma maior procura por voos comerciais, quer por razões profissionais, pessoais ou turismo. Um relatório de Boeing prevê que o crescimento até 2034 (Boeing, 2015). Para as companhias aéreas é fundamental adotar estratégias altamente eficientes para as operações terrestres necessárias (Figura 5), pois os aeroportos impõem o pagamento de taxas às companhias aéreas pelo tempo de permanência e as taxas têm vindo a aumentar (Qiang et al., 2016; Jaehn & Neumann, 2015). Quanto maior for a redução do tempo de permanência de uma aeronave num aeroporto maior é benefício para as companhias aéreas (reflete menores gastos portuários, gerando conseqüentemente maiores lucros), para os passageiros (ficam mais satisfeitos por não terem de permanecer durante muito tempo no aeroporto) e para os aeroportos (conseguindo receber mais aeronaves, se estas reduzirem o tempo de permanência) (Qiang et al., 2016; Qiang et al., 2017). Pelo que facilmente temos concentrados dois pilares da sustentabilidade, o social e o económico.

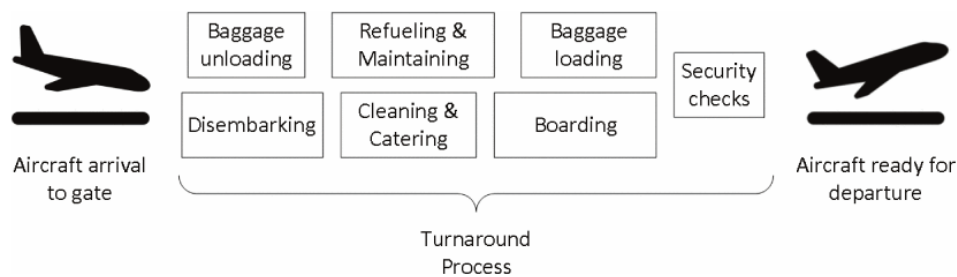


Figura 5 - Esquema das operações necessárias de um avião (San Antonio et al., 2017)

O *turnaround time* é definido como o tempo desde que o um avião se encontra disponível para iniciar o seu descarregamento até novo carregamento, Figura 6. Este tempo engloba as etapas de desembarque dos seus passageiros e respetivas bagagens, abastecimento de combustível, limpeza, manutenção da cozinha, carregamento de bagagens e embarque (Nyquist & McFadden, 2008; Moreira et al., 2023-a; Böhm et al., 2022; Jaehn & Neumann, 2015). O *turnaround time* pode variar conforme a envergadura do avião em causa, mas os aviões que transportem entre 100 e 200 passageiros é em média de 35 minutos podendo ir no máximo até os 51 minutos (Schmidt, 2017).

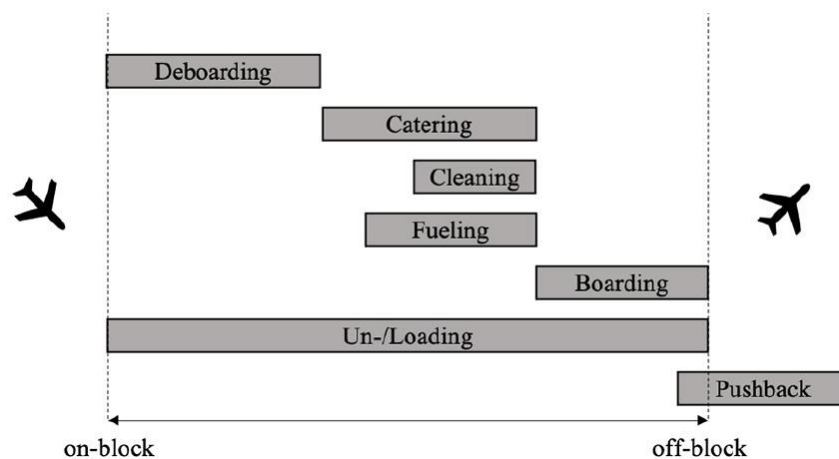


Figura 6 - Etapas do *turnaround time* (Böhm et al., 2022)

É nas etapas do *turnaround time* que as companhias aéreas podem atuar para serem mais eficientes. Muitos tem sido os estudos realizados para definir as estratégias de embarque mais eficientes como o estudo realizado por Moreira et al. que desenvolveu um modelo de simulação no software Arena que demonstrou que a estratégia Back-to-Front, a mais utilizada, não é a mais eficiente (Moreira et al., 2023-b). Nyquist & McFadden realizaram um estudo de modo a determinar a estratégia mais rentável de embarque de passageiros, mas também preservando qualidade e satisfação (Nyquist & McFadden, 2008).

A etapa de desembarque tem sido um pouco estudada, mas a redução de tempo nesta etapa, tal como no embarque, permitiria um *turnaround time* menor e naturalmente contribuindo para a diminuição de custos. À semelhança da poupança que implica o ganho de um minuto no embarque, a diminuição de um minuto que seja no desembarque também se torna economicamente muito vantajoso (Nyquist & McFadden, 2008; Jaehn & Neumann, 2015)

2.6. Evacuação

A evacuação é definida segundo a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres como “Movimentar pessoas e bens temporariamente para locais mais seguros antes, durante ou após a ocorrência de um evento perigoso, a fim de protegê-los” (UNISDR, 2009).

Com o crescimento populacional, bem como o aumento dos registos de desastre naturais, os estudos de evacuação têm sido bastantes pertinentes (Ding et al., 2021; Abir et al., 2022).

Uma evacuação com sucesso depende em muito do comportamento inicial, esta pode ser definida como a fase em que as pessoas se apercebem que correm algum tipo de risco. Quando as pessoas iniciam a fuga é denominada a fase de evacuação. durante essa situação. A descoberta de um local seguro para permanecer é a última fase de processo de evacuação (Kobes et al., 2010).

O estudo e definição de um plano de evacuação é algo imprescindível, atualmente, pois cada vez mais somos confrontados com incidentes e desastres naturais que nos despertam para a importância da existência de um plano de evacuação. Estes planos e o seu cumprimento pode possibilitar o salvamento de muitas vidas humanas.

Na literatura é possível encontrar estudos sobre evacuações para situações de incêndio de edifícios (Kinatader et al., 2015), e também para incêndios florestais (Kuligowski, 2021). Também os comportamentos durante a evacuação de hospitais (Rahouti et al., 2020) têm sido analisados e consequentemente uma análise ao transporte necessário em caso de um hospital passar por uma situação de risco (Yazdani et al., 2021).

Por mais que o transporte aéreo seja considerado dos mais seguros, mesmo assim existem regulamentações e estudos para tornar a evacuação das aeronaves mais rápidas quanto possível (Liu & Deng, 2020; Choochart & Thipyopas, 2020).

A evacuação em casos de inexistência de risco também tem vindo a tomar algum destaque pois possibilita uma gestão mais eficiente de uma grande concentração de pessoas, como é o caso de festivais, concertos, jogos de futebol entre outros (Costa et al., 2023; Ferreira, 2023; Santos, 2023). Além de melhor gestão poder ser vantajosa para as empresas e organizações também as pessoas obtêm maior satisfação, não ficando frustradas por demorar demasiado tempo para sair de um espetáculo que lhe proporcione emoções agradáveis.

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

Na primeira parte do presente capítulo será exposto o modelo de avião utilizado para o estudo, assim como o seu *layout* com especial ênfase à lotação e à disponibilidade de lugares para os passageiros.

Na segunda parte será apresentada a interface gráfica do modelo de simulação desenvolvido através do software Pathfinder, expondo as principais funcionalidades utilizadas. Também serão descritas as estratégias propostas para o estudo de eficiência de tempo de desembarque.

3.1. *Layout* Airbus A320

Como já referido, este trabalho visa estudar a estratégia mais eficiente para a evacuação de um modelo de avião comercial. Sendo a TAP a empresa portuguesa que opera na aviação comercial, foi escolhido o modelo mais representativo da sua frota, o Airbus A320 (Figura 7).



Figura 7 – Modelo e dimensões do Airbus A320

O Airbus A320 permite transportar entre 140 e 170 passageiros sentados, podendo ser adaptado em dois tipos de classes, primeira e segunda classe, sendo que o número de lugares sentados para cada classe pode variar. Para o modelo de simulação, o *layout* escolhido teve como base a tese sobre estudo de estratégias de embarque num Airbus A320 (Moreira, 2021). Assim, foi escolhido um *layout* para 156 passageiros distribuídos por 30 filas, sendo a fila 1 a 6 reservada à primeira classe com 4 lugares sentados, e nas restantes designada para a segunda classe com 6 lugares sentados. Por cada fila, os lugares são designados de A a F de bombordo a estibordo, como pode ser observado na Figura 8.

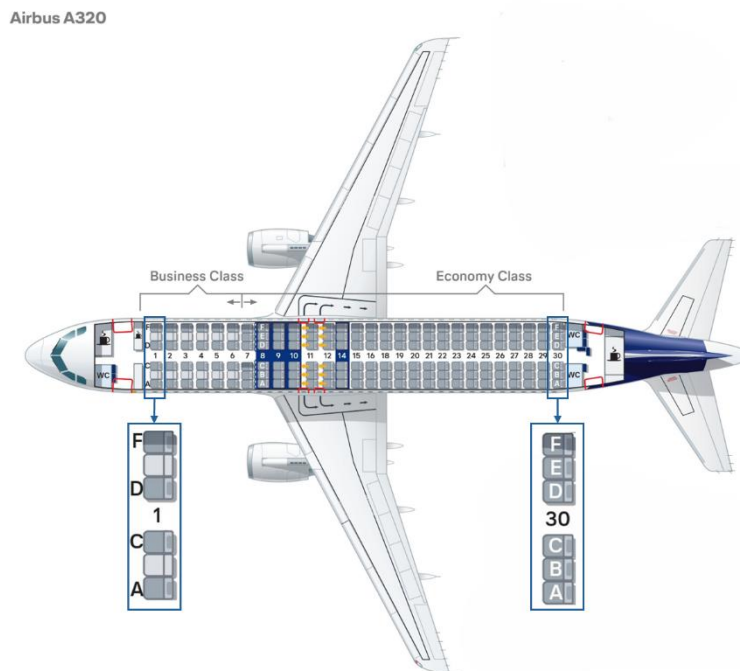


Figura 8 – Layout da distribuição de lugares do Airbus A320

3.2. Estudo de simulação

O estudo das estratégias para o desembarque de um Airbus A320, de modo a promover a eficiência de *turnaround time*, foi realizada recorrendo a ferramentas de simulação computacional. O presente estudo recorreu ao *software* Pathfinder, este permite a análise do tempo de evacuação necessário para cada estratégia, pois a sua interface gráfica permite uma visualização bastante realística na análise das situações mais críticas durante a evacuação.

Para o desenvolvimento do modelo de simulação, foi necessário recorrer à planta do avião, sendo necessário indicar no *software* uma dimensão real do avião para ser possível executar à escala correta a análise do desembarque.

3.2.1. Interface Gráfica

O *software* Pathfinder, no seu menu inicial apresentado na Figura 9, é ponto de partida para o desenvolvimento de modelos de simulação para evacuação. Neste menu é possível criar diferentes pisos originando infraestruturas, colocar obstáculos, definir perfis para os ocupantes e respetivos comportamentos. Todas estas funcionalidades estão listadas à esquerda do menu principal.

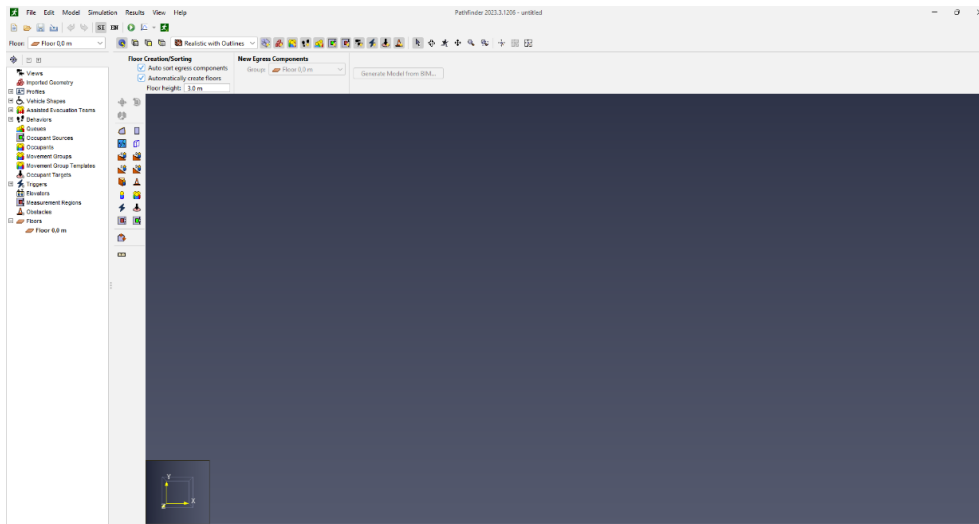


Figura 9 – Menu inicial do *software* Pathfinder

Para o desenvolvimento do modelo de simulação, o *layout* do Airbus A320 foi importado para o *software* recorrendo ao menu “*Model*” utilizando a função “*Add a Background Image*”. Através desta funcionalidade é possível importar a imagem que serve como base ao modelo. O recurso a esta funcionalidade implica definir um ponto de referência para o modelo, Figura 10, e a especificação da distância entre dois pontos para criar uma escala. Foi definida a distância de 27,51 m (Air Charter Service, sem data) entre o cockpit e a cauda.

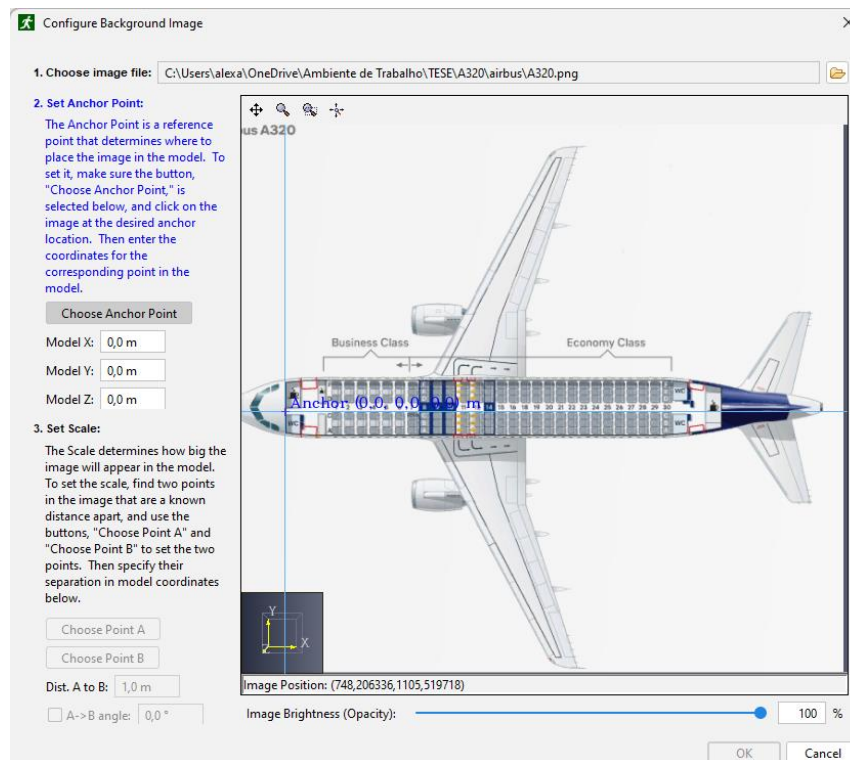


Figura 10 – Atribuição do ponto de referência no *software*

Para desenvolvimento do modelo foi necessário definir os espaços úteis de circulação do Airbus A320, para tal foi usada a função “Add a Rectangular Room” e “Add a Polygonal Room”. As funções permitiram também definir as áreas destinadas às casas de banho, cafetaria e os encostos dos bancos, como expõe a Figura 11.

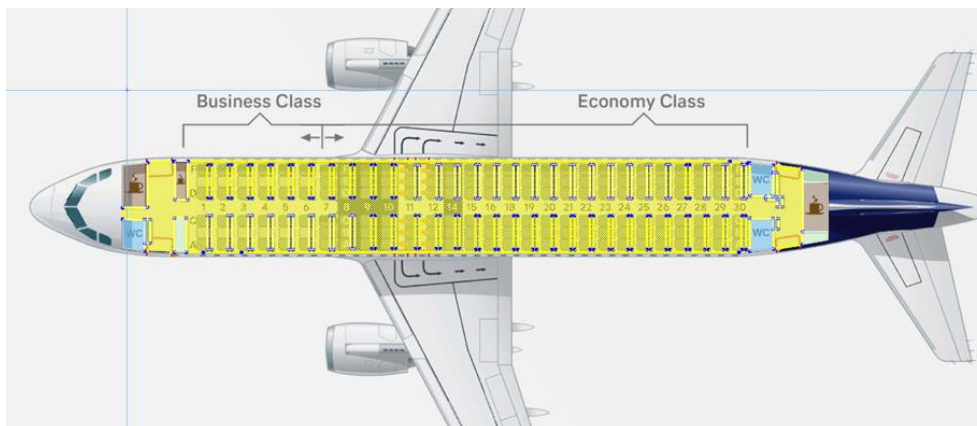


Figura 11 – Distribuição das áreas do Airbus A320

Após a definição das áreas, prosseguiu-se com a colocação de uma porta para as estratégias de evacuação com porta única, apenas na zona frontal do avião. E duas portas para as estratégias que assim o exigiam, uma na zona frontal e outra na zona da cauda. A função da colocação de portas pode ser observada na Figura 12. É possível definir a largura, se há tempo de espera e o tipo de perfis que aceita. Para este modelo de simulação foi definida uma largura de 81 cm (Aircraft characteristics airport and maintenance planning, sem data), uma vez que é a largura útil de utilização. Não foi definido tempo de espera, pressupondo que os passageiros apenas iniciam a marcha de desembarque quando a abertura de portas está finalizada.

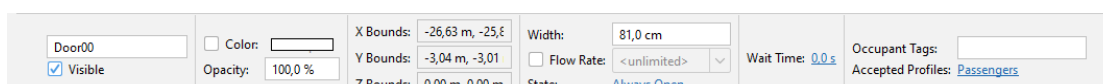


Figura 12 – Menu de introdução de portas no software

Continuou-se com a adição de ocupantes, respeitado a lotação do avião, recorrendo às funções “Add Occupants to a Region” e “Add an Occupants”, os ocupantes adicionados foram distribuídos pelos lugares disponíveis e orientados para a parte frontal do avião. Os ocupantes foram separados pelo tipo de lugar do avião, ou seja, um grupo para a Business Class e outro para a Economy Class. Estrategicamente foi usada a função “Copy/Move Objects” para os ocupantes de forma a ser mais rápida a colocação dos todos os ocupantes no Airbus A320. A Figura 13, apresenta os ocupantes distribuídos pelos respectivos lugares.

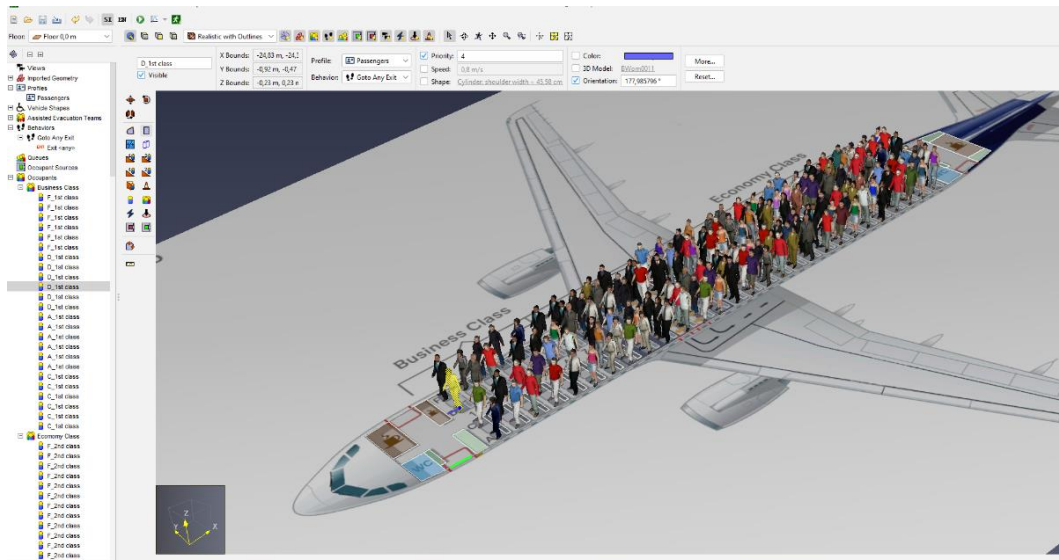


Figura 13 – Distribuição dos ocupantes do Airbus A320

Em seguida, foi definido o perfil dos passageiros utilizando a função “*Edit Profile*”, Figura 14, nesta função foi definida a velocidade de marcha dos passageiros. O valor da velocidade definida teve como base o estudo de Schultz & Soolaki, apontando que a velocidade de marcha no desembarque segue uma velocidade constante de 0,8 m/s (Schultz & Soolaki, 2022).

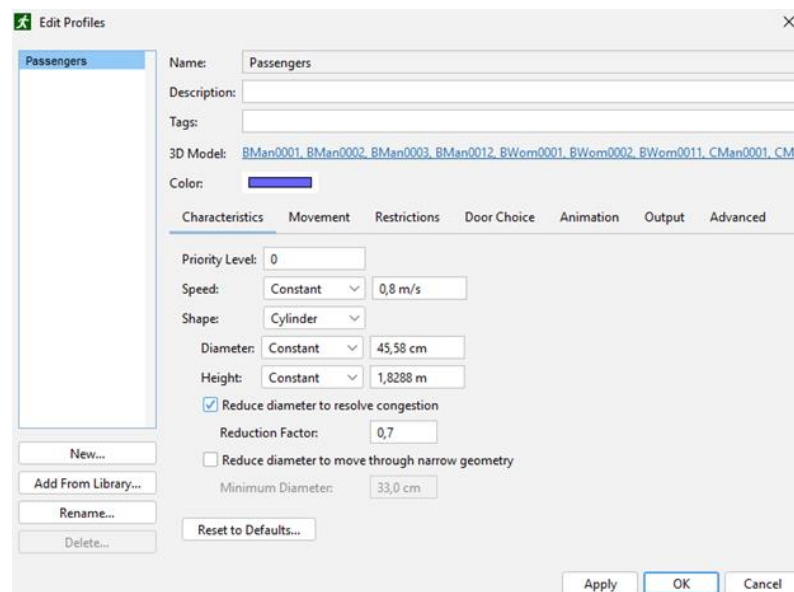


Figura 14 – Definição do perfil dos ocupantes

Os ocupantes deverão possuir um perfil associado, como também poderão possuir um comportamento e a prioridade, como ilustra a Figura 15. Quanto mais elevada for o valor da prioridade maior é a prioridade, ou seja, quanto mais alto for o valor esse ocupante terá prioridade sobre os restantes.

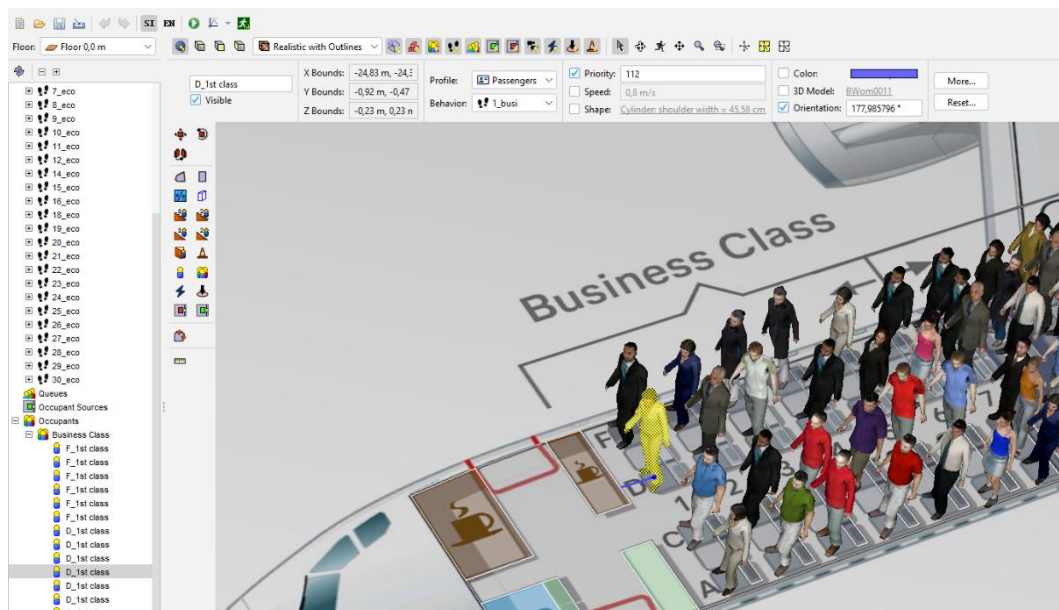


Figura 15 – Perfis e comportamentos dos passageiros

O *software* permite ainda a definição de comportamentos, como mostrado e referenciado anteriormente, através da função “*New Behavior...*” é possível definir a ação, esta indica o que o ocupante terá de realizar, neste modelo foi usada a ação “*Goto Exits...*” (Figura 16). É ainda possível definir qual a saída pela qual o ocupante deverá abandonar o Airbus A320. Para o presente estudo foi também optado por definir “*Initial Delay*” de modo a cumprir o tipo de estratégia pretendida e de modo que os ocupantes não avancem todos ao mesmo tempo para o corredor, criando enorme entropia ao desembarque. Os *delays* foram definidos empiricamente, com base na observação dos movimentos dos ocupantes. As opções do “*Behaviors*” podem ser analisadas na Figura 17.

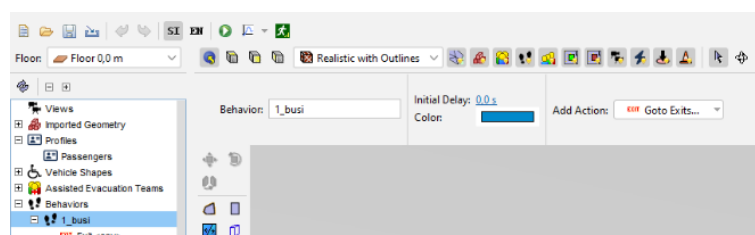


Figura 16 – Função de definição de comportamentos

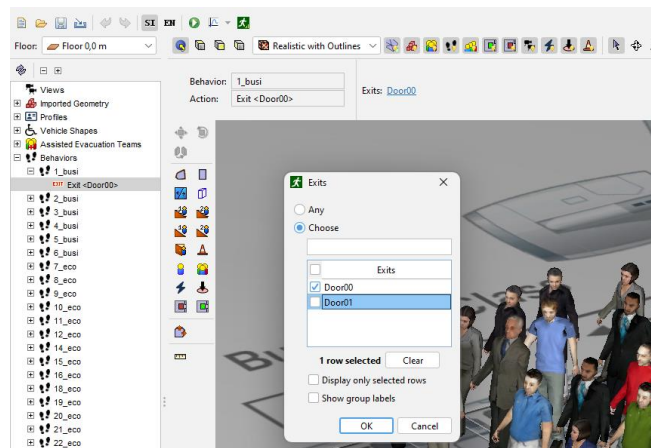


Figura 17 – Opção de escolha de saídas na função de definição de comportamento

Definido todos os parâmetros descritos, é possível simular o tempo e o comportamento dos ocupantes em 3D, obtendo também o tempo necessário de desembarque para cada estratégia submetida a estudo.

3.2.2. Estratégias de desembarque

No presente estudo foram estudadas cinco estratégias para avaliar a performance no desembarque do Airbus A320. Em todas as estratégias a *Business Class* tem sempre prioridade de saída em relação à *Economy Class*. As estratégias estudadas são descritas, para o uso de uma única porta na frente do avião, na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição das estratégias a analisar

Numeração da estratégia	Definição da estratégia	Descrição da estratégia
Estratégia 1	<i>Random</i>	Os ocupantes saem aleatoriamente do avião., sem qualquer ordem.
Estratégia 2	<i>Front to back</i>	Os ocupantes da fila número 1 são os primeiros a iniciar a marcha de saída, em seguida saem os da fila número 2 e assim sucessivamente, até à última fila.
Estratégia 3	<i>Center to Window</i>	Os ocupantes mais próximos do corredor, as posições C e D, são os primeiros a abandonar o avião. No caso da <i>Business Class</i> , os próximos serão os lugares da posição A e F, já a <i>Economy Class</i> serão as posições B e E. Seguindo sucessivamente as posições que estejam mais próximas do corredor.

Estratégia 4	<i>Center to Window in group</i>	Esta estratégia segue a mesma lógica que da estratégia 3, no entanto as posições foram divididas em grupos. Na <i>Business Class</i> as posições C e D da fila 1 a 3 são os que iniciam o desembarque, em seguida são os ocupantes da fila 4 a 6 das mesmas posições. Prosseguindo-se os ocupantes das filas 4 a 6 das posições A e F, e por fim seguem os das mesmas posições mas da fila 1 a 3. A mesma lógica foi aplicada para a <i>Economy Class</i> , sendo divididos grupos da fila 7 a 14, 15 a 22 e 23 a 30.
Estratégia 5	<i>Cross</i>	Nesta estratégia os ocupantes da fila 1 das posições A e C e os ocupantes da fila 2 das posições D e F iniciam o desembarque. Em seguida saem os ocupantes da fila 1 das posições D e F com os ocupantes da fila 2 das posições A e C, no caso da <i>Business Class</i> . Para a <i>Economy Class</i> segue a mesma sequência com a adição das posições B e E, uma vez que cada fila dispõe de seis lugares

Todas as estratégias apresentadas foram analisadas com uma única porta, na frente do avião, e com duas portas localizadas (uma na parte frontal e outra na traseira do avião). Para todas as estratégias à exceção da estratégia *Cross*, os ocupantes até à fila 16 saíam pela porta frontal e as filas 18 a 30 pela porta traseira, num total de 78 ocupantes por porta. Na estratégia *Front to Back* os ocupantes da fila 30 são os que iniciam a saída, em simultâneo com os ocupantes da fila 1. Na estratégia *Center to Window in group* a *Business Class* manteve a divisão indicada para porta única, enquanto a *Economy Class* foi dividida da fila 7 a 10 e da fila 11 a 16 para a porta frontal, e foram divididos em dois grupos da fila 18 a 24 e da 25 a 30 para a porta traseira. Na estratégia *Cross*, não foi possível uma vez que os ocupantes da fila 16 e 18 se cruzavam, e para evitar bloqueio de ocupantes foi dividido até à fila 15.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o propósito de analisar e identificar qual a estratégia mais eficaz para o desembarque de passageiros de um Airbus A320, um estudo de simulação com várias estratégias foi delineado, para um total de 156 ocupantes. As estratégias foram selecionadas com base em estratégias mencionadas em estudos de embarque, com a possibilidade de porta única ou duas portas.

Na tentativa de melhor reproduzir a realidade dos passageiros, a todos foi definida a sua orientação para a zona frontal do avião, cumprido o sentido disponível dos assentos. A distribuição dos ocupantes foi preservada para todas as estratégias, com 24 elementos na *Business Class* e 132 ocupantes na *Economy Class*.

Com a atribuição de *delays*, evitou-se a entropia que geralmente mais contribui para a demora no desembarque. No entanto nas estratégias que os ocupantes estão divididos em grupos a entropia não foi de todo evitada, uma vez que na realidade ela pode surgir.

A arquitetura do Airbus A320 possui porta frontal e traseira, pelo que foi considerado os dois cenários, apenas uma porta e com as duas para analisar a redução do tempo de desembarque.

Este capítulo é dedicado à exposição dos resultados e à sua discussão. No subcapítulo 4.1 serão expostos os resultados obtidos para as diferentes estratégias, já no subcapítulo 4.2 será dedicado à discussão dos resultados obtidos para as diferentes estratégias.

4.1. Apresentação de resultados

No presente subcapítulo são apresentados os resultados obtidos através do modelo de simulação para as diferentes estratégias.

4.1.1. Estratégia 1 – *Random*

Nesta estratégia os ocupantes do Airbus A320, têm livre-arbítrio para desembarcar, apenas garantindo que a *Business Class* sairia primeiramente que a *Economy Class*. À *Business Class* foi atribuída maior prioridade para o desembarque para garantir que abandonasse antes dos ocupantes da *Economy Class*, os comportamentos atribuídos estão apresentados na Figura 18 e Figura 19 respetivamente.

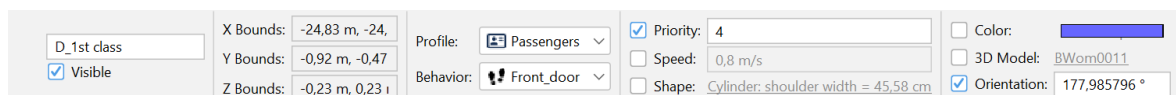


Figura 18 – Exemplo de comportamento atribuído ao ocupante da *Business Class* e posição D

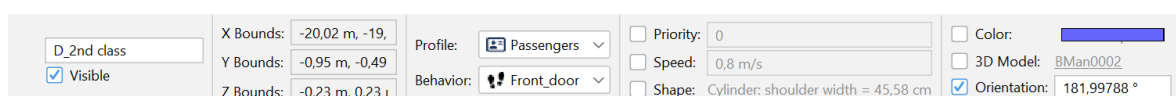


Figura 19 – Exemplo de comportamento atribuído ao ocupante da *Economy Class* e posição D

A estratégia foi simulada com dois cenários distintos para comparação de tempos de desembarque, com uma única saída e duas saídas. A Figura 20 expõe o comportamento dos ocupantes durante o desembarque, das duas possibilidades, aos 42 segundos, neste instante com uma só porta desembarcaram 18 passageiros e com o uso de duas portas 32 passageiros.

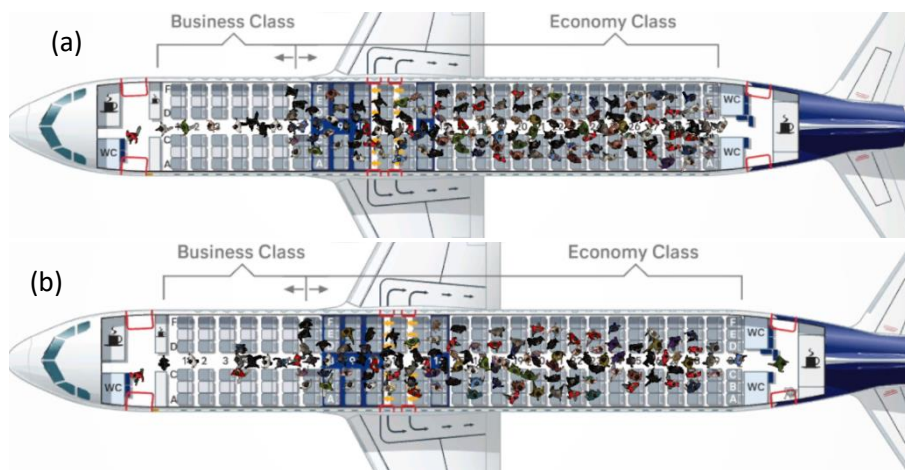


Figura 20 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 1; (a) uma porta; (b) 2 portas

A estratégia apresentada foi simulada para dois cenários distintos, como referido anteriormente, com resultados obtidos apresentados na Tabela 3. Os resultados comprovam que os ocupantes abandonam o avião mais rapidamente quando têm à sua disposição duas portas. É também possível verificar que a média de distância percorrida decresce acentuadamente quando há a possibilidade de sair por duas portas. O tempo que demora o desembarque com apenas uma saída é superior ao dobro do tempo necessária com duas saídas, esta constatação demonstra que há mais entropia com uma única porta. Mesmo não existindo qualquer ordenação de saída os resultados demonstram que o uso de duas saídas é mais eficaz.

Tabela 3 – Resultados obtidos para a estratégia 1 (com uma e com duas saídas)

Cenário	Tempo de desembarque total do Airbus A320 (s)	Tempo médio de desembarque dos ocupantes (s)	Distância média percorrida (m)
1 porta	380,1	197,4	21,8
2 portas	179,7	92,4	12,5

4.1.2. Estratégia 2 – *Front to Back*

Nesta estratégia 2, *Front to Back*, os passageiros do Airbus A320 iniciam o desembarque por filas começando pela mais próxima da saída. A *Business Class* desembarca primeiro que a *Economy Class*. Para a simulação da estratégia foram atribuídas prioridades decrescentes, por cada fila, quanto maior a distância para a saída, na Figura 21 é apresentado o comportamento da primeira fila, e na Figura 22 o comportamento da sétima fila.

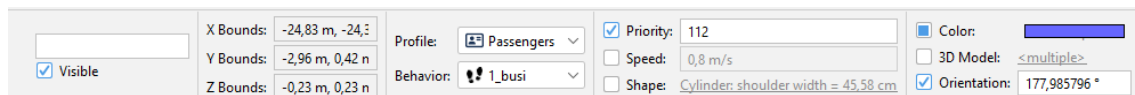


Figura 21 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da *Business Class* da fila 1

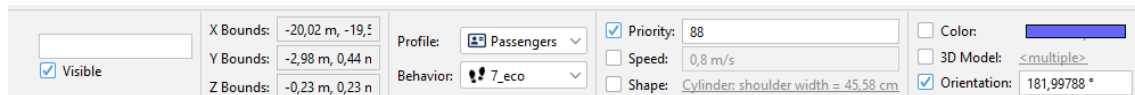


Figura 22 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da *Economy Class* da fila 7

A presente estratégia foi também simulada com dois cenários para quantificar a diferença de tempos de desembarque, com uma única saída e duas saídas. Na Figura 23 expõe a evolução do desembarque, dos dois cenários, aos 42 segundos, até então desembarcaram 20 passageiros com uma só porta e 39 passageiros com duas portas.

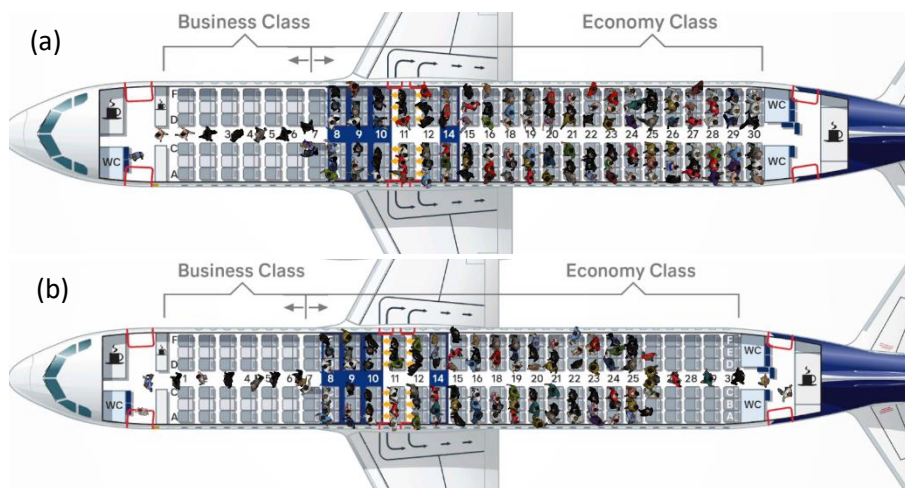


Figura 23 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 2; (a) uma porta; (b) 2 portas

Para os dois cenários simulados foram obtidos os resultados indicados na Tabela 4, estes resultados, como espectável, demonstram que o desembarque é mais eficiente com a utilização de duas portas. Nesta estratégia, ao contrário da estratégia anterior, a diferença entre o tempo de uma só saída para duas já não duplica. O que pode indicar que o uso de uma saída mais ordenada confere maior

sucesso para evacuar o avião. Relativamente à distância média percorrida pelos ocupantes não é tão evidente a discrepância entre os dois cenários.

Tabela 4 – Resultados obtidos para a estratégia 2 (com uma e com duas saídas)

Cenário	Tempo de desembarque total do Airbus A320 (s)	Tempo médio de desembarque dos ocupantes (s)	Distância média percorrida (m)
1 porta	301,4	153,4	18,9
2 portas	151,8	77,8	11,2

4.1.3. Estratégia 3 – *Center to Window*

Para a presente estratégia os passageiros do modelo de avião em estudo que estejam mais próximos do corredor iniciam o desembarque. Tal como nas estratégias já apresentadas, a *Business Class* desembarca primeiro que a *Economy Class*. Para a simulação da estratégia foi necessário conceder maior prioridade aos passageiros das posições C e D da *Business Class*, seguindo para uma prioridade inferior para as posições A e F, como mostra a Figura 24 e Figura 25. A mesmo ordem de prioridades foi aplicada para os passageiros da *Economy Class*, apenas acrescentado as posições B e E.

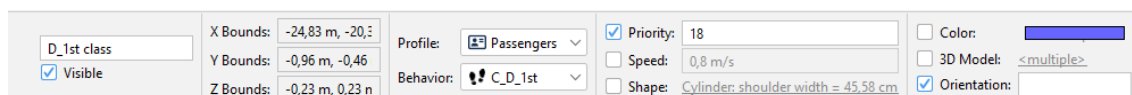


Figura 24 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da Business Class das posições C e D

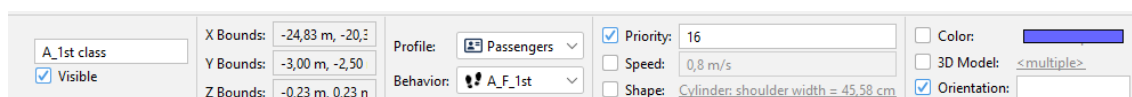


Figura 25 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da Business Class das posições A e F

À semelhança das estratégias anteriormente apresentadas, também esta foi simulada com dois panoramas de forma a analisar a diferença de tempos de desembarque, com uma só saída e dupla saída. Na Figura 26 expõe a progresso de desembarque, dos dois panoramas, aos 42 segundos, passado este tempo conseguiram desembarcar 20 pessoas recorrendo só a uma porta e com o uso de duas portas conseguiram desembarcar 45 ocupantes.

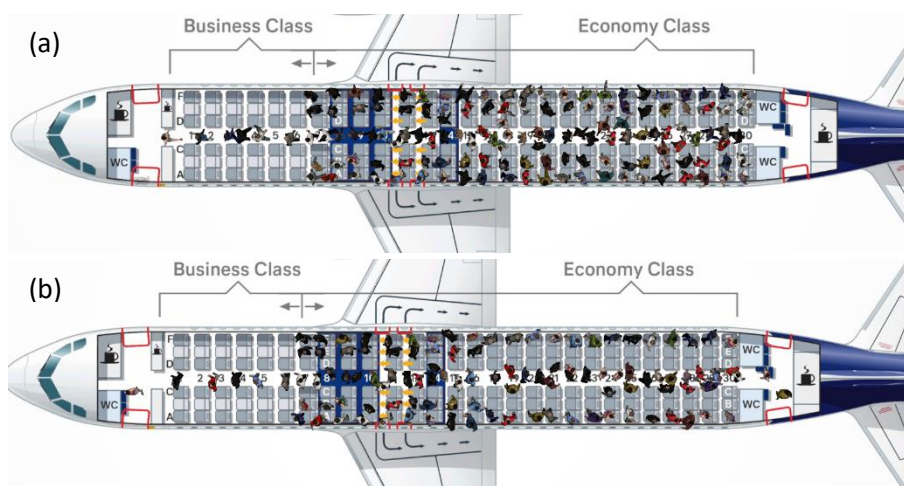


Figura 26 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 3; (a) uma porta; (b) 2 portas

Os resultados obtidos para as simulações realizadas para esta estratégia são demonstrados na Tabela 5, uma vez mais os resultados espelham a eficiência de desembarque com duas portas para a saída dos ocupantes. Nesta estratégia, tal como na estratégia anterior, a diferença de tempos de desembarque de uma só saída para duas não duplica. Relativamente à distância média percorrida pelos ocupantes é possível verificar uma diminuição entre os dois cenários.

Tabela 5 – Resultados obtidos para a estratégia 3 (com uma e com duas saídas)

Cenário	Tempo de desembarque total do Airbus A320 (s)	Tempo médio de desembarque dos ocupantes (s)	Distância média percorrida (m)
1 porta	300,2	152,3	19,9
2 portas	150,7	74,5	11,8

4.1.4. Estratégia 4 – *Center to Window in group*

Na estratégia 4 os passageiros da *Business Class* desembarcam primeiro que a *Economy Class*. Esta estratégia passa por dividir os passageiros das diferentes posições em grupo, tomando como exemplo a *Business Class*, os ocupantes das posições C e D foram divididos em dois grupos, um grupo da fila 1 a 3 com maior prioridade (Figura 27), e outro da fila 4 a 6 com prioridade inferior (Figura 28). Após os dois grupos terem saído o próximo grupo a iniciar o desembarque é das posições A e F das filas 4 a 6 e assim consecutivamente, seguido a mesma ordem para a *Economy Class*, apenas acrescentado as posições B e E.

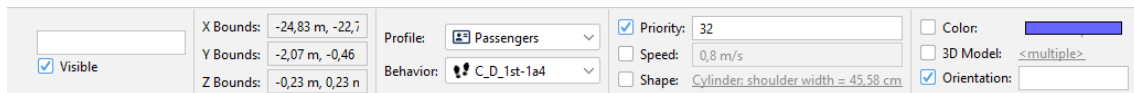


Figura 27 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da *Business Class* das posições C e D das filas 1 a 3

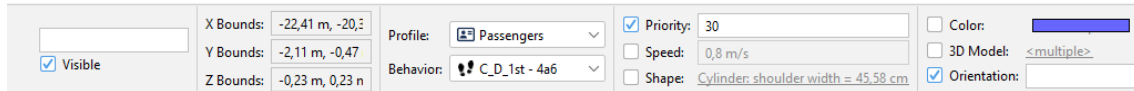


Figura 28 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da *Business Class* das posições C e D das filas 4 a 6

À semelhança das estratégias anteriormente apresentadas, também esta foi simulada com dois cenários de forma a analisar a disparidade de tempos de desembarque, com saída única e dupla saída. Na Figura 29 expõe a evolução de desembarque, dos dois panoramas, aos 42 segundos, com a utilização de uma porta 21 passageiros abandonaram o avião, e com o uso de duas portas já 44 ocupantes saíram do avião.

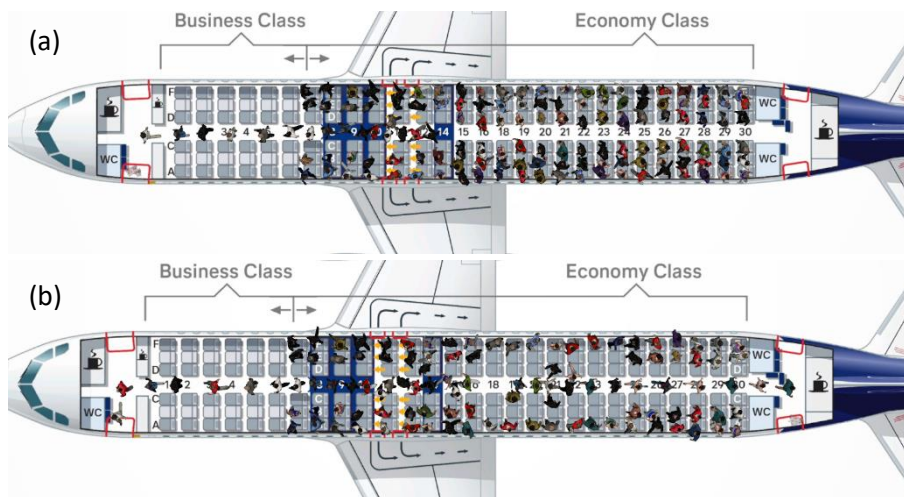


Figura 29 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 4; (a) uma porta; (b) 2 portas

A Tabela 6 exibe os resultados obtidos para as simulações realizadas para esta estratégia, repetidamente os resultados visam a eficiência das duas portas para a saída dos ocupantes. Nesta estratégia o tempo de desembarque para duas porta é sensivelmente metade do necessário utilizando apenas uma porta. Relativamente à distância média percorrida pelos ocupantes não é verificada a mesma diminuição.

Tabela 6 – Resultados obtidos para a estratégia 4 (com uma e com duas saídas)

Cenário	Tempo de desembarque total do Airbus A320 (s)	Tempo médio de desembarque dos ocupantes (s)	Distância média percorrida (m)
1 porta	297,2	150,2	19,7
2 portas	148,7	72,4	11,6

4.1.5. Estratégia 5 – Cross

Para a presente estratégia os passageiros, do modelo de avião em estudo, que estejam mais próximos do corredor iniciam o desembarque. Tal como nas estratégias já apresentadas, a *Business Class* desembarca primeiro que a *Economy Class*. Para a simulação da estratégia foi necessário definir inicialmente a maior prioridade aos passageiros das posições A e C da fila 1 e C e F da fila 2 da *Business Class*, seguindo para uma prioridade inferior para as posições D e F da fila 1 e A e C da fila 2, como mostra a Figura 30 e Figura 31, respetivamente. A mesma ordem de prioridades foi aplicada para os passageiros da *Economy Class*, apenas acrescentado as posições B e E.

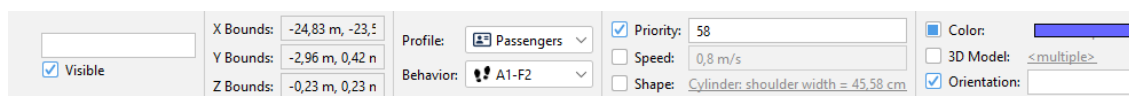


Figura 30 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da *Business Class* das posições A e C da fila 1 e D e F da fila 2

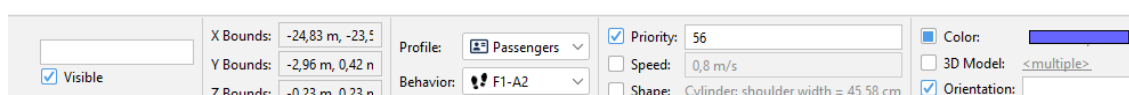


Figura 31 – Exemplo de comportamento atribuído aos ocupantes da *Business Class* das posições D e F da fila 1 e A e C da fila 2

Tal como nas estratégias anteriormente apresentadas, foram realizados dois cenários de modo a observar a diferença temporal de desembarque, com única saída e dupla saída. Na Figura 32 expõe a evolução de desembarque, dos dois panoramas, aos 42 segundos com 20 passageiros a desembarcar com a possibilidade de uma só porta, e 38 passageiros com o uso de duas portas.

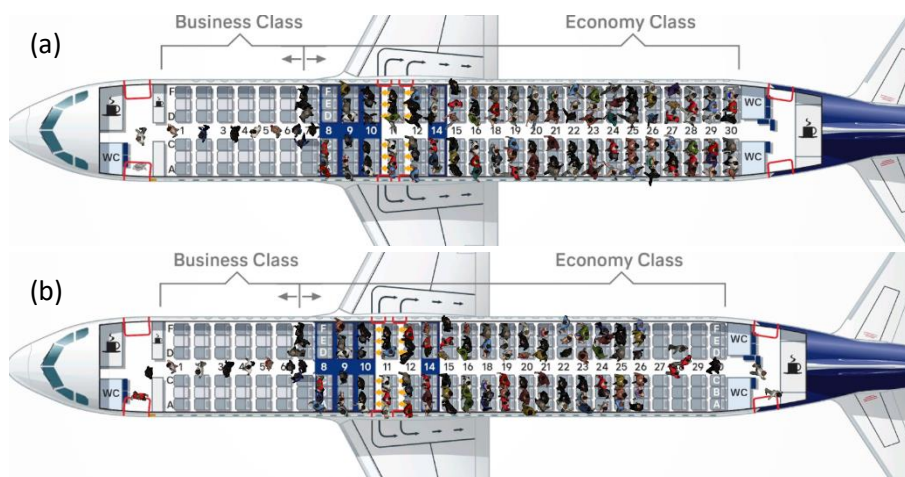


Figura 32 – Evolução de desembarque aos 42 segundos da estratégia 5; (a) uma porta; (b) 2 portas

Os resultados obtidos nas simulações realizadas para esta estratégia são mostrados na Tabela 7, tal como nas estratégias anteriores também nesta estratégia a utilização de duas portas é mais eficaz quando comparada com a utilização de apenas uma porta. A diferença de tempos obtidos com a utilização de duas portas não chega a metade do tempo obtido com a utilização de uma só porta.

Tabela 7 – Resultados obtidos para a estratégia 5 (com uma e com duas saídas)

Cenário	Tempo de desembarque total do Airbus A320 (s)	Tempo médio de desembarque dos ocupantes (s)	Distância média percorrida (m)
1 porta	300,9	153,0	18,9
2 portas	161,1	79,3	11,3

4.2. Discussão de resultados

Tal como foi possível perceber, a utilização de movimentos coordenados entre os passageiros permite a diminuição do tempo necessário para o desembarque total do Airbus A320. A redução deste tempo é fundamental para que as companhias aéreas permaneçam o menor tempo possível em terra, isto é fundamental porque a sua maior fonte de rendimentos é quando o avião está a realizar as suas trajetórias. Por outro lado, pode proporcionar maior satisfação aos clientes pelo tempo de desembarque ser mais eficiente pois podem seguir mais rapidamente para as suas vidas pessoais ou profissionais.

A velocidade imposta ao perfil dos passageiros é decisiva para o tempo de desembarque, embora é expectável que na realidade não seja superior por todas as ações que os mesmos realizam

(levantar, pegar na bagagem e percorrer um corredor estreito com essa mesma bagagem). As companhias aéreas têm procurado, por diversas formas, persuadir os passageiros a levar bagagem de mão cada vez mais reduzida para evitar os constrangimentos verificados e para que estes consigam avançar mais rapidamente.

Com as estratégias estudadas, facilmente é perceptível que a utilização de duas portas para o desembarque permite uma significativa redução do tempo necessário, Figura 33. A utilização de uma só porta acaba por causar mais demora no desembarque, como a distância média percorrida pelos passageiros é superior, o que é expectável tendo em conta que os passageiros da parte de trás do avião terão de percorrer todo o comprimento do corredor para poder abandonar a aeronave.

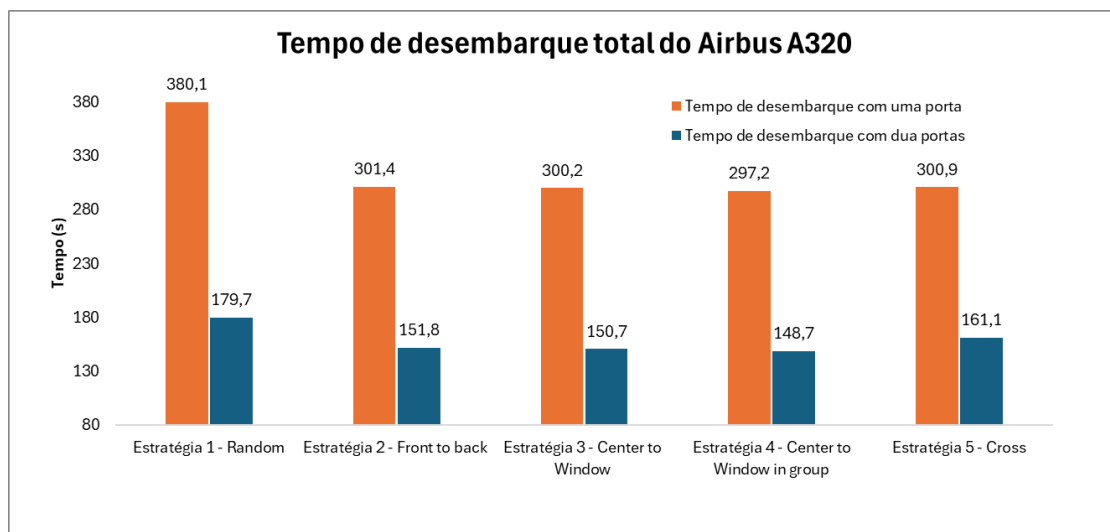


Figura 33 – Comparação de resultados dos dois cenários analisados

Após a análise dos resultados das diferentes simulações para as diferentes estratégias, foram compilados os resultados para a utilização de uma só porta, que são apresentados na Figura 34. Com os valores obtidos facilmente percebemos que a estratégia que permite o desembarque num período mais reduzido é a estratégia 4, seguindo-se com uma diferença de três segundos a estratégia 3. As duas estratégias referidas têm a semelhança de realizar o desembarque do centro para a janela, sendo a diferença na estratégia 4 a organização dos ocupantes em grupos, o que permite verificar que é mais vantajoso para a eficácia do desembarque.

Em terceiro lugar, com melhor tempo, surge a estratégia 5 estando com a estratégia 2 também muito próxima, a semelhança de tempos obtidos pode ser explicada porque a estratégia 5 mesmo realizando o cruzamento entre posições na diagonal de duas filas, o seu início é na fila 1 tal como na estratégia 2. A pior performance foi registada na estratégia 1, nesta foram observados diversos congestionamentos no corredor, passageiros a ficar presos nos seus lugares e ainda a ter de parar noutros lugares para ceder passagem ou como se parassem para recolha de bagagem. Os comportamentos observados acabam por corresponder à realidade no momento de desembarque.

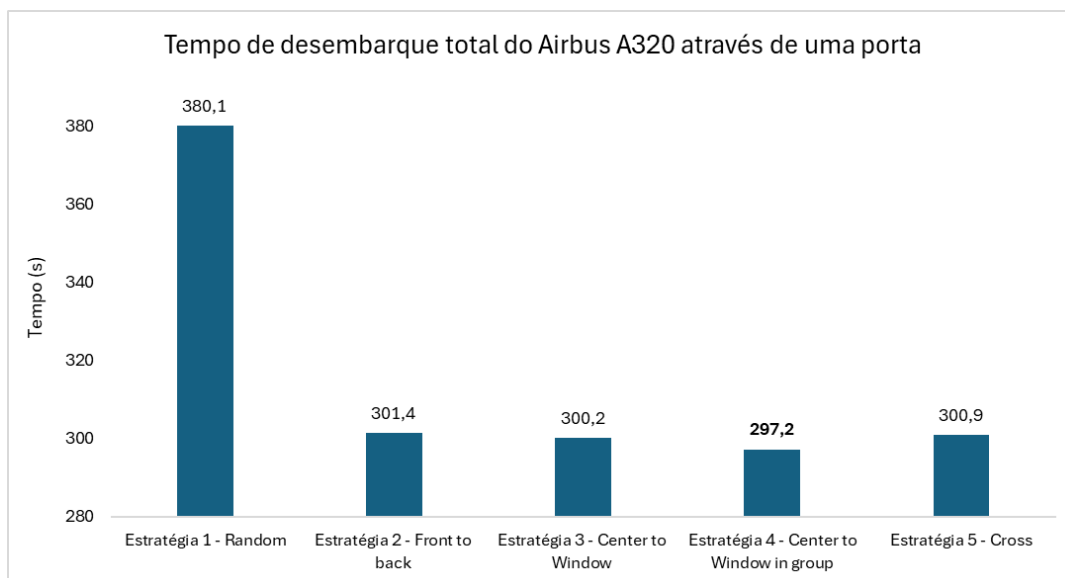


Figura 34 – Resultados das cinco estratégias com utilização de uma porta

Em termos percentuais, Figura 35, podemos facilmente perceber que o ganho de tempo, utilizando qualquer uma das estratégias que não a estratégia 1, pode ultrapassar os 20%. A utilização da estratégia 4 permitiria um ganho de 22%.

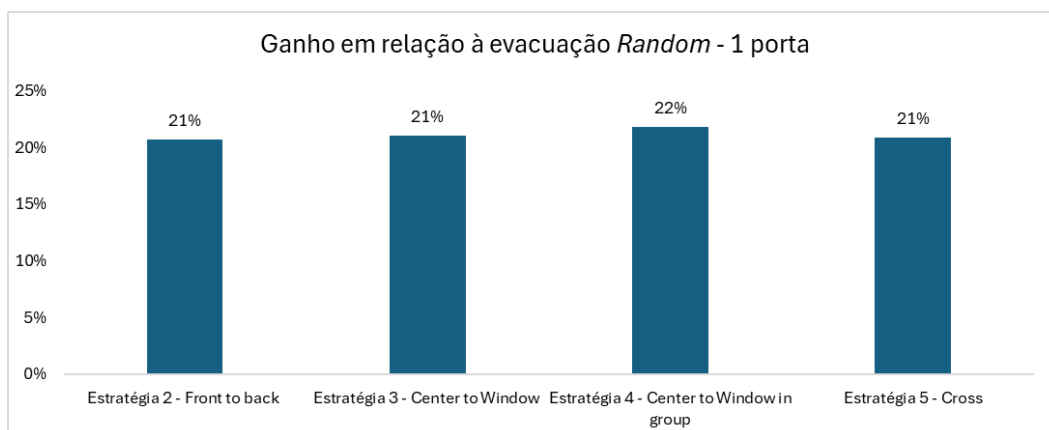


Figura 35 – Ganhos de tempo em relação à Estratégia 1 - *Random*

Na Figura 36 estão agrupados os resultados obtidos através da simulação das cinco estratégias com a disponibilidade de duas portas para o desembarque. Neste cenário também a estratégia 4 destaca-se pela sua eficácia. À semelhança da utilização de uma porta, também neste cenário em seguida é a estratégia 3 com um menor tempo, no entanto para o cenário de duas portas o diferencial de tempo é apenas de dois segundos. Em terceiro lugar a nível de performance, foi a estratégia 2, e posteriormente a estratégia 5; neste cenário verificamos que a eficácia destas duas estratégias inverteu-se comparando com os resultados obtidos no cenário de uma porta. É de salientar que a estratégia 5 não foi possível uma divisão tão equilibrada do número de passageiros para cada porta, razão pela qual há esta perda de eficiência. Uma vez mais a estratégia 1 apresenta-se como a pior opção para o desembarque do avião.

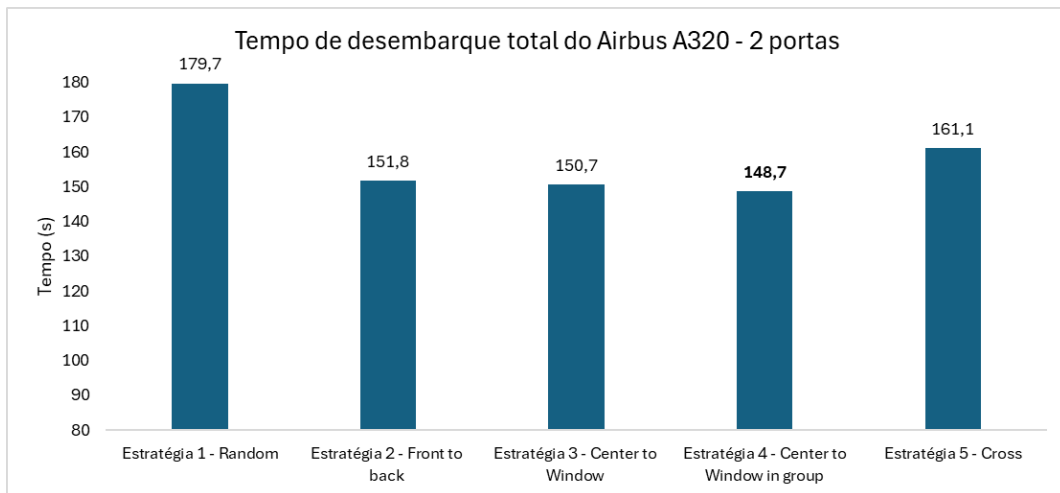


Figura 36 – Resultados das cinco estrat3gias com utiliza33o de duas portas

Os ganhos percentuais com a utiliza33o de duas portas, em rela33o à Estrat3gia 1 – *Random*, sofreram uma ligeira diminui33o em rela33o aos resultados para uma porta. Este facto deve-se ao uso das duas portas j3a por si uma mais-valia na efic3cia, no entanto os ganhos temporais podem atingir os 17% com a estrat3gia 4.

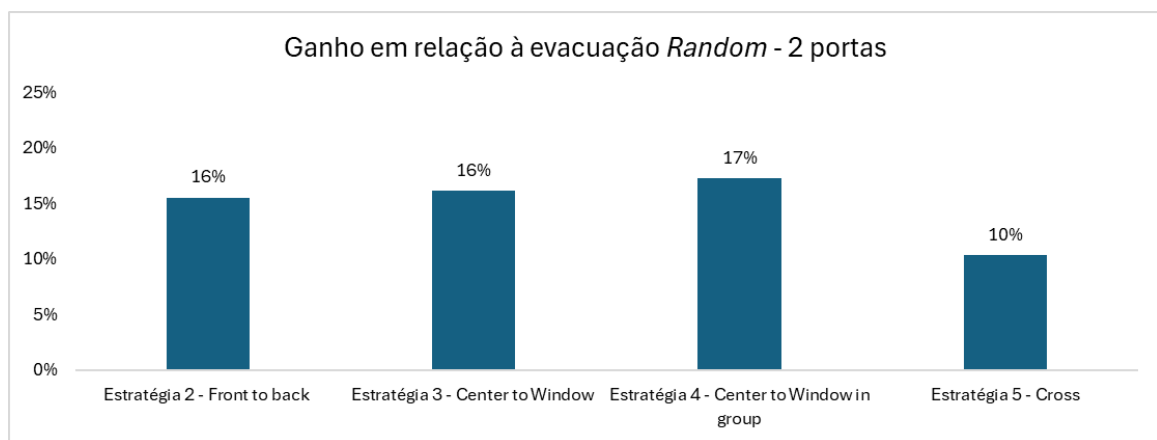


Figura 37 – Ganhos de tempo em rela33o à Estrat3gia 1 - *Random*

5. CONCLUSÃO

Este último capítulo, são enumeradas as conclusões obtidas através da realização do trabalho apresentado, bem como as dificuldades encontradas e sugestões para realização de trabalhos futuros. O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular Dissertação Do Curso de Mestrado de Engenharia de Gestão Industrial com o principal objetivo de utilizar simulações que apoiassem a sustentabilidade do sector aeroespacial.

5.1. Conclusões finais

O modelo de simulação desenvolvido, permitiu estudar e analisar as diferentes estratégias pretendidas. Pelo que os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- Através de *softwares* é possível apoiar as empresas, neste caso do sector aeroespacial, para indicar qual a melhor estratégia para diminuir o *turnaround time*;
- As simulações têm a facilidade da apresentação gráfica que permite ser mostrada aos utilizadores como forma de os persuadir relativamente às vantagens de respeitar um desembarque organizado;
- A utilização de duas portas é sempre mais proficiente em relação à utilização de porta única;
- A estratégia 4 com a utilização de duas portas é a mais vantajosa, com um tempo de 148 segundos;
- Tanto a estratégia 3 como a 4, poderá comprometer algum desconforto aos passageiros, pelo que vão abandonando posição a posição e há muitas vezes famílias que se encontram na mesma fila e poderá provocar desencontros;
- A estratégia 2, mesmo não sendo a mais vantajosa, é a tem maior facilidade de ser implementada, pois não causa separação de grupos ou famílias e facilmente a fila seguinte à que desembarcou vê facilmente quando é a sua vez.

5.2. Limitações e investigação futura

A realização desta dissertação trouxe algumas dificuldades, sendo a maior delas a aprendizagem de funcionamento do *software* Pathfinder. O conhecimento deste *software* era praticamente nulo, foi necessário um período para aprendizagem do seu funcionamento e só posteriormente foi possível avançar para a execução do trabalho que agora é apresentado.

O presente trabalho tem potencial de ser mais abrangente, que não vise apenas a sustentabilidade, mas também a segurança dos ocupantes, pelo que se sugerem os seguintes tópicos para realização de trabalhos futuros

- Validação do modelo;
- Realizar simulações com passageiros com mobilidade reduzida;

- Realização de simulações em caso de emergência;
- Simular com a necessidade de desembarque utilizando escadas;
- Estudar as mesmas estratégias para aviões de maior capacidade de passageiros

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abar, S., Theodoropoulos, G. K., Lemarinier, P., & O'Hare, G. M. (2017). Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, 24, 13-33.
- Abir, I. M., Ibrahim, A. M., Toha, S. F., & Shafie, A. A. (2022). A review on the hospital evacuation simulation models. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103083.
- Aerospace Manufacturing and Design. (sem data). *Using management systems to gain a competitive edge*. Obtido a 2 de fevereiro de 2024, de <https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/amd-0310-management-systems-competitive-edge/>.
- Air Charter Service. (n.d.). Airbus A320-200. Obtido 3 de abril de 2024, de <https://www.aircharterserviceusa.com/aircraft-guide/group/airbus-europe/airbusa320-200>.
- Airbus. (sem data). *Airbus reaffirms its strong commitment to environment and eco-efficiency*. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2010-12-airbus-reaffirms-its-strong-commitment-to-environment-and-eco>.
- Airbus. (sem data). *Decarbonisation*. Obtido 30 de Janeiro de 2024, de <https://www.airbus.com/en/sustainability/respecting-the-planet/decarbonisation#ambition>.
- AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING. (sem data).
- Arena, M., Ciceri, N. D., Terzi, S., Bengo, I., Azzone, G., & Garetti, M. (2009). A state-of-the-art of industrial sustainability: Definitions, tools and metrics. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 4(1-3), 207-251.
- Banks, J. (Ed.). (1998). Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice. *John Wiley & Sons*.
- Bertoni, A., Dasari, S. K., Hallstedt, S. I., & Andersson, P. (2018). Model-based decision support for value and sustainability assessment: Applying machine learning in aerospace product development. In *DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (pp. 2585-2596).
- Bertoni, A., Hallstedt, S. I., Dasari, S. K., & Andersson, P. (2020). Integration of value and sustainability assessment in design space exploration by machine learning: an aerospace application. *Design Science*, 6, e2.
- Bertoni, M., Hallstedt, S., & Isaksson, O. (2014). Value assessment of sustainability hotspots in conceptual design: an aerospace study. In *International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE)*.
- Bertoni, M., Hallstedt, S., & Isaksson, O. (2015). A model-based approach for sustainability and value assessment in the aerospace value chain. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(6), 1687814015590215.
- Boeing. (2015). Current Market Outlook 2015–2034. Boeing Commercial Airplanes.

- Böhm, M., Rott, J., Eggers, J., Grindemann, P., Nakladal, J., Hoffmann, M., & Krcmar, H. (2022). Process mining at Lufthansa CityLine: The path to process excellence. *Journal of Information Technology Teaching Cases*, 12(2), 135-145.
- Caradonna, J. L. (2022). *Sustainability: A history*. Oxford University Press.
- Case Studies Cegoc. (sem data). *Setor da Indústria Aeroespacial*, Obetido 31 de Janeiro de 2024, de <https://www.cegoc.pt/case-studies/setor-da-industria-aeroespacial>.
- Choochart, P., & Thipyopas, C. (2020, January). Study of passenger evacuation from the Airbus A330-300 aircraft. In *Proceedings* (Vol. 39, No. 1, p. 25). MDPI.
- Costa, H., Ferreira, A., Ferreira, L. P., Costa, E., Ávila, P., & Ramos, A. L. (2023, June). Analysis of Evacuation Strategies for a 4-Star Hotel Using Simulation. In *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing* (pp. 1213-1221). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Coutinho, C. P. (2011). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática*. Edições Almedina.
- Cruz Rambaud, S., López Pascual, J., & Meléndez Rodríguez, J. C. (2021). Sustainability in the aerospace sector, a transition to clean energy: The E2-EVM valuation model. *Sustainability*, 13(12), 6717.
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106868.
- Department for Energy Security and Net Zero. (2023). *Climate change explanem - GOV.UK*. Obtido 15 de Janeiro de 2024, de <https://www.gov.uk/guidance/climate-change-explained>.
- Dev, S., & Srivastava, R. (2021). Effect of infill parameters on material sustainability and mechanical properties in fused deposition modelling process: A case study. *Progress in Additive Manufacturing*, 6(4), 631-642.
- Ding, N., Chen, T., Zhu, Y., & Lu, Y. (2021). State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 561, 125168.
- Dinu, R., Lafont, U., Damiano, O., & Mija, A. (2022). High glass transition materials from sustainable epoxy resins with potential applications in the aerospace and space sectors. *ACS Applied Polymer Materials*, 4(5), 3636-3646.
- ECO. (2023). *Exportações de alta tecnologia atingem recorde de 4 mil milhões de euros. Portugal faz "investimento considerável" no setor aeroespacial*. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de <https://eco.sapo.pt/2023/08/10/exportacoes-de-alta-tecnologia-atingem-recorde-de-4-mil-milhoes-de-euros-portugal-faz-investimento-consideravel-no-setor-aeroespacial/>.
- ESA. (sem data). *ESA Sustainability Principles*. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de https://www.esa.int/About_Us/Responsibility_Sustainability/ESA_Sustainability_Principles
- European Commission. (sem data). *Reducing emissions from aviation*. Obtido 30 de Janeiro de 2024, de https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-aviation_en#documentation.

- Expresso. (2023). *O sector aeroespacial nacional tem novas oportunidades e desafios*. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de <https://expresso.pt/opiniao/2023-08-07-O-sector-aeroespacial-nacional-tem-novas-oportunidades-e-desafios-8af1d68d>.
- Fathollahi-Fard, A. M., Woodward, L., & Akhrif, O. (2021). Sustainable distributed permutation flow-shop scheduling model based on a triple bottom line concept. *Journal of Industrial Information Integration*, 24, 100233.
- Ferreira, A. D. M. S. (2023). Análise de diferentes estratégias de evacuação num estádio de futebol usando simulação (Dessirtação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto). <http://hdl.handle.net/10400.22/23381>
- Franchino, M. (2022, October). Framework for Sustainability in Aerospace: A Proof of Concept on Decision Making and Scenario Comparison. In *Global Conference on Sustainable Manufacturing* (pp. 659-668). Cham: Springer International Publishing.
- García Martín, R., Duran-Heras, A., & Reina Sánchez, K. (2023). Influence of Leadership Styles on Sustainable Development for Social Reconstruction: Current Outcomes and Advisable Reorientation for Two Aerospace Multinationals—Airbus and TASL. *Sustainability*, 15(19), 14047.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.
- Goodarzian, F., Taleizadeh, A. A., Ghasemi, P., & Abraham, A. (2021). An integrated sustainable medical supply chain network during COVID-19. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 100, 104188.
- GOV.UK. (2023) *Climate change explanem* - Obtido 15 de Janeiro de 2024, de <https://www.gov.uk/guidance/climate-change-explained>.
- Haddad, Y., Jagtap, S., Pagone, E., & Salonitis, K. (2022, October). Sustainability Assessment of Aerospace Manufacturing: An LCA-Based Framework. In *Global Conference on Sustainable Manufacturing* (pp. 712-720). Cham: Springer International Publishing.
- Hallstedt, S. I., Bertoni, M., & Isaksson, O. (2015). Assessing sustainability and value of manufacturing processes: a case in the aerospace industry. *Journal of Cleaner Production*, 108, 169-182.
- Hermundsdottir, F., & Aspelund, A. (2021). Sustainability innovations and firm competitiveness: A review. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124715.
- INE. (2023). *Exportações e importações diminuíram 3,4% e 7,6% em termos nominais*.
- ISQ Portugal. (sem data). *Consultoria/Auditoria em sistemas de gestão do ambiente*. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de <https://www.isq.pt/servicos/consultoria-e-estudos/gestao-gas/consultoria-auditoria-em-sistemas-de-gestao-do-ambiente/>.
- Jaehn, F., & Neumann, S. (2015). Airplane boarding. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 339-359.
- Javid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Rab, S. (2021). Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(4), 312-322.

- Jiang, X., Tian, Z., Liu, W., Suo, Y., Chen, K., Xu, X., & Li, Z. (2022). Energy-efficient scheduling of flexible job shops with complex processes: A case study for the aerospace industry complex components in China. *Journal of Industrial Information Integration*, 27, 100293.
- Jornal de Negócios. (2023). *Maior empresa espacial suíça aterra em Lisboa e vai contratar 200 pessoas*. Tecnologias. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/tecnologias/detalhe/maior-empresa-espacial-suica-aterra-em-lisboa-e-vai-contratar-200-pessoas>.
- Jornal Económico. (2021). *Especial indústria aeroespacial*, 2098.
- Kinateder, M. T., Kuligowski, E. D., Reneke, P. A., & Peacock, R. D. (2015). Risk perception in fire evacuation behavior revisited: definitions, related concepts, and empirical evidence. *Fire science reviews*, 4, 1-26.
- Kobes, M., Helsloot, I., De Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1-11.
- Kuligowski, E. (2021). Evacuation decision-making and behavior in wildfires: Past research, current challenges and a future research agenda. *Fire Safety Journal*, 120, 103129.
- Kumar, N. V., Kalyan, J. P., Rahil, M. S., Haroon, M. M., Anand, A. V., & Sivaraj, G. (2023, May). Interpretive structural modeling based analysis of factors influencing implementation of lean and sustainability concepts in aerospace sector. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2492, No. 1). AIP Publishing.
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G., ... & Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental research letters*, 16(7), 073005.
- Levin, K. (2019). 6 Ways the Climate Changed Over the Past Decade | World Resources Institute. Obtido 14 de Janeiro de 2024, de <https://www.wri.org/insights/6-ways-climate-changed-over-past-decade>.
- Liu, D., & Deng, X. (2021). Investigating the strategy on path planning on aircraft evacuation process using discrete event simulation. *Mobile Networks and Applications*, 26(2), 736-744.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2005, December). Tutorial on agent-based modeling and simulation. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2005. (pp. 14-pp). *IEEE*.
- Maria, A. (1997, December). Introduction to modeling and simulation. In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation* (pp. 7-13).
- Markatos, D. N., & Pantelakis, S. G. (2022). Assessment of the impact of material selection on aviation sustainability, from a circular economy perspective. *Aerospace*, 9(2), 52.
- Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental impact assessment review*, 18(6), 493-520.
- Moreira H, Ferreira LP, Fernandes NO, Ramos AL, Ávila P. Analysis of Boarding Strategies on an Airbus A320 Using Discrete Event Simulation. *Sustainability*. 2023 -b; 15(23):16476. <https://doi.org/10.3390/su152316476>

- Moreira H, Ferreira LP, Fernandes NO, Silva FJG, Ramos AL, Ávila P. A Simulation Study of Aircraft Boarding Strategies. *Mathematics*. 2023-a; 11(20):4288. <https://doi.org/10.3390/math11204288>
- Moreira, H. G. D. R. (2021). Análise de estratégias de embarque num airbus A320 recorrendo a modelos de simulação (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto) <http://hdl.handle.net/10400.22/18099>.
- Morgado, J. C. (2012). O Estudo de Caso na Investigação em Educação. De Facto Editores.
- Mutanov, G., Omirbekova, Z., Shaikh, A. A., & Issayeva, Z. (2023). Sustainability-Driven Green Innovation: Revolutionising Aerospace Decision-Making with an Intelligent Decision Support System. *Sustainability*, 16(1), 41.
- NASA. (sem data). The Causes of Climate Change. Obtido 14 de Janeiro de 2024, de <https://climate.nasa.gov/causes/>.
- NQA. (sem data). *ISO 26000 - Guia de Responsabilidade Social*. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de <https://www.nqa.com/pt-pt/certification/standards/iso-26000>.
- Nyquist, D. C., & McFadden, K. L. (2008). A study of the airline boarding problem. *Journal of Air Transport Management*, 14(4), 197-204.
- Pop, G. I., Titu, A. M., & Pop, A. B. (2023). Enhancing Aerospace Industry Efficiency and Sustainability: Process Integration and Quality Management in the Context of Industry 4.0. *Sustainability*, 15(23), 16206.
- Público. (2022). *Portugal tem asas para o sector aeroespacial?*. Opinião. Obtido 2 de Fevereiro, 2024, de <https://www.publico.pt/2022/08/13/opiniao/opiniao/portugal-asas-sector-aeroespacial-2017054>.
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability science*, 14, 681-695.
- Qiang, S. J., Jia, B., Jiang, R., Huang, Q. X., Radwan, E., Gao, Z. Y., & Wang, Y. Q. (2016). Symmetrical design of strategy-pairs for enplaning and deplaning an airplane. *Journal of Air Transport Management*, 54, 52-60.
- Qiang, S., Jia, B., & Huang, Q. (2017). Evaluation of airplane boarding/deboarding strategies: A surrogate experimental test. *Symmetry*, 9(10), 222.
- Rahouti, A., Lovreglio, R., Gwynne, S., Jackson, P., Datoussaïd, S., & Hunt, A. (2020). Human behaviour during a healthcare facility evacuation drills: Investigation of pre-evacuation and travel phases. *Safety science*, 129, 104754.
- Renascença. (2022). *Indústria aeroespacial já emprega 18 mil pessoas e Costa quer mais*. Obtido 2 de Fevereiro de 2024, de <https://rr.sapo.pt/noticia/economia/2022/09/14/industria-aeroespacial-ja-emprega-18-mil-pessoas-e-costa-quer-mais/299717/>
- Rossi, E., Bertassini, A. C., dos Santos Ferreira, C., do Amaral, W. A. N., & Ometto, A. R. (2020). Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119137.
- Ruggerio, C. A. (2021). Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. *Science of the Total Environment*, 786, 147481.

- Ruiz-Benitez, R., López, C., & Real, J. C. (2017). Environmental benefits of lean, green and resilient supply chain management: The case of the aerospace sector. *Journal of Cleaner Production*, 167, 850-862.
- Rupprecht, C. D., Vervoort, J., Berthelsen, C., Mangnus, A., Osborne, N., Thompson, K., ... & Kawai, A. (2020). Multispecies sustainability. *Global Sustainability*, 3, e34.
- San Antonio, A., Juan, A. A., Calvet, L., i Casas, P. F., & Guimaran, D. (2017, December). Using simulation to estimate critical paths and survival functions in aircraft turnaround processes. In *2017 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 3394-3403). IEEE.
- Santos, J., Ferreira, L. P., Ramos, A. L., & Costa, E. (2023, November). Best Evacuation Simulation Strategies—Analysis of a River Cruise Ship Case. In *International Conference on Tourism, Technology and Systems* (pp. 255-267). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Sarkar, D., Kar, S. K., Chattopadhyay, A., Rakshit, A., Tripathi, V. K., Dubey, P. K., & Abhilash, P. C. (2020). Low input sustainable agriculture: A viable climate-smart option for boosting food production in a warming world. *Ecological Indicators*, 115, 106412.
- Schmidt, M. (2017). A review of aircraft turnaround operations and simulations. *Progress in Aerospace Sciences*, 92, 25-38.
- Schultz, M., & Soolaki, M. (2022). Optimized aircraft disembarkation considering COVID-19 regulations. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 10(1), 880-900.
- Scurati, G. W., Nylander, J. W., Hallstedt, S. I., Ferrise, F., & Bertoni, M. (2020, May). Raising value and sustainability awareness for critical materials: A serious game for the aerospace sector. In *Proceedings of the design society: Design conference* (Vol. 1, pp. 737-746). Cambridge University Press.
- Sun, J. (2022). Openap. top: Open flight trajectory optimization for air transport and sustainability research. *Aerospace*, 9(7), 383.
- Tang, V., & Vijay, S. (2001). System dynamics. *Origins, development, and future prospects of a method*.
- Turrentine, J. (2022). What Causes Climate Change? Human and Natural Causes. Natural Resources Defense Council. <https://www.nrdc.org/stories/what-are-causes-climate-change#natural>.
- U.S. Global Change Research Program. (2017). Climate science special report: Fourth national climate assessment, volume I. U.S. Global Change Research Program, 1, 470. <https://doi.org/10.7930/J0J964J6>.
- UNFCCC. (sem data). *The Paris Agreement*. Obtido 13 de Janeiro de 2024, de <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). UNISDR terminology on disaster risk reduction. Geneva: United Nations.
- United Nations. (sem data -a). *Causes and Effects of Climate Change*. Obtido 14 de Janeiro de 2024, de <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>.
- United Nations. (sem data -b). *Support Sustainable Development and Climate Action* | Obtido 13 de Janeiro de 2024, de <https://www.un.org/en/our-work/support-sustainable-development->

Yazdani, M., Mojtahedi, M., Loosemore, M., Sanderson, D., & Dixit, V. (2021). Hospital evacuation modelling: A critical literature review on current knowledge and research gaps. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66, 102627.

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.

Alexandra Daniela Borges da Silva Prata

ISEP, Porto, 14 de junho de 2024