

Torres Remotas de Tráfego Aéreo **Uma Aplicação em Portugal**

Miguel António Pires Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Aeronáutica
(Mestrado Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva
Co-orientador: Engenheiro Carlos António Gomes da Silva Alves

janeiro de 2024

Declaração de Integridade

Eu, Miguel António Pires Martins, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 41.238 do Mestrado Integrado em Engenharia Aeronáutica da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.



Miguel António Pires Martins

Universidade da Beira Interior, Covilhã 30 /01 /2024

Dedicatória

À minha bisavó Garreta, bisavó Maria, que sempre foi mais do que uma avó. Viste-me a entrar para este mundo, mas não viveste tempo suficiente para me veres a terminar o meu percurso.

Agradecimentos

Um percurso académico nunca é feito de apenas 1 pessoa. Existe sempre um conjunto de elementos que ajudam, ouvem, ou mesmo criticam o autor. Deste modo, não posso deixar de agradecer a um enorme leque de pessoas que, ao longo do meu percurso, foram instrumentais para o sucesso deste. Ademais, muitos foram fonte de inspiração para muitas das minhas decisões enquanto aluno, bem como pessoa. Assim, enumero abaixo, sem qualquer ordem de importância (exceto os 2 primeiros, por razões óbvias), os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar, aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado, apoiando-me e incentivando sempre para ir além. Aturando-me sempre quando eu estava de pior humor, ou preocupando-se sempre quando me sentia mais em baixo, foram um dos meus 2 grandes pilares neste que foi o meu percurso académico, mais longo do que poderia esperar.

Aos meus irmãos, a quem prometo sempre auxiliar e proteger, independentemente da realidade. Um, o meu irmão, uma fonte de conversas, discussões, ou mesmo de pensamentos sobre assuntos que não me passam pela cabeça. A outra, minha irmã, que me mantém sempre como uma pessoa correta e sincera.

Aos meus avós paternos que, estando sempre ao lado de onde vivia, era mais fácil falar cara a cara e expor as minhas mágoas, mas também os meus sucessos.

Aos meus avós maternos, que sempre me puxaram a pensar nos vários assuntos académicos noutra esfera (a par dos meus pais e dos meus avós paternos).

À minha família alargada, que me viu crescer e enveredar por este caminho académico, mostrando-se sempre se mostrou disponível para me auxiliar no que fosse necessário, bastando apenas, por vezes, uma simples conversa para resolver determinados assuntos.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos que, nas minhas longas sessões de lamentos e discursos, foram sempre uma voz proeminente nas várias decisões que tomei. Existe, como é claro, um estrito conjunto de pessoas, as quais designo de confidentes, e que sempre me apoiaram, ajudaram e deram a sua opinião, sobre certos assuntos mais delicados. A este grupo, que não é necessário dissertar sobre quem são, pois sabem perfeitamente a quem me dirijo, o meu sincero e profundo obrigado.

Ao engenheiro Carlos Alves que, estando envolvido no tema da atual dissertação, foi uma voz crítica e guiadora nesta que é uma inovação a nível nacional, o controlo de tráfego à distância.

Por fim, deixo o meu agradecimento ao professor Doutor Jorge Miguel Reis Silva. No início do percurso que tive com o professor, via a sua área com algum ceticismo, isto antes de ter qualquer unidade curricular consigo. A partir do primeiro momento que tive uma aula consigo, em Economia e Gestão do Transportes Aéreos, tal preconceito de que a sua área era “uma seca” foi contrariada por um genuíno interesse meu em algo, que de todo, achava que seria capaz de “aturar”. Como orientador, mostrou-se sempre disponível, aberto a sugestões, e guiador num trabalho que apesar de ser complicado, envolveu sempre um interesse por parte do professor. Desde o primeiro momento que entrei no NIT, agradei sempre ao professor da sua hospitalidade neste espaço. Não o posso deixar de fazer neste que é o trabalho mais importante do meu percurso académico (até ao momento). Assim, o meu mais honesto e sincero obrigado.

Resumo

As torres de controlo remoto são a mais recente evolução do controlo de tráfego aéreo a nível do aeroporto. Estas torres substituem as tradicionais torres de controlo de tráfego aéreo, deslocando os controladores de tráfego aéreo do aeroporto para um local remoto, designado por centro de controlo remoto.

Este conceito foi apresentado com o principal objetivo de combater a falta de controladores de tráfego aéreo, além de permitir dotar vários aeroportos de um controlo que, até então, não tinham ou estavam em risco de o perder, devido aos custos associados com este serviço.

Uma das grandes vantagens, além das já referidas, é a redução dos custos associados com esta operação, aliado à possibilidade da otimização dos recursos humanos associados a cada turno, podendo cada controlador de tráfego operar mais do que 1 aeroporto ao mesmo tempo, caso o número de movimentos se adegue a tal.

É com isto que se torna importante o estudo desta solução em Portugal, pois existe um elevado número de aeroportos que, tendo controlo da pista, tal pode não ser economicamente viável. O estudo incidirá sobre um projeto da NAV Portugal, que está para implementar esta solução em algumas ilhas do arquipélago dos Açores. Será feita uma análise à viabilidade desta solução, tendo em conta o número de movimentos, o número de controladores de tráfego aéreo associados a cada aeroporto e, por fim será feita uma análise económica.

Este estudo permitiu entender que a implementação desta solução no arquipélago dos Açores era viável, quer a nível operacional, onde se verificam uma melhoria na alocação de recursos humanos em cada turno, quer a nível económico, onde a partir de um modelo de aproximação de custos se entendeu que os gastos relacionados com as torres de controlo remotas eram inferiores quando comparado com a solução tradicional.

Palavras-chave

Torre de Controlo Remota; Controlo de Tráfego Aéreo; Viabilidade; Operacional; Económica; Movimentos.

Abstract

Remote control towers are the latest evolution in air traffic control at airport level. These towers replace traditional air traffic control towers, moving the airport's air traffic controllers to a remote location called a remote control center.

This concept was introduced with the main aim of combating the shortage of air traffic controllers, as well as making it possible to provide several airports with control that, until then, they didn't have or were at risk of losing, due to the costs associated with this service.

One of the great advantages, in addition to those already mentioned, is the reduction in costs associated with this operation, coupled with the possibility of optimizing the human resources associated with each shift, with each traffic controller being able to operate more than 1 airport at the same time, if the number of movements is appropriate.

This makes it important to study this solution in Portugal, as there are many airports where having runway control may not be economically viable. The study will focus on a project by NAV Portugal, which is about to implement this solution on some islands in the Azores archipelago. An analysis will be made of the viability of this solution, considering the number of movements, the number of air traffic controllers associated with each airport, and finally an economic analysis.

This study showed that implementing this solution in the Azores archipelago was feasible, both at an operational level, where there was an improvement in the allocation of human resources to each shift, and at an economic level, where a cost approximation model showed that the costs related to remote control towers were lower than the original solution.

Keywords

Remote Control Tower; Air Traffic Control; Feasibility; Operational; Economic; Movements.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objeto e objetivos	3
1.3	Metodologia de investigação	4
1.3.1	Estado da arte	5
1.3.2	Caso de estudo	5
1.3.3	Análise de resultados	6
1.4	Estrutura da dissertação	7
2	Estado da Arte	9
2.1	Introdução	9
2.2	Torre de controlo de tráfego aéreo tradicional	10
2.2.1	Enquadramento histórico	10
2.2.2	Equipamentos de uma torre de controlo	14
2.3	Torre de controlo remota	15
2.3.1	Contextualização do conceito	17
2.3.2	Caraterização do controlo de tráfego à distância	18
2.3.3	Modos de operação	20
2.3.4	Composição e componentes das torres remotas	23
2.3.5	Tecnologias implementadas nas torres remotas	28
2.3.6	Ambiente de trabalho dos controladores de tráfego aéreo	30
2.3.7	Vantagens do uso das torres de controlo remotas	33
2.3.8	Desafios principais na implementação das torres remotas	34
2.4	Casos internacionais	35
2.4.1	Torres de controlo remotas atualmente em funcionamento	36
2.4.2	O caso do aeroporto da Cidade de Londres	37
2.5	Conclusão	38
3	Caso de Estudo	41
3.1	Introdução	41
3.2	Caraterização do arquipélago dos Açores	42
3.2.1	Caraterização da ilha de Santa Maria	43
3.2.2	Caraterização da ilha do Faial	44
3.2.3	Caraterização da ilha das Flores	44
3.2.4	Caraterização da ilha de São Miguel	44
3.3	Caraterização dos aeroportos da região	44

3.3.1 Aeroporto de Santa Maria	44
3.3.2 Aeroporto da Horta	46
3.3.3 Aeroporto das Flores	47
3.3.4 Aeroporto de Ponta Delgada/João Paulo II	49
3.4 Tratamento dos dados obtidos	51
3.5 Dados obtidos	51
3.5.1 Aeroporto de Santa Maria	52
3.5.2 Aeroporto da Horta	54
3.5.3 Aeroporto das Flores	55
3.5.4 Aeroporto de Ponta Delgada	57
3.6 Metodologia de estudo	58
3.6.1 Análise ao número de movimentos associados ao aeroporto	59
3.6.2 Análise ao número de CTAs necessários por turno	63
3.6.3 Custos envolvidos com as TCR	64
3.7 Conclusão	68
4 Análise de Resultados	71
4.1 Introdução	71
4.2 Número de movimentos	72
4.2.1 Aeroporto de Santa Maria	73
4.2.2 Aeroporto da Horta	74
4.2.3 Aeroporto das Flores	76
4.2.4 Aeroporto das Flores	78
4.2.5 Aeroporto de Ponta Delgada/João Paulo II	80
4.2.6 Controlo remoto dos vários aeroportos	82
4.3 CTAs associados a cada turno	85
4.4 Custos envolvidos	87
4.5 Comparação com um caso real	89
4.6 Conclusão	91
5 Conclusão	95
5.1 Síntese da dissertação	95
5.2 Considerações Finais	97
5.3 Propostas para investigações futuras	99
Bibliografia	101
Anexos	115
A.1 Equipamentos a instalar, pela SAAB AB	115
A.2 Número de movimentos	119

Lista de Figuras

Figura 1.1: Esquema dos elementos necessários para uma torre remota [9]	2
Figura 2.1: Archie W. League com as bandeiras de indicação [14]	10
Figura 2.2: Primeira torre de controlo equipada com um radiotransmissor, no aeroporto municipal de Cleveland [15]	11
Figura 2.3: Controlador de tráfego aéreo utiliza o radar para guiar uma aeronave [18]	12
Figura 2.4: Controlador de tráfego a analisar o ecrã de um radar, com vários códigos [20]	13
Figura 2.5: Torre de controlo física [22].....	14
Figura 2.6: Interior de uma torre de controlo de tráfego aéreo [23].....	14
Figura 2.7: Torre de controlo remota no aeroporto de Saarbrücken, na Alemanha [29]	16
Figura 2.8: Centro de controlo remoto de Braunschweig, Alemanha [38]	18
Figura 2.9: Vista do controlador no centro de controlo remoto [45]	19
Figura 2.10: Topologia de uma torre remota de uso singular [9].....	21
Figura 2.11: Topologia de controlo de 3 aeroportos de uma forma sequencial [9]	21
Figura 2.12: Topologia de controlo de 3 aeroportos em simultâneo [9]	22
Figura 2.13: Imagem de um controlador de tráfego aéreo a controlar 3 aeroportos ao mesmo tempo [42].....	22
Figura 2.14: Arquitetura do sistema de uma torre de controlo remota [10]	23
Figura 2.15: Exemplo dos componentes instalados num aeródromo [43].....	26
Figura 2.16: Exemplo de um centro de controlo de torre remota [43].....	27
Figura 2.17: Fitas de progresso de voo físicas [60].....	32
Figura 2.18: Vista de um potencial software de fitas de voo eletrónicas [62]	32
Figura 2.19: Vista da torre de controlo tradicional à direita, fora de uso, e a nova torre de controlo remota à esquerda [69]	37
Figura 3.1: Mapa do arquipélago dos Açores [70]	43

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Número de CTAs alocados ao aeroporto de Santa Maria (total e por turno)	53
Tabela 3.2: Número de CTAs alocados ao aeroporto da Horta (total e por turno)	55
Tabela 3.3: Número de CTAs alocados ao aeroporto das Flores (total e por turno)	56
Tabela 3.4: Número de CTAs alocados ao aeroporto de Ponta Delgada (total e por turno)	58
Tabela 3.5: Tabela discriminatória para o Capex de uma TCR	65
Tabela 3.6: Tabela de estimação do Capex para uma TCR [90].....	65
Tabela 3.7: Tabela discriminatória do Opex para uma TCR	66
Tabela 3.8: Tabela de estimação do Opex para uma TCR [90]	67
Tabela 3.9: Tempo de depreciação dos elementos envolvidos na TCR [90]	68
Tabela 4.1: Média de movimentos mensais para o aeroporto de Santa Maria, de 2019 a 2022	73
Tabela 4.2: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto de Santa Maria em 2022.....	73
Tabela 4.3: Número de movimentos diários (média) no aeroporto de Santa Maria em 2022	73
Tabela 4.4: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto de Santa Maria em 2022	73
Tabela 4.5: Média de movimentos mensais para o aeroporto da Horta, de 2019 a 2022	75
Tabela 4.6: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto da Horta em 2022	75
Tabela 4.7: Número de movimentos diários (média) no aeroporto da Horta em 2022.	75
Tabela 4.8: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto da Horta em 2022	75
Tabela 4.9: Média de movimentos mensais para o aeroporto das Flores, de 2019 a 2022	76
Tabela 4.10: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto das Flores em 2022	76
Tabela 4.11: Número de movimentos diários (média) no aeroporto das Flores em 2022	77
Tabela 4.12: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto das Flores em 2022	77

Tabela 4.13: Média de movimentos mensais para o aeroporto das Flores, de 2019 a 2022	78
Tabela 4.14: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto das Flores em 2022.....	78
Tabela 4.15: Número de movimentos diários (média) no aeroporto das Flores em 2022	78
Tabela 4.16: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto das Flores em 2022	79
Tabela 4.17: Média de movimentos mensais para o aeroporto das Flores, de 2019 a 2022	80
Tabela 4.18: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto de Ponta Delgada em 2022	80
Tabela 4.19: Número de movimentos diários (média) no aeroporto de Ponta Delgada em 2022	80
Tabela 4.20: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto de Ponta Delgada em 2022.....	81
Tabela 4.21: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) entre os vários aeroportos e o CCR.....	82
Tabela 4.22: Diferença percentual dos meses de movimentos extremos, para os vários aeroportos e para o CCR.....	83
Tabela 4.23: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) entre os vários aeroportos (excluindo o aeroporto das Flores) e o CCR.....	84
Tabela 4.24: Diferença percentual dos meses de movimentos extremos, para os vários aeroportos (excluindo o aeroporto das Flores) e para o CCR, para 2022.....	84
Tabela 4.25: Número de CTAs alocados, por turno, a cada um dos aeroportos estudados	86
Tabela 4.26: Capacidade de controlo máximo, por hora, para vários aeroportos.....	86
Tabela 4.27: Excesso de movimentos, por hora, para os aeroportos estudados, para o mês com menor volume de movimentos, em 2022.....	86
Tabela 4.28: Excesso de movimentos, por hora, para os aeroportos estudados, para o mês de agosto 2022	86
Tabela 4.29: Excesso de CTAs alocados para cada um dos aeroportos	86
Tabela 4.30: Número de CTAs necessários para controlar cada um dos aeroportos a partir do CCR, para o mês de maior movimentação em 2022.....	87
Tabela 4.31: Custos associados aos CTAs.....	88
Tabela 4.32: Número de movimentos mensais para o aeroporto de <i>London City</i> , em 2022	90

Tabela 4.33: Número de movimentos diários (média) no aeroporto de <i>London City</i> , em 2022	90
Tabela 4.34: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto de <i>London City</i> , em 2022	90
Tabela A.1: Lista de equipamentos propostos pela SAAB AB [43].....	115
Tabela A.2: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2019 ..	119
Tabela A.3: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2020 .	120
Tabela A.4: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2021 ..	121
Tabela A.5: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2022 .	122
Tabela A.6: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2023 ..	123

Lista de Gráficos

Gráfico 3.1: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto de Santa Maria, de 1986 a 2022 [84].....	45
Gráfico 3.2: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto de Santa Maria [84]	46
Gráfico 3.3: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto da Horta, de 1986 a 2022 [84].....	47
Gráfico 3.4: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto da Horta, no Faial [84]	47
Gráfico 3.5: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto das Flores, de 1986 a 2022 [84].....	48
Gráfico 3.6: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto das Flores [84]	49
Gráfico 3.7: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto de Ponta Delgada, de 1986 a 2022 [84].....	50
Gráfico 3.8: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto de Ponta Delgada [84]	50
Gráfico 3.9: Número de movimentos mensais no aeroporto de Santa Maria, de 2019 a 2022	52
Gráfico 3.10: Número de movimentos no aeroporto de Santa Maria em 2022	53
Gráfico 3.11: Movimentos no aeroporto da Horta, desde 2019 até 2022	54
Gráfico 3.12: Movimentos mensais no aeroporto da Horta em 2022	54
Gráfico 3.13: Número de movimentos no aeroporto das Flores, entre 2019 e 2022.....	55
Gráfico 3.14: Número de movimentos no aeroporto das Flores em 2022	56
Gráfico 3.15: Número de movimentos no aeroporto de Ponta Delgada, entre 2019 e 2022	57
Gráfico 3.16: Número de movimentos no aeroporto de Ponta Delgada em 2022.....	58
Gráfico 4.1: Número de movimentos em cada aeroporto e para um CCR, para 2022 ...	82
Gráfico 4.2: Número de movimentos mensais para os vários aeroportos (excluindo o aeroporto das Flores) e para o CCR, em 2022.....	84

Lista de Acrónimos

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
ASR-1	Airport Surveillance Radar
ATM	Air Traffic Management
Capex	Custos de implementação
CCR	Centro de controlo remoto
CCO	Centro de controlo oceânico
CCTA	Centro de controlo de tráfego aéreo
CR	Controlo remoto
CTA	Controlador de tráfego aéreo
DLR	German Aerospace Center / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EFPS	Electronic flight progress strips
EUA	Estados Unidos da América
FAA	Federal Aviation Administration
FPS	Flight progress strips
HMD	Head mounted display
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument flight rules
IR	Infravermelhos
NATS	National Air Traffic Service (entidade inglesa análoga à NAV Portugal)
Navaid	Navigational Aid
OEM	Original Equipment Manufacturer
Opex	Custos de operação / <i>Operational Expenditure</i>
OTR	Operação em torre remota
PTZ	Pan-tilt-zoom
Radar	Radio Detection and Ranging
RH	Recursos humanos
TC	Torres de controlo
TCD	Torres de controlo digitais
TCR	Torres de controlo remotas
TCT	Torres de controlo tradicionais

UFH	Ultra-Alta Frequência
VFR	Visual flight rules
VHF	Alta Frequência
YOLO	<i>You Only Look Once</i>

Capítulo 1

1 Introdução

1.1 Motivação

Apesar de ser uma atividade de elevada importância para o transporte aéreo, o controlo do tráfego aéreo ultrapassa no presente uma fase que incute uma maior pressão nos vários elementos associados a esta atividade. No entanto, um dos maiores problemas associados à área é a falta de controladores de tráfego aéreo (CTAs) para operar um número crescente de movimentos aéreos. Este é um problema já com bastantes anos [1], [2].

As entidades de controlo de tráfego aéreo têm então apostado na pesquisa de soluções que permitam otimizar os recursos disponíveis, tentando assim minimizar o impacto que a falta de pessoal tem nas atividades do controlo. Esta pesquisa envolve, também, a análise de novas tecnologias a implementar, de forma adequada, permitindo uma procura por uma maior eficiência na gestão e prestação do serviço, mas também garantir, de igual forma, a segurança dos clientes.

Dado que, cada vez mais se tornam evidentes as vantagens relacionadas com a implementação de certas soluções altamente tecnológicas em determinadas áreas, a premissa de integrar metodologias mais eficientes na gestão do controlo do tráfego aéreo com as soluções computacionais disponíveis leva a uma maior eficiência do controlo de tráfego aéreo. Isto permitiu a criação de soluções inovadoras na área da gestão do controlo do tráfego aéreo, aliado à otimização dos recursos humanos (RH) disponíveis. Em determinadas situações, a solução estudada altera por completo o enquadramento de trabalho dos CTAs.

Uma das soluções propostas, que reformula por completo o ambiente de trabalho dos CTAs, foi a da torre de controlo remota (TCR) ou digital (TCD). A principal característica deste conceito é a transferência do local de trabalho dos CTAs dos aeroportos, das torres de controlo de tráfego tradicionais (TCT) para um centro disjunto da área aeroportuária [3], [4]. Isto acaba por ter implicações tecnológicas, já que será necessário a instalação de novos e mais avançados equipamentos informáticos.

Outro aspeto central apresentado com este conceito foi a possibilidade da racionalização de meios, tentando combater a falta de trabalhadores já referida. Aliado a esta

racionalização foi, também, proposto a retoma deste tipo de serviço em aeroportos que, por razões diversas (económicas, por exemplo) perderam, ou podem estar para perder, a capacidade do controlo do tráfego na pista [3], [4].

O conceito das TCR, na sua essência, baseia-se na instalação de uma bateria de câmaras e sensores, cobrindo visualmente uma área superior à que o CTA tem na TCT. Isto é particularmente importante, pois permite representar os vários veículos e pessoas presentes no lado ar do aeroporto com um enorme detalhe.

Apesar de a premissa inicial se manter constante, o conceito apresentado no início do seculo sofreu várias alterações, acompanhando tanto os avanços tecnológicos, como a identificação das reais capacidades que esta solução tem. Uma característica identificada foi a das possíveis poupanças económicas, permitindo assim a prestação de serviço a aeroportos que não possuam (ou estejam em vias de perder) este serviço. Tal foi aliado à identificação da característica do controlo de vários aeroportos ao mesmo tempo, por 1 só CTA [5], [6], [7], [8].

A importância deste conceito levou a que vários fabricantes (OEMs) demonstrassem o seu interesse. Tal traduziu-se num portfólio bastante extenso e compreensível nesta área, com vários elementos tecnologicamente avançados. Mas, existe uma grande disparidade nos elementos a instalar, já que tal depende do local e da missão em questão, apesar de existir um conjunto básico de equipamentos e sistemas a instalar em qualquer situação. Incluem-se nesta lista as câmaras de alta resolução, sensores de infravermelhos (IR), sensores meteorológicos, equipamentos de comunicação terra-ar, entre outros [9]. Um esquema destes mesmos é apresentado na Figura 1.1.

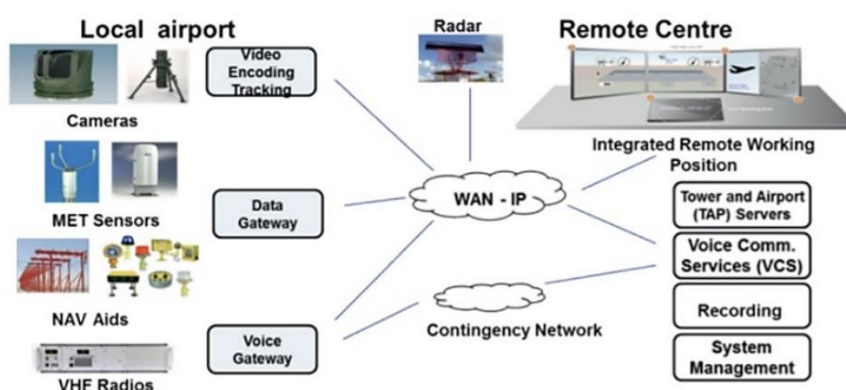


Figura 1.1: Esquema dos elementos necessários para uma torre remota [9]

A instalação das torres de controlo remotas pode contribuir para a resolução ou mitigação de alguns problemas, de uma forma eficiente, designadamente [7], [9], [10]:

- Implementação de ferramentas, face às facilidades que as câmaras proporcionam, que somente com a capacidade humana não seria possível;
- Maior flexibilização nos horários de funcionamento dos aeroportos;
- Aumento do número de aeródromos com prestação de serviço de controlo de tráfego aérea, com custos reduzidos;
- Implementação de ferramentas de segurança adicionais.

Firmada a sua importância, bem como o interesse por parte da indústria por esta solução, o conceito tem sido estudado com o principal objetivo de provar a sua utilidade em várias realidades. Os estudos realizados tanto pela comunidade científica como pelas empresas vão desde o controlo de vários aeroportos por apenas 1 CTA até ao desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial (IA) de auxílio à operação [7].

Como seria de esperar, um estudo da aplicação e viabilidade de um sistema destes em território nacional faz parte das decisões estratégicas da empresa nacional responsável pela prestação do serviço de controlo de tráfego aéreo, a NAV Portugal.

Ora, encontra-se atualmente um projeto lançado para a implementação da primeira TCR em Portugal, no aeroporto de Santa Maria nos Açores. Considerando esta aplicação, o projeto em curso envolve, também, o estudo das diversas soluções exequíveis e o conceito operacional a implementar. Tal estudo envolve então 4 aeroportos escolhidos (Santa Maria, Horta, Flores e Ponta Delgada), e, será incluído no estudo as várias nuances existentes como a descontinuidade territorial e as condicionantes locais.

1.2 Objeto e objetivos

O principal objetivo da presente dissertação envolve a avaliação de pelo menos uma TCR e um centro de controlo remoto (CCR) na região autónoma dos Açores. Esta aplicação permite, a partir de um só local (o CCR), ser possível controlar alguns aeroportos regionais com baixo volume de tráfego, permitindo assim uma otimização dos RH disponíveis.

Apesar deste estudo incidir apenas sobre a região dos Açores, a metodologia e justificações propostas podem ser exportadas para outro estudo, similar para o território nacional. Tal permitirá analisar e propor a implementação desta solução sobre aeroportos que, na atualidade, não possuem nenhum controlo do tráfego na pista.

Este estudo envolverá a introdução dos vários conceitos relacionados com as TCR, e será procedido por um estudo técnico e de alguns aspetos operacionais desta solução.

O estudo conceptual é importante, pois permite uma contextualização das TCR e dos vários elementos que compõem esta solução. Tais elementos vão desde os sistemas e equipamentos a instalar, no lado do aeroporto, até ao ambiente de trabalho do CTA, passando pela infraestrutura a instalar, onde se inclui a ligação entre o aeroporto e o CCR.

Relativamente à análise operacional, esta envolve vários aspetos onde se incluem a aceitação por parte dos CTAs a uma solução deste tipo, ou mesmo a racionalização e otimização subjacente destes RH. O primeiro ponto é imperativo, pois a solução apresentada pode ser recebida com algum ceticismo. Já na questão da racionalização do pessoal, este é um aspeto que está ligado com a possibilidade do controlo de vários aeroportos por apenas 1 CTA, e a partir do mesmo local.

Relativamente ao contexto operacional e geográfico, o estudo é importante pois podem existir situações onde a presença de uma TCT é necessária. O contrário também acontece, ou seja, a opção mais viável, quer a nível económico ou mesmo na questão da otimização de RH, é a instalação de uma TCR e ligar esta a um CCR. O estudo individual tem de ser feito, podendo tornar o processo de decisão menos complicado.

Relativamente à realidade nacional, um dos principais objetivos da presente dissertação envolve o estudo da viabilidade das TCR em território nacional. Este é um estudo de elevada importância, pois existe um elevado número de aeródromos em Portugal que não possuem qualquer tipo de controlo de tráfego na pista podem ser otimizados. O estudo desta solução na região autónoma dos Açores é importante, muito devido aos desafios que a descontinuidade territorial envolve. Este estudo poderá servir de base para uma projeção nacional, com a ressalva que cada caso tem de ser analisado individualmente.

Com base nas diversas implementações que já existem a nível mundial, será feita uma análise da viabilidade, considerando os benefícios e as soluções exequíveis, tendo em conta a utilização desta tecnologia nos Açores. Para se efetuar este estudo, pretende-se recorrer a um caso real, a partir do qual se poderá aferir os benefícios e a utilidade da solução.

1.3 Metodologia de investigação

Tradicionalmente, uma dissertação focada num estudo similar ao que se pretende efetuar é dividida em três capítulos, onde em cada um destes se aplica uma metodologia adequada. Na presente dissertação também foi esse o modelo aplicado, sendo a divisão dos capítulos a seguinte:

- Capítulo 2: Estado da arte;
- Capítulo 3: Caso de estudo;
- Capítulo 4: Análise de resultados.

Como a metodologia de investigação a aplicar depende do capítulo, existe uma necessidade de expor cada um dos passos a serem seguidos no decorrer da dissertação. Assim, nos pontos seguinte apresenta-se o trabalho a efetuar em cada um dos capítulos.

1.3.1 Estado da arte

O principal objetivo deste primeiro capítulo é a introdução de vários conceitos e soluções tecnológicas que compõem o objeto de estudo, as torres de controlo remotas. Para tal, e de uma forma sucinta, os passos a seguir nesta fase serão:

- Apresentação dos conceitos das torres de controlo tradicionais;
- Apresentação dos conceitos das torres remotas (TR);
- Apresentação das principais vantagens das TR perante as TCT;
- Apresentação dos principais desafios que têm sido verificados no desenvolvimento e implementação prática desta nova solução.

1.3.2 Caso de estudo

Após a apresentação dos vários conceitos de base, operacionais e tecnológicos, o principal objetivo deste capítulo é a análise de um caso de estudo que, na presente dissertação, assenta num caso real.

O estudo a realizar envolve a análise da viabilidade da implementação de um centro de controlo remoto na ilha de Santa Maria, e das subsequentes torres de controlo remotas nos aeroportos de Santa Maria, Horta, Flores e de Ponta Delgada. Também se incluirá o estudo aos desafios envolvidos na instalação destas soluções.

Além do referido, o estudo envolverá a análise da viabilidade económica das TCR, desde os custos de implementação aos de operação, e estes serão comparados com os custos envolvidos com as TCT. Este estudo tem de ter em conta não só os custos de

implementação de operação mais comuns, mas também os custos de manutenção envolvidos com ambas as soluções.

Para além dos aspetos anteriormente referidos, será também feita uma avaliação sobre a eficiência dos recursos utilizados, sendo este um aspeto de elevada relevância, já que é o grande fator comparativo entre os dois contextos da prestação do serviço de controlo de tráfego aéreo.

Para um auxílio nas situações onde seja exigido uma comparação com outros casos, poderão ser utilizados um de vários casos de torres remotas em funcionamento, quer em países europeus, quer noutras latitudes, caso seja possível.

De uma forma resumida, os passos a serem seguidos são:

- Recolha de dados para a avaliação da implementação das torres remotas em Portugal;
- Verificação dos constrangimentos da implementação;
- Tratamento dos dados obtidos;
- Análise da implementação das torres remotas em território nacional, partindo da instalação efetuada nos Açores;
- Criação de um guia/metodologia para a análise da possibilidade da implementação das torres de controlo remoto em outros aeródromos/aerportos.

1.3.3 Análise de resultados

Nesta etapa da dissertação, o principal objetivo é a análise de todos os dados obtidos no capítulo anterior. Além desta apresentação, uma leitura e análise dos resultados está em sequência, de forma a aferir se o estudo efetuado foi ao encontro do que se pretendia.

Para tal, é necessário realizar uma análise dos vários aspetos aferidos anteriormente, onde se inclui a racionalização dos custos, nomeadamente os custos de investimento (Capex), os custos de exploração das torres (Opex), bem como os esperados aumentos de produtividade.

De forma a atingir estes objetivos, os passos a seguir são:

- Análise dos passos necessários para a implementação de uma torre de controlo remota;
- Verificação dos constrangimentos para a sua implementação;
- Avaliação de custos envolvidos;

- Comparação da implementação do caso português com outros casos, caso seja possível.

Os passos expostos acima têm como principal objetivo a implementação das torres remotas na realidade dos Açores. No entanto, uma comparação com as implementações já em operação é imperativa, para se poder fazer uma análise fundamentada das várias opções possíveis, aferindo quais serão as mais indicadas para o cenário considerado.

1.4 Estrutura da dissertação

No primeiro capítulo, **Introdução**, apresentar-se-ão os vários elementos que irão compor a dissertação, de uma forma introdutória, além de se expor a motivação por detrás deste estudo, bem como a metodologia que será utilizada no decorrer da dissertação, e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, **Estado da Arte**, o foco será a apresentação dos conceitos base sobre o tema que se pretende estudar, além de se apresentar um enquadramento histórico do assunto a tratar. Para tal, e tendo em conta o tema das torres remotas, o enquadramento histórico a ser feito terá de incluir, também, as torres de controlo de tráfego aéreo, já que estas são o antecessor desta nova tecnologia. Neste capítulo irá, então, ser feita uma exposição, tendo por base a literatura disponível.

No terceiro capítulo, **Caso de Estudo**, será feito o estudo de um caso atualmente em implementação, na Região dos Açores. Este estudo tem como objetivo perceber as condições que existem nesta implementação inovadora, além de se tentar entender toda a estrutura envolvente associada.

No quarto capítulo, **Análise de Resultados**, será feita uma análise aos dados obtidos para a implementação da torre remota de Santa Maria, onde se pretende entender a viabilidade da implementação de uma tecnologia destas ao longo do país.

Por fim, no último capítulo, **Conclusão**, serão expostas as conclusões ao estudo efetuado, frisando os vários aspetos principais do mesmo, desde a viabilidade da implementação de uma torre remota em solo nacional, até aos custos associados à implementação. Significa, portanto, que para além da síntese da dissertação serão feitas algumas considerações finais ao modo como decorreram os trabalhos, terminando-se com a indicação de perspetivas futuras de investigação.

Capítulo 2

2 Estado da Arte

2.1 Introdução

Como todos os sonhos são o motor do desenvolvimento, o Homem procurou desde sempre uma solução para imitar as aves e ser livre! Essa proeza foi conseguida pelos irmãos Wright, a 17 de dezembro de 1903! Foram apenas 12 segundos de voo, mas foi o início da aventura.

Com o avançar dos tempos, e com a evolução da tecnologia, houve a necessidade de criar sistemas eficazes de gerir o tráfego aéreo, por forma a evitar males maiores nos aeroportos e aeródromos, criando-se assim uma nova era, a era da gestão do tráfego aéreo!

Como seria de esperar, a prestação deste tipo de serviço foi-se adaptando às necessidades, acompanhando sempre o constante aumento do volume de movimentos de tráfego aéreo. O que começara por envolver apenas 2 bandeiras que podiam levantar voo ou não, atingiu atualmente um refinamento quer ao nível de procedimentos, quer ao nível da tecnologia utilizada.

No que concerne à gestão do tráfego aéreo nos aeroportos, e com a evolução dos tempos, as tradicionais torres de controlo físicas em cada aeroporto terão uma tendência a acompanhar a tecnologia e a libertar-se do espaço físico de alguns aeroportos, centralizando-se num centro de controlo único.

No quadro das torres de controlo remotas, os controladores serão deslocados das torres de controlo tradicionais para os centros de controlo remotos, onde terão acesso a todas as imagens e informações dos aeroportos aos quais o serviço se destina.

Para tal, neste capítulo serão introduzidos alguns conceitos relacionados com o controlo do tráfego aéreo, onde se incluem as TCR. Tal exposição é importante, pois entender a evolução do controlo do tráfego aéreo é imperativo para se compreender a razão para o aparecimento do conceito das TCR.

2.2 Torre de controlo de tráfego aéreo tradicional

2.2.1 Enquadramento histórico

A introdução do conceito de torres de controlo surge nos anos 20 do século passado, assentando no nobre princípio de prevenir acidentes nos aeroportos. Para tal, um sistema simples de 2 bandeiras foi implementado por Archie W. League [11], [12]. Esta era uma solução rudimentar, mas considerando que os equipamentos de comunicações via rádio ainda estavam na fase inicial do seu desenvolvimento, era a opção mais viável de transmitir aos pilotos as informações de operação [12], [13].

O sistema de informação por bandeiras era bastante simples, no entanto eficaz. O significado das bandeiras utilizadas era simples, davam a indicação ao piloto para poder avançar com a manobra, “Go”, ou se teria que esperar, “Hold” [13]. Estas bandeiras, podem ser analisadas na Figura 2.1.



Figura 2.1: Archie W. League com as bandeiras de indicação [14]

Archie League foi reconhecido pelo papel preponderante na segurança da aviação, e em 1937 passou a integrar o Bureau do Comércio Aéreo. Este Bureau foi o precursor da FAA (*Federal Aviation Administration*), entidade onde subiu ao cargo de diretor de serviço de controlo de tráfego aéreo [12].

A primeira torre de controlo equipada com um rádio transmissor surgiu em 1930, no aeroporto municipal de Cleveland, visível na Figura 2.2. A introdução desta nova tecnologia permitiu a gestão o tráfego aéreo com maior eficácia e segurança [12], [13].



Figura 2.2: Primeira torre de controlo equipada com um radiotransmissor, no aeroporto municipal de Cleveland [15]

A instalação deste sistema permitiu ao CTA poder comunicar diretamente com o piloto, transmitindo as informações da pista de uma forma perceptível e concreta, melhorando assim o serviço prestado. A introdução desta tecnologia mudou totalmente o rumo do controlo do tráfego, passando a ser imprescindível na segurança aeroportuária. Por arrasto, e num prazo de 5 anos, outras 20 cidades norte-americanas implementaram este sistema nos seus aeroportos municipais [12].

A primeira torre de controlo de tráfego aéreo surge em 1935, em Newark, sendo então possível monitorizar a posição das aeronaves, hora de partida e chegada dos vários voos no espaço aéreo, com o recurso a mapas e a quadros de giz. A comunicação entre a TCT e os pilotos era feita via rádio, e a relação com as companhias aéreas era estabelecida, em caso necessidade, via telefone [12].

A introdução das fitas de progresso de voo, em inglês designadas por *flight progress strips* (FPS), facilitou o acompanhamento dos voos, substituindo os quadros de giz. Estas fitas permitiram aos controladores fazerem apontamentos e adendas relativas à evolução dos voos [13].

A evolução do transporte aéreo de pessoas e bens trouxe um aumento do número de aeronaves que circulavam dificultando uma gestão adequada do tráfego, o que levou à necessidade de criar um centro de controlo de tráfego aéreo. Este primeiro centro de controlo de tráfego aéreo nasceu em dezembro de 1935, em Newark/Nova Jérсия. A entidade responsável pela gestão e operação deste local foi o Bureau do Comércio Aéreo, tendo como objetivo controlar os movimentos das aeronaves durante o voo, mitigando assim as possíveis rotas de colisão [12], [16].

Apesar de existirem tecnologias disponíveis para facilitar o controlo da circulação aérea, estas eram muito arcaicas e de difícil implementação. Dentro destas tecnologias tem-se o Radar (Radio Detection And Ranging), que existia desde 1886, mas foi durante a Segunda Guerra Mundial que este equipamento foi utilizado pela primeira vez num contexto real [17]. O radar foi utilizado pelos britânicos com o intuito de identificar as aeronaves alemãs que se encontravam em rota para as ilhas britânicas, sendo integrados na primeira linha de defesa do Reino Unido [12].

Após a guerra, a FAA concluiu que o uso dos radares era vantajoso para o controlo do tráfego, permitindo aos controladores seguir o progresso das aeronaves com uma maior precisão [12].

A implementação do Radar em contexto civil aconteceu em 1950 pela mão da FAA, tendo sido designado por *Airport Surveillance Radar*, ou ASR-1 [12]. A sua utilização foi um sucesso pelo que em 1952 foi instalado um radar no aeroporto nacional de Washington, permitindo o controlo das movimentações na pista [12]. O aspeto da consola a partir do qual o controlador identificaria as aeronaves pode ser visto na Figura 2.3.

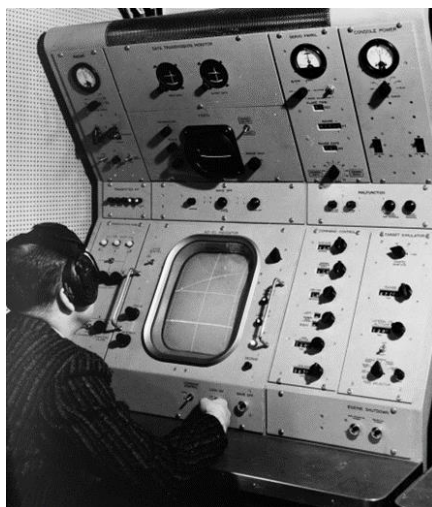


Figura 2.3: Controlador de tráfego aéreo utiliza o radar para guiar uma aeronave [18]

O pós-Segunda Grande Guerra Mundial trouxe um crescimento exponencial do tráfego aéreo comercial. Inicia-se um período de franca expansão económica, obrigando ao desenvolvimento de aeronaves disponíveis para o transporte de pessoas e bens. As entidades controladoras observaram a necessidade de aprimorar os sistemas e equipamentos de controlo, o que forçou a procura de novas soluções e à evolução dos sistemas e equipamentos já existentes [12], [19].

Com base nesta premissa, a FAA procurou integrar as recentes inovações informáticas utilizadas pelos militares. Para tal, e segundo o relatório do projeto Beacon de 1961, as novas capacidades computacionais permitiam aglomerar os dados dos radares de solo e radares aéreos, desenvolvendo uma posição precisa em 3 dimensões de uma aeronave [12]. Em 1967, numa primeira fase, a IBM instalou um computador protótipo no centro de controlo de tráfego aéreo de Jacksonville, e com este equipamento já conseguia distribuir os dados dos planos de voo pelos vários equipamentos instalados. Com o sucesso desta operação, a entidade norte-americana decidiu instalar estes equipamentos pelos vários centros de controlo, culminando em 1973 [12].

No entanto, em 1975 e com o surgimento de um sistema que combinava as informações dos vários radares, a IBM conseguiu fornecer aos CTA os vetores precisos das aeronaves em 3 dimensões [12]. Além destas informações, e com as elevadas capacidades computacionais disponíveis, tornou-se possível identificar as várias aeronaves a partir dos códigos alfanuméricos presentes nos ecrãs dos radares, utilizando metodologias mais adequadas [12]. Claro que estes avanços melhoraram a atividade tanto dos controladores de rota, como dos controladores das torres de controlo. Na Figura 2.4 apresenta-se um exemplo de consola utilizada à data, onde eram apresentadas as aeronaves detetadas pelos radares, com a respetiva identificação.

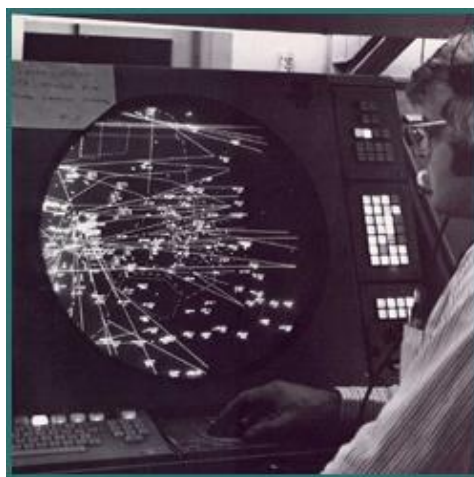


Figura 2.4: Controlador de tráfego a analisar o ecrã de um radar, com vários códigos [20]

A evolução tecnológica, principalmente com a introdução de computadores cada vez mais modernos e com capacidades mais alargadas, permitiu aos CTAs executar um conjunto de tarefas até então impossíveis, podendo de uma assentada realizar a monitorização de um radar de solo, monitorização dos vários sensores instalados no aeroporto (temperatura, humidade, nebulosidade, etc.). No entanto, não houve nenhum salto significativo perante o conceito das TCT anos 70 [21].



Figura 2.5: Torre de controlo física [22]

Apesar da evolução tecnológica, os CTAs ainda sentiam a necessidade de um controlo direto sobre as pistas. Assim, foram desenhadas e concebidas torres de controlo com uma visão livre de 360° (Figura 2.5) aliadas a todo equipamento eletrónico disponível à época. Desta forma, os CTAs podiam não só regular o tráfego na pista, mas também os caminhos de circulação, geridos pelos controladores de tráfego aéreo. Controlando, de igual forma, os movimentos de pessoal na placa, contribuindo para a segurança de todos os utilizadores do transporte aéreo (Figura 2.6) [6], [9].



Figura 2.6: Interior de uma torre de controlo de tráfego aéreo [23]

2.2.2 Equipamentos de uma torre de controlo

Para que os controladores de tráfego aéreo executem a sua atividade necessitam de um conjunto específico de sistemas e equipamentos. Estes carecem de aprovação das entidades reguladoras, sendo padronizados por forma a que qualquer utilizador de

qualquer país os possa utilizar a qualquer momento de forma correta, segura e eficiente [24].

Assim, dependendo da complexidade e do volume de tráfego, nas torres podem existir os seguintes equipamentos e sistemas [25], [26], [27]:

- Radares de solo;
- Sensores de ADS-B e multilateração;
- Sistemas de navegação;
- Sistema de comunicação por voz, terra-terra e terra ar;
- Equipamento de informação de voo;
- Sistemas de anticolisão;
- Sensores de diversos parâmetros meteorológicos;
- Sistemas de controlo de luzes do aeródromo;
- Sistema de gestão de tráfego aéreo (normalmente designado por sistema ATM, ou Air Traffic Management);
- Entre outros.

Os equipamentos e sistemas anteriormente apresentados são os básicos para o funcionamento do aeroporto. No entanto, a sua existência pode variar de acordo com o tráfego a processar, bem como das condições da própria infraestrutura que podem implicar algum procedimento mais específico. Convém realçar que, apesar da utilização cada vez maior de comunicação de dados (*data link*), a comunicação por voz mantém-se como o elemento mais crítico e fundamental nas operações de uma torre de controlo [27].

2.3 Torre de controlo remota

Dado o grande avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, e tendo em conta a grande falta de CTAs [1], [2], a automatização/informatização da atividade de controlo do tráfego aéreo foi ganhando espaço dentro da atividade [10].

As torres de controlo remotas, a par das torres de controlo de tráfego tradicionais, têm como principal função o controlo do tráfego no aeroporto. No entanto, em vez de este controlo ser feito a partir de um local físico, este serviço é realizado à distância, trocando a observação humana direta por uma vista a partir de ecrãs [10], [12]. Este conceito permite aos prestadores dos serviços de controlo do tráfego aéreo fornecerem um serviço de maior qualidade e, ao mesmo tempo, reduzirem os custos associados a esta atividade, considerando os moldes atuais [9], [28].

Esta tecnologia permite aos CTAs desenvolverem a sua atividade à distância do aeródromo ou aeroporto, com o recurso a um conjunto extensivo de câmaras e de sensores, permitindo a visualização completa do aeródromo [5], [9]. Desta forma, os controladores conseguem prestar o serviço de uma forma mais racional, tendo também em conta o facto de, a partir deste centro de controlo remoto, poderem controlar mais do que um aeródromo, otimizando a gestão deste pessoal [9].

Na Figura 2.7 apresenta-se um exemplo da torre principal do sistema de controlo de tráfego aéreo remoto instalado no aeroporto de Saarbrücken, na Alemanha.



Figura 2.7: Torre de controlo remota no aeroporto de Saarbrücken, na Alemanha [29]

As TCRs, para além de outras vantagens, permitem, também, uma economia de investimentos em edifícios, já que o CCR pode ficar alocado dentro de uma instalação térrea porque a aquisição de imagens de controlo da pista e zonas adjacentes é fornecida através de sistemas de vídeo e sensores, não necessitando de edificar novas instalações em altura [10]. A instalação das TCR permitem também a diminuição de custos operativos, já que a deslocação de CTAs para os aeródromos deixa de ser necessária [10].

Na bibliografia disponível consultada verifica-se uma grande miscelânea entre a definição de termos, misturando-se e confundindo-se, muitas vezes, as várias designações, ou seja, os termos são misturados, pois não existe uma nomenclatura universalmente aceite. Para que no presente trabalho tal não aconteça, utilizar-se-á um híbrido entre a nomenclatura proposta pela EASA (*European Union Aviation Safety Agency*) e pela FAA [30], [31], [32], [33], [34]. Ou seja, o local onde os CTAs laboram, sempre que fora do perímetro do aeroporto, será denominado CCR; a totalidade dos equipamentos presentes no aeroporto será a TR; a torre de controlo será a TCR ou TV; e

a forma de laborar dos CTAs por operação em torre remota/virtual será denominada OTR ou OTV [33], [35], [36].

2.3.1 Contextualização do conceito

Em 2002 surge a primeira definição de TCR, tendo sido apresentada em 2005 um protótipo funcional. Este sistema foi aplicado no aeroporto de Braunschweig Wolfsburg, na Alemanha, e teve o intuito de testar a viabilidade técnica e operacional do conceito [10]. O principal objetivo, nesta fase, era o de combater a falta de controladores de tráfego aéreo, otimizado os recursos humanos disponíveis [6].

Apesar de ter havido um investimento e um crescente interesse por parte de empresas, como a SAAB AB, só a partir de 2016 é que se verifica um crescimento efetivo do interesse na área das TCR. Tal foi possível já que a FAA permitiu a instalação da primeira TCR nos EUA. O projeto implicava a instalação de uma TCR de baixo custo no aeroporto de Lisburg/Dakota do Norte, a qual iria permitir não só um custo inicial mais reduzido, mas também a diminuição dos custos associados à operação da mesma, mantendo, contudo, a qualidade de serviço [10].

Tal como seria de esperar, o que começara como sendo um conceito para combater a falta de controladores, permitindo o controlo de um aeródromo à distância, transformou-se, com o avançar do trabalho científico, num conceito mais abrangente.

Com a análise das capacidades computacionais disponíveis, incluindo mecanismos de ajuda aos controladores por meios de inteligência artificial, o conceito das TCR e a operação das mesmas tomou outras proporções, tais como a possibilidade do controlo de vários aeródromos por apenas um CTA [5]. O surgimento desta vertente no controlo tem vindo a ser investigada, já que é uma situação que coloca, no controlador, um esforço acrescido [5], [7], [37].

Um estudo que tentou provar isso mesmo, e que teve início em novembro de 2017, juntou a Frequentis AG com a HungaroControl; a DLR e a Selex ES GmbH propuseram-se a instalar 3 TCR, e associar as mesmas a um CCR. Os aeroportos escolhidos foram os de Budapeste, Papa e Debrecen na Hungria, e estes aeroportos seriam então controlados por um CTA a partir de Braunschweig. O controlador tinha acesso a uma consola composta por 3 ecrãs de alta resolução, onde era disposta toda a informação dos radares e dos sensores de suporte [10]. O CTA também tem acesso às fitas de progresso de voo eletrónicas, num ecrã diretamente à sua frente. Na Figura 2.8 apresenta-se uma imagem deste CCR.



Figura 2.8: Centro de controlo remoto de Braunschweig, Alemanha [38]

A par da mudança ao paradigma inicial das TCR, a possibilidade da otimização do pessoal, por parte das entidades de controlo de tráfego aéreo foi levantada, já que o controlo à distância permitiria a não deslocação deste pessoal. Vários estudos que propõem o controlo de vários aeródromos por 1 CTA procedem, também, ao estudo do escalonamento de um serviço deste tipo [10], [39], [40]. Isto abriu a possibilidade de estender o serviço a todo o tipo de aeroportos, controlados ou não [4], [6], [41].

Outro aspeto levantado recentemente foi o da integração destas infraestruturas no Céu Único Europeu, da iniciativa SESAR¹. Dado que o grande objetivo desta iniciativa é o trabalho colaborativo entre entidades num espaço aéreo mais digital, a instalação de uma solução altamente tecnológica nos aeródromos e nos aeroportos é algo que despertou o interesse por parte dos vários intervenientes [4], [42].

2.3.2 Caracterização do controlo de tráfego à distância

A definição do controlo do tráfego aéreo à distância envolve tanto as TCR, como os CCR. A instalação de um CCR acontece sempre que o controlo do tráfego seja feito fora do perímetro do aeroporto.

Independentemente se serem aeroportos ou aeródromos, o conjunto de equipamentos a serem utilizados são idênticos, podendo variar em número e refinamento dos mesmos. De uma forma resumida, incluem-se câmaras de alta resolução, sensores de infravermelhos e outros sensores de suporte, além dos já instalados no local [10], [43],

¹ Iniciativa cofinanciada pela União Europeia, e envolve tanto empresas públicas como privadas. O SESAR é um programa de promoção tecnológica, com início em 2005.

[44]. A grande importância das câmaras de alta resolução é a transmissão de informação da melhor qualidade possível para o CTA. A instalação destas câmaras é feita em locais estratégicos, além da TCR. No que diz respeito aos sensores, a sua função é fornecer ao CTA a capacidade do controlo do tráfego em situações adversas, como por exemplo, em baixa visibilidade devido ao nevoeiro [10].



Figura 2.9: Vista do controlador no centro de controlo remoto [45]

Utilizando a Figura 2.9 como exemplo, e analisando de cima para baixo, verifica-se que o CTA tem à sua disposição um conjunto de ecrãs que devolvem uma visão *out the window* (OTW), onde poderão ser dispostas algumas informações dos voos. O segundo conjunto de ecrãs, que são 3 na Figura 2.9, apresentam ao CTA várias informações dos sensores instalados no aeródromo. Por fim, na posição do controlador, encontra-se mais um ecrã, onde se encontra um sistema de *electronic flight progress strips* (EFPS) e, com este sistema, pode existir uma integração com os ecrãs maiores, permitindo o *overlay* das informações das aeronaves [10], [46], [47].

Nos últimos anos houve um enorme interesse na comunidade científica na utilização de dispositivos de realidade aumentada, ou *head mounted display* (HMD) em substituição aos ecrãs de grandes dimensões. A utilização destes equipamentos tem como principal objetivo transmitir um ambiente mais próximo das TCT. No entanto, talvez o maior problema seja os sintomas de *cybersickness*, ou seja, o controlador pode ficar indisposto com a utilização prolongada de tal equipamento [5], [6], [7].

2.3.3 Modos de operação

Embora o local e o ambiente de trabalho possam ser totalmente diferentes, a forma de laborar dos CTAs no contexto das TCR é similar à atividade original. Os controladores passam de um ambiente físico, no aeroporto, para um ambiente remoto e, assim, tem de haver um processo adaptativo. Esta alteração acaba por melhorar a eficiência operacional, permitindo uma maior flexibilidade na gestão do tráfego aéreo [10].

Com este último aspeto em mente, os investigadores têm-se focado no controlo de vários aeródromos por apenas 1 CTA por turno, e focam-se não só na proatividade do trabalhador, mas também nos vários fatores de complexidade associados ao controlo múltiplo. Estes fatores acrescem aos já analisados para a atividade remota propriamente dita. Os estudos acabaram por devolver propostas para o desenvolvimento dos sistemas associados às TCR, com o foco na melhoria das capacidades e funcionalidades das TR [9], [37].

Em suma, os estudos levaram à análise de várias situações de funcionamento das TCR, resultando em 3 tipos de operações distintas [9], [10]. São eles [10], [48]:

- a) Torre de controlo remota única: este foi o conceito original, onde 1 torre de controlo remota está alocada a apenas 1 aeroporto. Ou seja, 1 aeroporto é controlado por apenas 1 controlador;
- b) Torres de controlo remotas múltiplas: um conceito recente, que ainda não está totalmente provado. No entanto, este conceito afirma que 1 controlador controla vários aeródromos ao mesmo tempo, ou seja, 1 controlador está alocado a várias torres remotas;
- c) Torre de controlo remota de contingência: o funcionamento destas torres fica reduzido a emergências, na situação onde o controlo do tráfego não possa ser feito a partir da torre de controlo tradicional.

Esquemáticamente, e utilizando a Figura 2.10 como base, podemos verificar que existe uma ligação direta entre o aeródromo e o centro de controlo [9]. Esta é a solução mais simples, já que o controlador reproduz a sua atividade de uma forma tradicional, ou seja, controla apenas o aeródromo que lhe está designado.

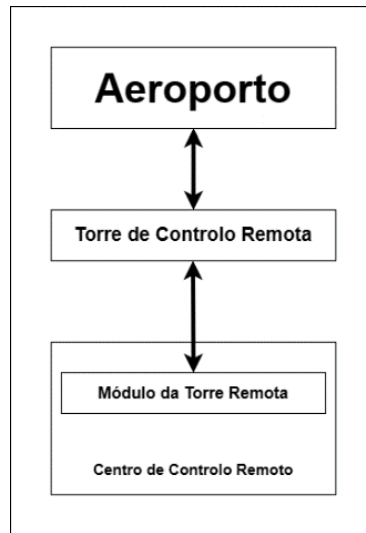


Figura 2.10: Topologia de uma torre remota de uso singular [9]

A topologia apresentada na Figura 2.10 pode, também, ser associada à alínea c) do parágrafo anterior como torre de controlo de contingência. Esta relação é possível já que nesta situação, os controladores do CCR também estão associados a apenas um aeroporto [7], [9], [49].

Relativamente à Figura 2.11 e à Figura 2.12, as topologias apresentadas referem-se à alínea b) do parágrafo anterior [9]. Apesar de se associarem ao mesmo tipo de operação, existe uma grande distinção entre as topologias apresentadas.

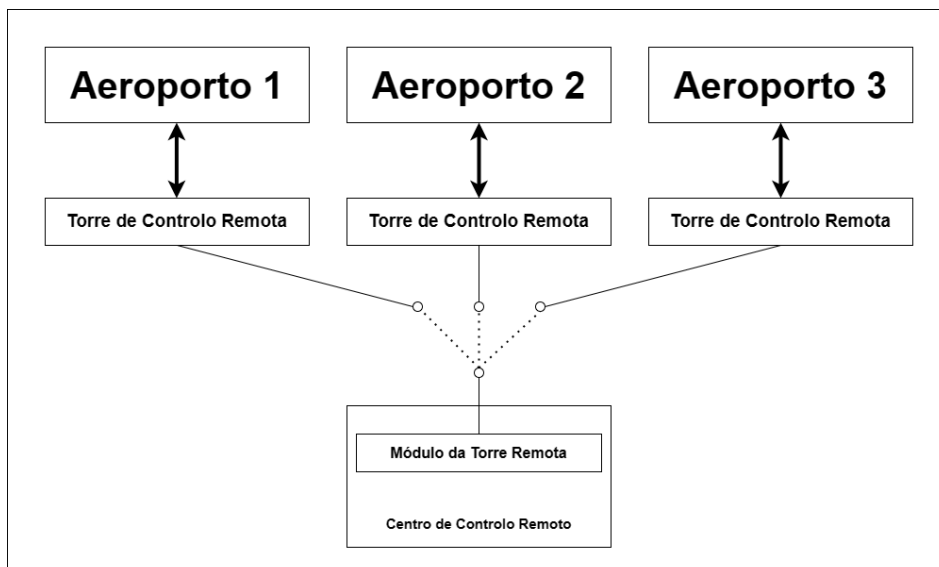


Figura 2.11: Topologia de controlo de 3 aeroportos de uma forma sequencial [9]

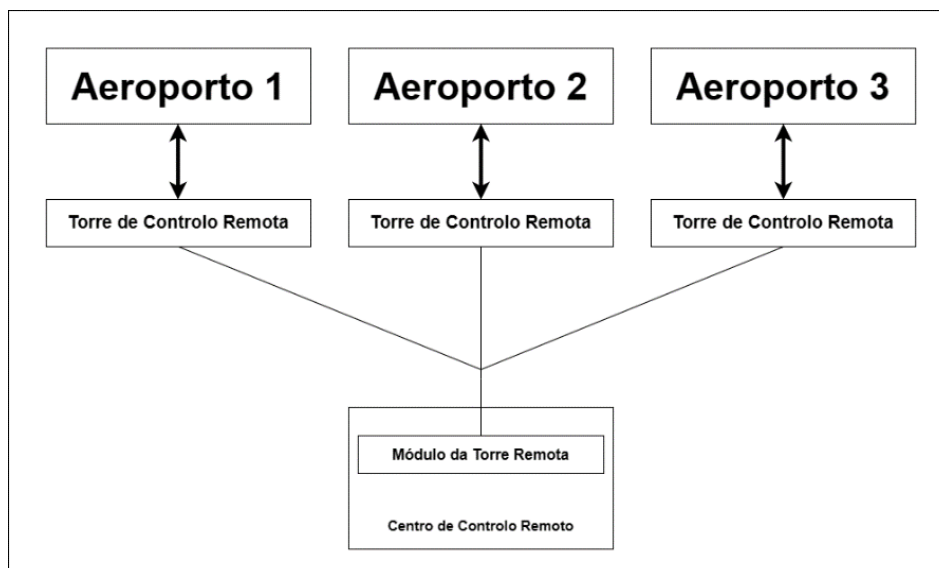


Figura 2.12: Topologia de controlo de 3 aeroportos em simultâneo [9]

A topologia apresentada na Figura 2.11 refere-se ao modo de operação onde o controlador tem apresentado apenas um aeroporto a cada momento, podendo alternar entre estes para seguir as operações de controlo de tráfego em cada um dos locais.

Já a Figura 2.12 refere-se ao modo de operação onde o controlador tem os 3 aeroportos visíveis ao mesmo tempo, controlando assim os 3 aeroportos simultaneamente [7], [9]. Um exemplo desta última topologia apresenta-se na Figura 2.13.



Figura 2.13: Imagem de um controlador de tráfego aéreo a controlar 3 aeroportos ao mesmo tempo [42]

Para além dos modos anteriormente apresentados, os sistemas de controlo remoto podem ser aplicados nas seguintes situações [50]:

- Substituir torres de controlo obsoletas;
- Fornecer o serviço de controlo de tráfego a aeródromos/aeroportos novos;
- Combinar 2 ou mais locais de controlo de tráfego num só;
- Ser uma ferramenta de treino para novos controladores de tráfego aéreo;
- Destinadas a tarefas de reprodução para fins de investigação.

2.3.4 Composição e componentes das torres remotas

Num projeto de instalação de uma torre de controlo remota, devem também ser considerados os seguintes aspetos básicos [9]:

- Suporte técnico ao equipamento instalado;
- A posição de trabalho do controlador;
- A transmissão dos dados entre o aeródromo e o centro de controlo.

O controlo do tráfego à distância é composto por 2 partes distintas, sendo elas o lado do aeroporto e o lado do CCR [10]. Os equipamentos e sistemas instalados têm de se complementar, pelo que existe uma arquitetura de sistema base apresentada, em conformidade com a Figura 2.14.

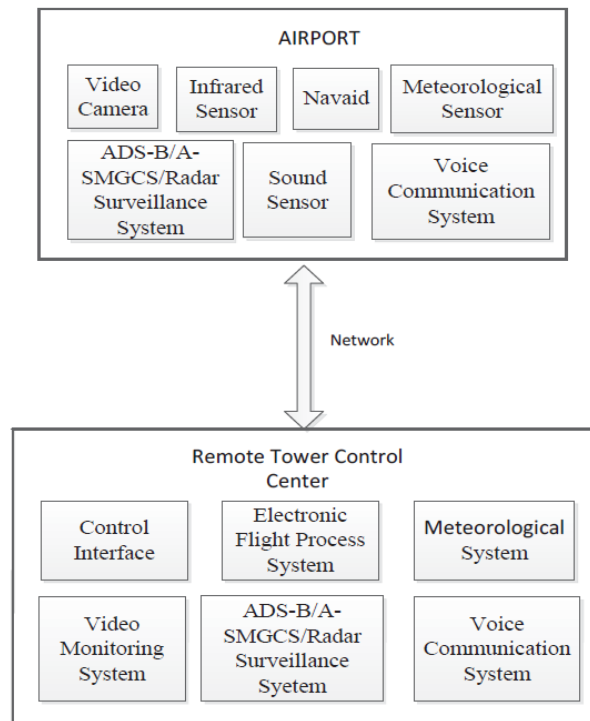


Figura 2.14: Arquitetura do sistema de uma torre de controlo remota [10]

Analisando o esquema do lado do *Airport* na Figura 2.14, doravante chamado de aeroporto, verifica-se que serão instaladas câmaras de vídeo, que captam as imagens que são enviadas para o CCR; um conjunto de sensores de infravermelhos, que auxiliam as câmaras óticas; os sistemas Navaid; os sistemas de vigilância (ADS-B/A-SMGCS/Radar); sensores meteorológicos e de captação de som; e um sistema de comunicação de voz terra-ar, para além dos de coordenação terra-terra, permitindo aos controladores estabelecerem a comunicação para os pilotos, bem com as entidades aeroportuárias [10].

Relativamente aos equipamentos associados ao aeroporto, são instalados nas TCR um *set* de câmaras tradicionais de alta resolução, bem como câmaras PTZ. O primeiro conjunto de câmaras, as panorâmicas, tem como propósito a criação de uma imagem 360 graus do aeroporto, permitindo ao controlador ter o mesmo campo de visão de uma TCT; o segundo conjunto de câmaras, as PTZ, são extremamente versáteis, já que podem rodar vertical e horizontalmente, permitindo localizar a imagem num determinado local que o controlador deseje, permitindo inclusive o foco num móvel/obstáculo em particular [6], [9]. Normalmente são, também, acoplados sensores de infravermelhos a estas câmaras, de forma a que se possa produzir imagens com uma elevada resolução e qualidade, mesmo em condições de baixa luminosidade ou em condições climatéricas adversas [9].

Adicionalmente, são instalados microfones para que os controladores de tráfego tenham uma perceção auditiva do que se passa no aeródromo, bem como sensores meteorológicos (para a caracterização das condições meteorológicas e para informação dos pilotos), além de um sistema de monitorização remota [50]. Outro equipamento que tem de ser instalado, para efeitos de segurança em emergências, é uma pistola de luzes de sinais remotamente controlada [50], [51].

Já no lado do CCR (caso o controlo seja feito fora do perímetro do aeroporto), é instalada uma interface de controlo de todas as câmaras, incluindo as PTZ (*pan-tilt-zoom*), e que aglomera todos os dados transmitidos do aeródromo; um sistema de gestão de tráfego aéreo, com ou sem EFPS; ecrãs que expõem os dados dos sistemas meteorológicos; e os terminais do sistema de comunicação de voz. No CCR é também instalado um sistema de monitorização do *live feed* das câmaras/sensores IR instalados nos aeródromos [10].

Os equipamentos aqui instalados têm de conseguir transmitir ao controlador as imagens e informações captadas pelas câmaras e sensores. Para tal, são instalados monitores de alta resolução, para apresentar as imagens transmitidas pelas câmaras, e sensores de infravermelhos, bem como as imagens transmitidas pelas câmaras PTZ [50]. No local de trabalho dos controladores tem, também, de ser instalado um sistema que transmita um

overview da pista do aeródromo, bem como um sistema de processamento de tráfego, que inclua as EFPS, caso seja aplicado [50].

Conjuntamente com todo o *hardware* referido, deve ser assegurada a instalação de um processador de dados de radar, com uma funcionalidade de *tracking* de um determinado alvo, bem como os controlos da pistola de sinais de luz e todos os alarmes de emergência, atualmente disponíveis para os controladores, além de um painel de controlo de luzes de pista [50].

Para a ligação entre o aeródromo e o centro de controlo, utilizar-se-á uma ligação de dados, preferencialmente com recurso a linhas dedicadas, de forma a reduzir os riscos de um ataque informático [10]. Por exemplo, no caso da TCR do aeroporto de London City, o prestador de serviço (*National Air Traffic Service*, NATS) procedeu à instalação de 2 linhas de fibra ótica dedicadas [52], [53], [54].

Transpondo para a realidade, existem várias empresas (*Original Equipment Manufacturer*, OEM) que produzem e instalam este tipo de torres. As diferenças entre os vários produtos assentam maioritariamente na quantidade e qualidade das câmaras instaladas, nos sensores disponíveis, bem como nos sistemas de suporte.

Um destes OEMs é a SAAB, que possui um longo histórico na área da aviação. Esta empresa sueca, fundada em 1937, começou por produzir aeronaves para a força aérea do seu país, tendo tido sucesso quase de imediato (muito devido à 2.^a guerra mundial), [55].

No que diz respeito aos componentes instalados pela SAAB AB, numa aplicação civil, e de uma forma muito sintética (ver Tabela A.1, no Anexo A.1) pode-se destacar [43]:

- Giraffe 1X detetor de aeronaves não tripuladas e de aves;
- Múltiplos 36 AEP;
- SUR sensors MLAT, ADS-B, SMR;
- Um conjunto de 360 AEP/MEP;
- Camaras PTZ (pan-tilt-zoom) com IR para completar a visão da placa;
- Sensores MET;
- Câmaras variadas.

Este conjunto de componentes integram um sistema escalável pelo que pode ser adaptado às necessidades do aeródromo, como pode ser analisado na Figura 2.15.

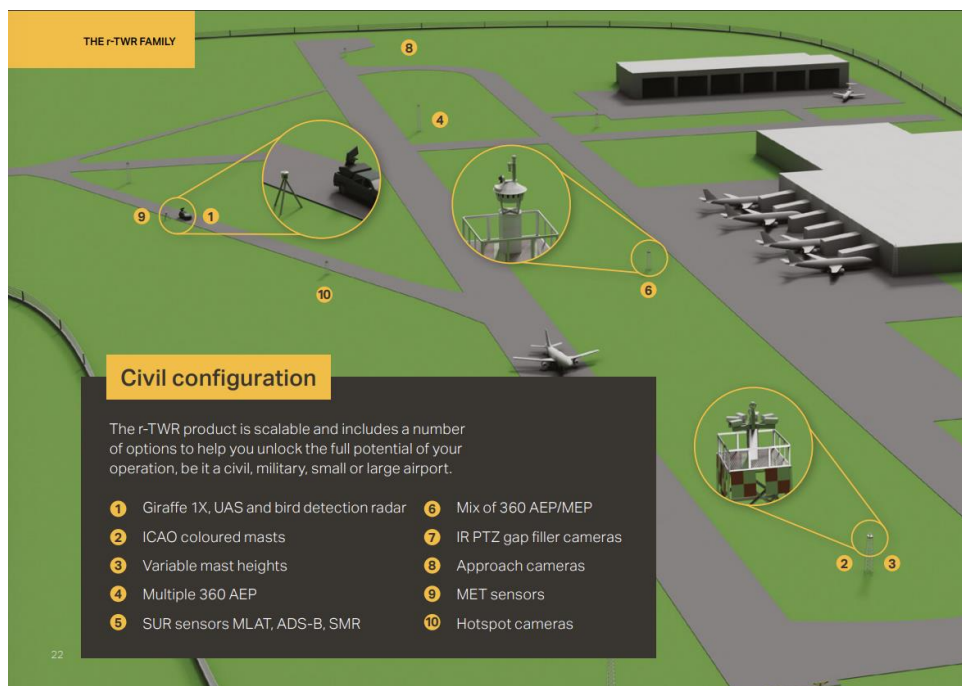


Figura 2.15: Exemplo dos componentes instalados num aeródromo [43]

No lado do CCR, a SAAB AB apresenta uma solução que, para além de servir posições de controlo, também tem posições de treino, de teste e de desenvolvimento. Como seria de esperar, os equipamentos e sistemas disponíveis aos CTAs são parecidos aos que estavam montados nas TCT, dos quais se destacam [43]:

- Sistema de teste e desenvolvimento (TDS, *test and development system*);
- Sistema de exportação de informação para as companhias de aviação;
- Gravação e reprodução de dados do controlo;
- Suporte integrado para controlo de UTM (*unmanned aircraft system traffic management*);
- Sistema de comunicação de voz;
- Controlos sobre as câmaras PTZ, com *box-and-follow* (enquadrar e seguir);
- Entre outros.

Um exemplo do ambiente que este OEM quer implementar nos CCR é aquele que se apresenta na Figura 2.16.

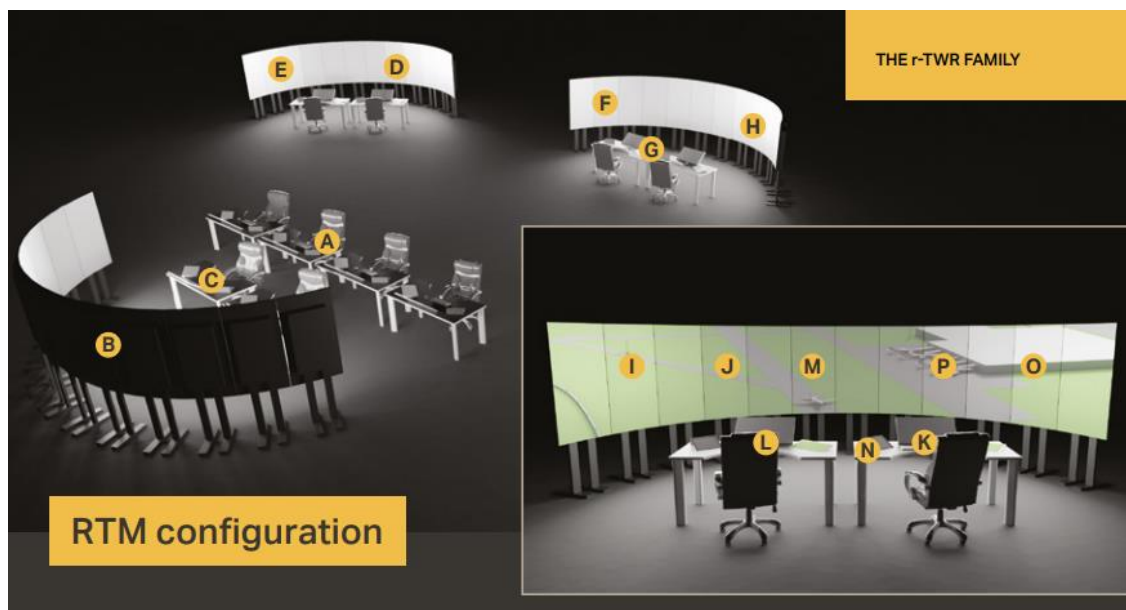


Figura 2.16: Exemplo de um centro de controlo de torre remota [43]

Nestes ambientes existe a necessidade de haver uma redundância em caso de emergências. A utilização dos equipamentos atrás mencionados permite que exista uma solução para outros sistemas de auxílio, tais como um sistema capaz de fazer um *overlay* das informações do voo diretamente na imagem [7], [10], [43].

Uma das características anunciadas pelos fabricantes, e que têm servido de base para os vários estudos feitos na matéria, é a capacidade de gravação e reprodução de todas as informações e ações que o controlador teve acesso [7]. Esta característica é interessante pois permite analisar como o tráfego foi controlado, bem como estudar certos voos mais em particular, servindo como treino base na formação dos CTAs, e em última instância pode servir como elemento de prova em caso de algum acidente [7], [43].

Além dos ecrãs que reproduzem a vista OTW, os controladores têm à sua frente um ecrã com a informação do sistema ATM, que integra as informações dos vários sistemas, nomeadamente, de vigilância [7].

Com uma mudança radical do paradigma do controlo do tráfego na pista do aeródromo, de uma atividade presencial para uma que é efetuada à distância e que depende mais de uma infraestrutura informática, a instalação de uma TCR é um veículo promissor para a instalação de certos equipamentos e sistemas que, até então, podiam ser vistos com algum ceticismo por parte dos controladores.

Dentro do leque de soluções disponíveis, aquela que tem tomado um especial foco é a que diz referência às EFPS, que substituem a versão análoga em papel. Sinteticamente,

apenas de referir que a informatização das EFPS permite ao controlador fazer as suas anotações de uma forma mais rápida, dentro de um sistema altamente tecnológico, além de garantir um modelo de organização mais simples [47]. A ligação da informação, junto com as imagens captadas nas torres remotas, permite correlacionar o tráfego e as informações da EFPS, sendo um auxílio ao controlador, identificando as aeronaves [5], [7], [10].

2.3.5 Tecnologias implementadas nas torres remotas

Com a apresentação dos vários elementos que compõem o sistema das torres remotas é imperativo uma apresentação das várias tecnologias-chave que são utilizadas.

2.3.5.1 Tecnologia de combinação de vídeo panorâmico

A tecnologia de combinação de vários vídeos num só panorâmico é algo essencial, pois a imagem transmitida para os ecrãs no CCR é a única ligação visual que o controlador tem com o aeroporto.

Como seria de esperar, o conceito da combinação de vários vídeos num só panorâmico tem a sua base na tecnologia análoga para as imagens. Atendendo ao elevado número de algoritmos existentes para a combinação de imagens, há vários estudos que trataram de discernir aqueles que devolvem as características pretendidas. Os algoritmos principais para a deteção de recursos na combinação de imagens foram o SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), o SURF (*Speeded Up Robot Feature*) e o ORB (*Oriented Fast and Rotated Brief*).

Relativamente aos métodos mais utilizados para a fusão de imagens, estes envolvem vários algoritmos, dos quais se destacam o algoritmo de multi-resolução de *splines*, média ponderada, e fusão de Poisson [10]. É, de referir, que destes últimos algoritmos, aquele que devolve os melhores resultados com pouco impacto computacional é o método de fusão de Poisson, que funciona com o gradiente entre a imagem original e a imagem de destino. O algoritmo analisa ambas as imagens e regula as características da imagem (como a iluminação), de forma a que o resultado seja consistente [10], [56].

Apesar dos algoritmos base, para a combinação de imagens, serem os mesmos utilizados para o processo em vídeo, existe um grande salto de complexidade, quer a nível da transmissão dos dados entre as TCR e o CCR, quer ao nível da computação [10]. A solução atualmente empregue a nível computacional é a utilização de uma arquitetura unificada, ou CUDA (*Computer Unified Device Architecture*) [10], [56].

2.3.5.2 Melhoria do vídeo para condições de baixa visibilidade

Tal como já fora exposto, o aspeto principal das TCR é a utilização de várias câmaras para proporcionar ao CTA a vista do aeroporto em questão, em qualquer condição meteorológica. Mas, como seria de esperar, com as mudanças de estação, meteorologia, e hora do dia, é necessário implementar alguns algoritmos que uniformizem a imagem captada. De várias opções disponíveis, o algoritmo que tem tomado um lugar de destaque designa-se por Retinex [10]. Este algoritmo possui várias escalas, mas a mais estudada é a MSR, ou *multi scale Retinex*, já que é uma escala que funciona melhor com a arquitetura unificada, anteriormente já apresentada [10].

2.3.5.3 Detecção de objetos em movimento

Um elemento bastante difundido pelos vários OEMs é a deteção de objetos em movimento, e que têm no seu leque de soluções as TCR [44], [46], [48]. Esta tecnologia visa a deteção de veículos (aviões e meios terrestres) e de pessoal a partir das imagens transmitidas pelas câmaras [10]. Para tal, os algoritmos a implementar nesta têm de ter a capacidade de extrair e marcar zonas de movimento [10].

Desde os algoritmos, que numa forma simples, detetavam apenas movimentos, não diferenciando os elementos, evoluiu-se até um novo paradigma em que partindo das características da pista, da zona de táxi e, utilizando o princípio de que se um objeto de interesse é grande, também a sua distância o é, foi proposto um algoritmo de limite duplo entre a deteção de potenciais alvos e a segmentação entre eles [10].

Mas nos últimos anos, tanto a comunidade académica, como os especialistas nas TCR têm estudado a possibilidade de combinar os conceitos de *deep learning* e deteção de dados, uma vez que surgiram dois novos tipos de algoritmos, o YOLO (*You only look once*) e o SSD (*Single shot multi box detector*) [10].

Apesar de apresentar resultados promissores, a deteção de objetos pequenos pelo SSD é má, pelo que a instalação de tal algoritmo no sistema de monitorização da torre não é aconselhada. Já o YOLO começa por utilizar a imagem toda, procedendo à identificação das regiões limítrofes, e depois analisa o resto da imagem. Isto melhora consideravelmente a deteção de objetos pequenos, além de garantir uma computação menos pesada [10].

2.3.5.4 Tecnologia de fusão de dados de vigilância

A tecnologia de fusão, também designada por algoritmo de fusão de dados de vigilância, é o elemento mais desenvolvido e mais maduro instalado nas TCR. O conceito é de

elevada importância, já que permite a fusão de dados de vários equipamentos de vigilância, onde se incluem os dados obtidos dos radares, do ADS-B e multilateração (sistema hiperbólico) [10].

A fusão de dados de vigilância, como os apresentados anteriormente, permite que com as capacidades computacionais disponíveis se possa combinar estes dados com a imagem transmitida ao controlador e, assim, identificar a aeronave em questão. Isto acaba por tornar a operação do controlador mais simples, já que identifica a aeronave mais facilmente [10].

2.3.6 Ambiente de trabalho dos controladores de tráfego aéreo

Apesar de, na sua essência, a atividade dos controladores de tráfego se manter inalterada, a forma com que estes trabalhadores atuam é radicalmente alterada com a introdução das TCR.

Como se trata de uma mudança de paradigma, algo radical para os controladores, um dos focos dos investigadores passa por entender quais são os aspetos mais complicados que surgem da utilização deste sistema por parte dos CTA, bem como estudar os aspetos que podem ser melhorados, segundo estes trabalhadores [3], [37], [39], [40], [50]. Outro foco de estudo envolve a colocação dos controladores em situações similares às reais (simulações com base em dados reais), com o intuito de entender quais os aspetos mais críticos na atuação dos mesmos num ambiente distinto do que estavam habituados [5], [6], [57]. Para tal, os estudos envolvem CTAs com variados níveis de experiência, usando treino real por forma a capacitar os CTAs de uma dinâmica mais proativa na resolução de problemas.

Um desses estudos, desenvolvido por Josefsson et al., [37], tem como objetivo principal a otimização dos recursos humanos, tendo por base um estudo de relação entre a carga de trabalho do controlador e várias situações que, apesar de se assemelharem a situações em que previamente os CTA atuavam, a inclusão do elemento da TCR pode alterar por completo a forma de atuar destes trabalhadores. Este estudo é deveras importante pois permite verificar a viabilidade do controlo de várias TCR por apenas 1 CTA [37].

O estudo efetuado por Gawade et al., [50], teve como principal foco a avaliação das possíveis vantagens e desafios que as TCR trazem, sob a forma de questões aos CTA. Fazendo uma análise aos resultados propostos pelos investigadores, no que diz respeito à complexidade que este sistema adiciona ao controlo do tráfego, verifica-se que em algumas situações os controladores sentiram que o controlo a partir das TCR será mais

complexo. Tome-se 2 exemplos onde houve uma maioria de resultados negativos: um relacionado com a questão do elevado volume de tráfego e, outro com a falta de familiarização dos CTAs com este sistema inovador. Estas são 2 situações críticas para o bom funcionamento do aeródromo, pois têm um grande peso nesta análise [50].

Gawade et al., [50], no seu artigo expõe, também, algumas alterações que foram verificadas na atividade dos CTA e que melhoraram a proficiência deste tipo de profissional. Alguns destes aspetos incluem a transmissão dos sons que se ouvem no aeródromo, gravados com um microfone e reproduzidos por um *headset* (ou por colunas); a substituição dos binóculos por uma câmara PTZ; as melhorias na imagem transmitida aos controladores, com auxílio a câmaras de infravermelhos; a gravação e reprodução de vídeo, áudio e informações de voo no centro de controlo remoto; a capacidade de *tracking* dos alvos; entre outras mudanças.

A gravação e transmissão do áudio do aeroporto é uma característica de elevada importância, já que para além das informações visuais, os CTA baseiam-se, também, no som para poderem realizar a sua atividade exemplarmente. Os controladores, com a perceção auditiva, conseguem entender e discernir situações que mereçam mais a sua atenção, como situações em que uma zona do aeroporto que não esteja sob o olhar direto do CTA. Tome-se como exemplo uma saída de pista (ou *runway excursion*), em que o controlador, através da audição, consiga entender que ocorreu algo e, portanto, direcionar o seu campo de visão para a referida zona [50].

Igualmente importante é a utilização de uma câmara PTZ em vez de binóculos. Apesar de este equipamento trazer uma capacidade acrescida de imagem quando comparado com os binóculos, alguns controladores, numa fase inicial, fazem alguma resistência ao conceito [50]. No entanto, esta tecnologia permite uma integração com os vários sistemas implementados, como o *tracking* dos voos (permitindo um foco automático na aeronave que se encontra a aterrar ou a descolar), bem como com as informações de voo (caraterística que está a ser anunciada quer pela SAAB, quer pela Frequentis AG, quer por outros OEM) [44], [46], [58], [59].

Tal como fora apresentado num subcapítulo anterior, o ambiente dos CTA nos CCR, também, sofre uma alteração na forma como organizam os voos que operam. Esta alteração vem da mudança das fitas de progresso de voo físicas pelas EFPS, que além de adicionarem ao sistema de controlo a capacidade de ter as informações mais atualizadas, permitem outros tipos de cooperação entre os controladores.

Na Figura 2.17 apresenta-se um exemplo das fitas de progresso de voo.



Figura 2.17: Fitas de progresso de voo físicas [60]

Relativamente à integração com os vários sistemas, as EFPS permitem, que com as alterações que o controlador de tráfego efetua (hora de chegada, por exemplo), a informação seja exposta na imagem e para os ecrãs, fazendo um *overlay* sob os aviões e, assim, tornar mais perceptível ao controlador as alterações efetuadas [61]. Isto correlaciona-se com o sistema de *tracking* das aeronaves. Uma das vantagens apontadas é o aumento da capacidade de informação disponível para o CTA, como pode ser visto na Figura 2.18 [47].

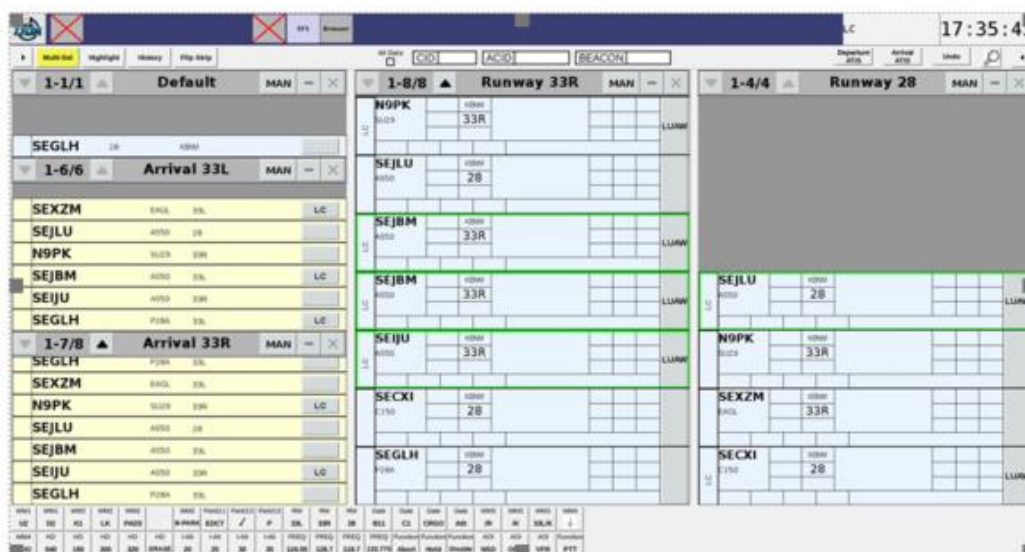


Figura 2.18: Vista de um potencial software de fitas de voo eletrónicas [62]

Os CTA ao transitarem das TCT para um OTR veem a sua atividade alterada por completo, bem como o seu ambiente de trabalho.

Aqui, os vários estudos justificam que os CTA não conseguem compactuar com o caso em que nos 2 aeródromos existam situações críticas. Tomando como referência o estudo de Josefsson et al., [37], verifica-se que estas situações estão sempre associadas a movimentos críticos das aeronaves nas pistas. Por outras palavras, quando uma aeronave se encontra num vetor de aproximação de um aeródromo, e existe uma situação de conflito noutra aeródromo, os controladores podem não conseguir responder adequadamente a ambos os casos [37]. Este exemplo, acompanhado de tantos outros, demonstra a necessidade de integrar e treinar os controladores nesta tecnologia, além de ter em conta que podem existir situações onde a necessidade de um controlador adicional seja imperativa [37].

2.3.7 Vantagens do uso das torres de controlo remotas

A introdução das TCR teve como principal objetivo racionalizar a operação em aeródromos de baixa movimentação [1]. A par deste objetivo, surgiram, também, as seguintes vantagens [7], [9]:

- Diminuição de custos: sendo este um dos suportes das TCR, a redução dos custos de operação e de manutenção nos aeródromos com pouca movimentação. Nestes aeródromos, como a movimentação é baixa, não é economicamente viável manter uma torre de controlo física, bem como toda a infraestrutura de suporte;
- Aumento da flexibilidade do serviço de controlo do tráfego: as horas de abertura de um aeródromo podem ser ajustadas, dependendo da densidade de tráfego, com a utilização deste sistema;
- Restaurar o serviço em aeródromos de difícil acesso: aeródromos cujo acesso seja difícil, ou cujas condições climatéricas não sejam as mais favoráveis, beneficiará deste sistema, já que restaura o serviço de controlo de tráfego;
- Posição de contingência em grandes aeroportos: A instalação de uma TR num grande aeroporto pode ser vantajosa, em situações onde o controlo a partir da TCT não seja possível, servindo assim de uma posição de contingência.

Além dos aspetos apresentados, a comunidade científica apresenta, também, o argumento da possibilidade de, num aeroporto de grandes dimensões, existir uma posição adicional de controlo à distância, podendo esta ser benéfica em situações em que haja ocorrências críticas em 2 ou mais locais controlados. No entanto, no contexto atual, esta solução não parece ser considerada por ninguém da indústria [7], [9].

Considerando as vantagens expostas, podem-se colocar alguns cenários onde a utilização das torres remotas pode ser uma mais-valia.

Atualmente, existem aeroportos com diferentes condicionantes aliadas a 2 fatores. Estes fatores são de naturezas diferentes, em que um deles é, literalmente, burocrático e tem a ver com o horário de funcionamento do mesmo, não permitindo a partir de uma determinada hora, mesmo em condições atmosféricas ideais, que seja utilizado. O segundo fator está ligado a condições ambientais, em que a visibilidade reduzida, ocasionada por um forte nevoeiro, limita a ação do CTA, o que com a utilização de tecnologias remotas poderia permitir a utilização do mesmo aeroporto em segurança [7].

2.3.8 Desafios principais na implementação das torres remotas

Um dos principais desafios na implementação de TCRs é a integração de toda a tecnologia ao dispor dos CTAs, bem como ultrapassar “os velhos do restelo” que continuam resistentes à mudança.

Um dos grandes desafios que as torres remotas enfrentam é o facto da regulamentação emitida, por parte das entidades oficiais (FAA, EASA, ICAO (International Civil Aviation Organization)) [10], ser recente e não ser uniforme em todas o que leva a uma resistência por parte das entidades que podem ter poder de decisão na implementação das TCRs.

A ICAO possui, apenas, alguma documentação que identifica o conceito, além de apresentar uma pequena lista dos elementos associados das TCR [63].

A FAA, no quadro do programa NextGen, apresentou vários documentos que regulam a operação das torres remotas, bem como os testes a serem conduzidos em território norte-americano. Estes documentos incluem o conceito de operações (que descrevem, por exemplo, as entidades autorizadas a operarem nas torres remotas, bem como a operação propriamente dita) [33], os requisitos operacionais e visuais (expõem as necessidades visuais que os operadores terão de ter) [34], os requisitos técnicos das torres remotas (expõem os requerimentos mínimos funcionais e de desempenho requeridos) [32], entre outros [31].

Já a EASA possui um conjunto de documentos, que servem de guia para a implementação das torres remotas num modo geral e em funcionamento em modo singular [35], [36]. Além destes documentos, a autoridade europeia disponibilizou um conjunto de regras básicas que as empresas têm de seguir aquando da implementação das torres remotas [64].

Outro desafio patente é o que está relacionado com a segurança e com a fiabilidade do sistema em si.

De igual forma, a introdução deste tipo de equipamentos implica a determinação de procedimentos para a manutenção dos mesmos, garantindo a sua fiabilidade bem como em caso de necessidade a sua redundância.

Outro desafio a ter em conta é a questão da fiabilidade da transmissão de dados pela rede. Este é um tópico bastante importante, já que um ataque informático seria catastrófico. Qualquer falha, seja ela de equipamento ou de rede, coloca a segurança do controlo de tráfego em perigo [10]. De forma a colmatar o problema, tem-se a solução que foi aplicado no aeroporto de *London City*, ou seja, uma ligação de fibra ótica (ligação de alta-velocidade de dados) dedicada à transmissão dos dados, não necessitando de estes passarem por um serviço on-line [8], [53], [54].

O treino dos controladores nesta nova tecnologia é de suma importância, já que o ambiente é totalmente diferente, por muito que se tente aproximar da realidade, levando a que as decisões sejam tomadas remotamente promovam todas as obrigações inerentes ao trabalho dos CTAs, cumprindo todas as regras e procedimentos de segurança, garantindo igualmente a integridade psicológica do controlador.

2.4 Casos internacionais

A maior parte da bibliografia existente sobre o presente tema assenta num conjunto de torres de teste que estão atualmente em funcionamento.

Como fora aferido no capítulo anterior, a primeira torre de controlo remota a ser instalada foi em 2005 no aeroporto de Braunschweig, na Alemanha [49]. Esta torre serviu como protótipo, pois foi nesta que se estudou a viabilidade do conceito, quer em termos técnicos, bem como em termos operacionais [49].

Esta primeira torre foi um sucesso, despertando o interesse de várias entidades a nível mundial nos primeiros anos (2005 a 2010), levando ao desenvolvimento do conceito para os moldes dos dias de hoje.

Entidades como a LFV (Administração da Aviação Civil Sueca) e a DFS (Deutsche Flugsicherug GmbH), congéneres à NAV Portugal, foram fulcrais para o desenvolvimento desta tecnologia, pois para além de possuírem interesses gerais em jogo, levaram outros OEMs a desenvolver as suas soluções, de forma que se possa ter uma grande variedade de opções.

2.4.1 Torres de controlo remotas atualmente em funcionamento

Atualmente, embora existam várias TCR em funcionamento, a sua atividade está limitada devido à uma ausência de regulamentação por parte do organismo regulamentador, ICAO, o que resulta que as entidades competentes tenham apenas documentação de referência.

Algumas das torres em funcionamento são:

- Røst, Noruega – Desde outubro de 2019;
- Saarbrücken, Alemanha – Desde dezembro de 2019;
- Vardø, Noruega – Desde outubro de 2020;
- *London City*, Reino Unido – Desde abril de 2021.

No aeroporto de Braunschweig-Wolfsburg irá ser instalado um CCR, que servirá tanto este, como o aeroporto de Emden, no norte da Alemanha. Este será o primeiro CCR na Alemanha que combinará o serviço de informação de voo com o controlo remoto de 2 aeroportos. Este CCR junta-se ao instalado em Leipzig, que se encontra em funcionamento há mais de 4 anos. O CCR de Braunschweig irá entrar em funcionamento a partir de meados de 2024 [65], [66].

Já na Noruega, o principal motivo por de trás da implementação das TCR é do desejo por parte da entidade de controlo de tráfego aéreo, Avinor, de estender o controlo a aeroportos não controlados. Neste país, as TCR são controladas por um conjunto de CCRs, incluindo o maior do mundo, controlando 15 TCRs [67], [68].

Apesar de os aeroportos estarem dotados teoricamente do conjunto de tecnologias que permitem funcionar as TCRs, como já foi referido, devido à ausência de legislação competente, a maioria destes aeroportos continuam a ser controlados a partir de uma TCT.

Outro aspeto a referir é, apesar das várias notícias publicadas sobre os CCR, nenhuma se debruça efetivamente nas TCRs. Isto traduz-se numa falta de informações para efeitos de comparação com o estudo que se pretende efetuar. O único aeroporto cujas informações são algo difundidas, e que é atualmente o único de média dimensão a ser controlado exclusivamente por uma TCR é o aeroporto da Cidade de Londres, ou London City (IATA: LCY, ICAO: EGLC).

2.4.2 O caso do aeroporto da Cidade de Londres

Atualmente existe um aeroporto de pequena/média dimensão a ser controlado exclusivamente por esta solução, sendo este o aeroporto de *London City*, como pode ser verificado na Figura 2.19.



Figura 2.19: Vista da torre de controlo tradicional à direita, fora de uso, e a nova torre de controlo remota à esquerda [69]

O propósito da instalação desta torre deveu-se muito ao facto de o sistema antigo estar obsoleto, com mais de 30 anos, não estando de acordo com os requisitos do aeroporto, pelo que era necessário substituí-lo. Esta torre de controlo remota entrou em funcionamento pleno a 30 de abril de 2021, numa altura onde as restrições impostas por causa da pandemia COVID-19 estavam a ser levantadas, e se esperava um retomar do número de voos verificados em 2019 [52].

Este foi o primeiro aeroporto *mainstream* do mundo a ser controlado exclusivamente à distância, com recurso à solução das TCR e, assim, foi considerado como sendo a “prova de fogo” do conceito.

A afirmação de que foi a prova de fogo assenta no facto que entrando em funcionamento num período em que vigoravam leis de contingência associadas ao COVID-19, onde desempenhou com distinção os serviços que lhe eram confiados, com a emergência do ano 2022 e com a abertura total das restrições impostas, o seu funcionamento continuou a ser exemplar mesmo com o contínuo crescimento do número de voos diários, ultrapassando os números de 2021, com mais de 11000 passageiros por dia, com 180 rotações diárias [8].

Caraterizando a torre, esta foi criada e implementada pela SAAB, tendo sido edificado uma torre com 50 metros de altura propositadamente para alojar este novo sistema, bem como foram instalados os escritórios do centro de controlo remoto em Swanwick, Hampshire, a 115 quilómetros de distância do aeroporto [53], [54].

Analisando a torre propriamente dita, esta é constituída por 2 secções: a primeira, com uma altura de 14 metros, onde se encontra a entrada com níveis de segurança elevados, bem como toda a infraestrutura necessária para transmitir os dados obtidos pelas câmaras para o centro de controlo remoto; e a segunda parte, com uma altura de 36 metros, onde se encontra o mastro de suporte para as câmaras [54].

Relativamente à constituição deste sistema, foram instaladas 14 câmaras fixas do tipo OTW, que devolvem uma imagem 360° de alta qualidade, bem como 2 câmaras PTZ [54]. É de referir que relativamente à limpeza das lentes, estão instalados nas várias câmaras sistemas de ar comprimido, mas que periodicamente estas são limpas por uma equipa especializada [54]. Tal como seria de esperar, a ligação entre o centro de controlo remoto e a TCR é feito com recurso a uma ligação dedicada, constituída por uma ligação direta por fibra ótica, aumentando assim as camadas de cyber-segurança necessárias para uma operação eficiente e eficaz [52], [53].

Por fim, e tendo em conta que um dos aspetos mais atraentes desta solução é o baixo custo quando comparado com a solução tradicional, para o aeroporto de *London City* esta instalação (na qual se inclui o design e a construção da infraestrutura de suporte da torre, como visto na Figura 2.19) rondou as 20 milhões de libras esterlinas, ou seja, aproximadamente 23 milhões de euros.

Relatos de controladores envolvidos com a TCR afirmam que esta solução permitiu melhorar a eficiência da atividade, bem como permite que os controladores disponham de uma maior quantidade de dados para poderem proceder à sua atividade [52].

2.5 Conclusão

Neste capítulo, foi apresentada uma breve história das torres de controlo de tráfego aéreo, desde as suas origens até aos dias de hoje.

Foi igualmente introduzido o conceito de torres de controlo remotas que serão uma solução inovadora e eficiente para gerir o tráfego aéreo em aeroportos de baixa densidade ou complexidade.

As torres de controlo remotas funcionam através de um sistema integrado de câmaras; sensores, radares e comunicações que transmitem as imagens e os dados do aeroporto para um centro remoto, onde os controladores de tráfego aéreo operam em tempo real com uma visão panorâmica do espaço aéreo e da superfície do aeroporto.

Esta arquitetura oferece diversos benefícios, como redução de custos, melhoria da visibilidade e flexibilidade operacional. Além disso, as torres de controlo remotas podem ser aplicadas em diferentes cenários, como substituição ou complemento das torres tradicionais, ou como contingência em caso de falha ou indisponibilidade das mesmas.

No entanto, também apresentam alguns desafios, como questões técnicas, regulatórias e humanas.

Por fim, foram apresentadas algumas aplicações atualmente em funcionamento, como na Noruega ou na Alemanha, e foi detalhada a torre de controlo remota instalada no aeroporto de *London City*.

Capítulo 3

3 Caso de Estudo

3.1 Introdução

Com a emergência das novas tecnologias e com a inclusão destas no mundo da aviação, as TCRs sofreram também um benefício na sua evolução, encontrando-se num estágio elevado de evolução, devendo-se ao facto, principalmente, da vontade que as empresas de controlo do tráfego aéreo têm em encontrar soluções que lhes permitam otimizar os recursos disponíveis, além de permitir dotar inúmeros aeródromos de uma capacidade operacional que, até então, seria dispendiosa. Além de ser uma solução menos dispendiosa, as TCR permitem o controlo em aeroportos de difícil acesso que, até então, não seria possível em muitos casos (como na Noruega, [68]).

Tal necessidade impulsiona os OEMs em testar e apresentar equipamentos e sistemas novos com alguma periodicidade, tornando as soluções atualmente implementadas obsoletas num prazo de anos ou mesmo meses.

O estudo desta solução em território nacional constitui um assunto de elevada importância, principalmente na questão da otimização de recursos. Muitos aeródromos nacionais ou não se encontram em pleno funcionamento, por falta de CTAs, ou o seu funcionamento poderia ser otimizado, quer em termos operacionais, mas também orçamentais. A instalação de um conjunto de TCR permitiria à empresa de controlo de tráfego aéreo nacional (NAV Portugal) estender a sua esfera de atuação.

No caso português, o local de eleição para instalar a primeira TCR será na região autónoma dos Açores. O arquipélago caracteriza-se, no que toca à aviação, por ser extremamente sazonal, ou seja, durante o ano tem períodos de elevado tráfego, mas também tem alturas onde este é menor. Tal variação é originada por questões turísticas, atividade característica dos Açores.

O principal objetivo deste capítulo é a introdução da região a estudar, com especial interesse nos aeroportos que serão alvo, por parte da NAV, da instalação de várias TCR. A caracterização da região é importante, pois permitirá determinar quais os equipamentos a instalar.

O estudo a realizar assenta em 3 partes distintas, onde se procede à análise dos aspetos operacionais e económicos. Cada uma destas partes passa-se a expor abaixo.

A primeira parte do estudo assenta na análise ao número de movimentos em cada um dos aeroportos, e num CCR hipotético. Isto permitirá conferir se algum dos aeroportos excede os limites impostos e, assim, conferir se os aeroportos escolhidos estão aptos para albergar uma TCR.

A segunda parte do estudo envolverá a análise ao número de CTAs necessários em cada turno. Este estudo é importante, pois permitirá compreender se existe alguma possibilidade de otimizar os RH disponíveis.

A última parte deste estudo envolverá a análise da viabilidade económica da implementação das TCR, em detrimento das TCT. Para tal, o estudo passará pela comparação dos custos de implementação, Capex, das TCT e das TCR, bem como a análise dos custos de operação, Opex, de ambas as soluções. Este estudo permitirá entender se existe uma viabilidade económica na implementação desta nova solução.

Por fim, o último estudo envolverá a análise da viabilidade económica da implementação das TCR, em detrimento das TCT. Para tal, o estudo passará pela comparação dos custos de implementação, Capex, das TCT e das TCR, bem como a análise dos custos de operação (Opex) de ambas as soluções. Este estudo permitirá entender se existe uma viabilidade económica na implementação desta nova solução.

Para cada um destas partes será apresentada uma metodologia a aplicar num capítulo posterior.

3.2 Caracterização do arquipélago dos Açores

A análise às características geográficas e meteorológicas da região permite compreender os desafios que os CTAs passam durante o seu horário de laboração. Tais desafios mantêm-se aquando da instalação das TCRs, apesar de poderem ser colmatados com recurso às potencialidades dos equipamentos instalados.

A região autónoma dos Açores encontra-se localizada no Norte do Oceano Atlântico, e o arquipélago é constituído por 3 grupos (ocidental, central e oriental), com a distribuição seguinte:

- Grupo ocidental:
 - Corvo;

- Flores;
- Grupo central:
 - Faial;
 - Graciosa;
 - Pico;
 - São Jorge;
 - Terceira;
- Grupo oriental:
 - Santa Maria;
 - São Miguel.

As ilhas que serão objeto de estudo são as de Santa Maria, Faial, Flores e São Miguel, onde estão localizados os aeroportos de Santa Maria, Horta, Flores e Ponta Delgada, respetivamente. Na Figura 3.1 apresenta-se um mapa da região.

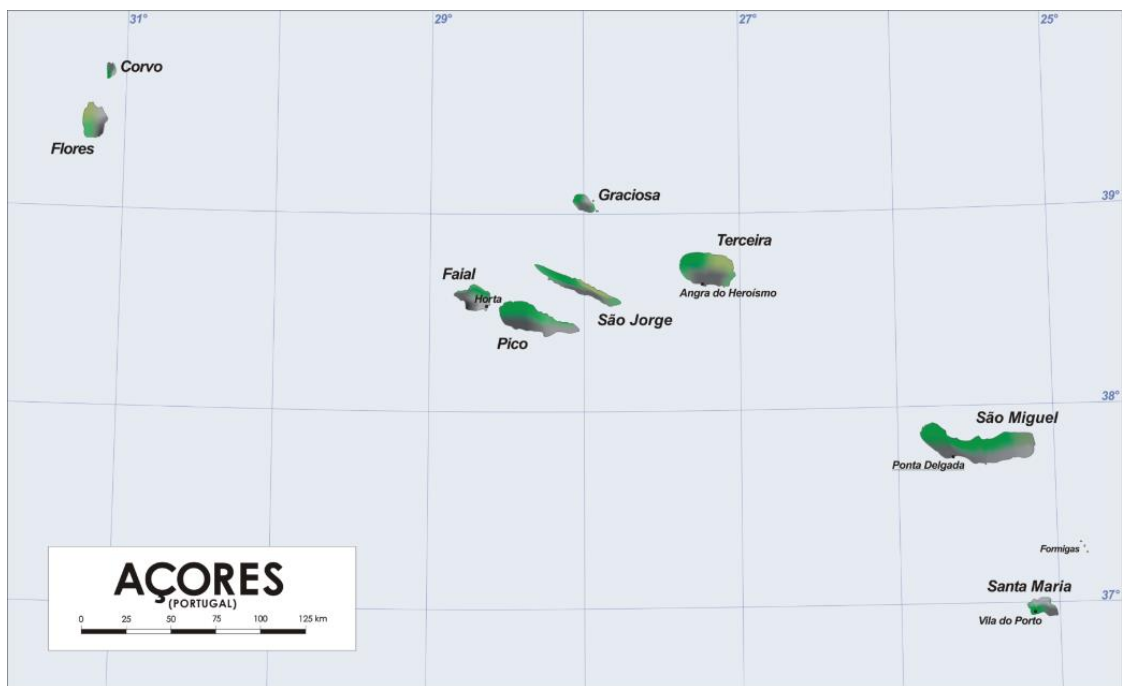


Figura 3.1: Mapa do arquipélago dos Açores [70]

3.2.1 Caracterização da ilha de Santa Maria

A ilha de Santa Maria, como apresentado anteriormente, pertence ao grupo oriental do arquipélago, sendo este o corpo mais a sul e a oriente da região [71], [72].

3.2.2 Caraterização da ilha do Faial

A ilha do Faial situa-se no grupo central, tendo como ilhas mais próximas as de São Jorge e do Pico. A capital desta ilha é a cidade da Horta, berço do poder legislativo do arquipélago [73], [74]. O aeroporto instalado na ilha é o aeroporto da Horta.

3.2.3 Caraterização da ilha das Flores

A ilha das Flores é, de todas as ilhas, aquela que se situa mais ocidental, o que a torna no território mais ocidental da Europa. Como fora apresentado, a ilha das Flores enquadra-se no grupo ocidental em conjunto com a ilha do Corvo. A ilha é relativamente pequena, com uma área de 144 quilómetros quadrados [75], [76].

3.2.4 Caraterização da ilha de São Miguel

A ilha de São Miguel situa-se no grupo oriental do arquipélago dos Açores em conjunto com a ilha de Santa Maria, a 81 quilómetros de distância. A ilha de São Miguel é a maior ilha do arquipélago, tendo como sua capital a cidade de Ponta Delgada, cidade esta que também é capital do arquipélago e do poder administrativo [77], [78].

Relativamente ao aeroporto instalado nesta ilha, o Aeroporto de Ponta Delgada/João Paulo II, este é o maior aeroporto da região, servindo em grande parte como porta de entrada para o arquipélago [79], [80].

3.3 Caraterização dos aeroportos da região

Dado a que o principal foco de estudo são os aeroportos da região, uma caraterização destes permite compreender não só a história, mas também a evolução do número de movimentos e passageiros que transitaram neles, permitindo uma análise mais precisa das vantagens que a instalação das TCR trazem aos aeroportos, bem como entender se tal instalação se justifica.

3.3.1 Aeroporto de Santa Maria

Este aeroporto, localizado na ilha de Santa Maria, foi inicialmente construído durante a Segunda Guerra Mundial, onde servia de aeroporto de suporte para a base aérea das Lajes. Esta instalação teria como principal missão a proteção dos comboios marítimos entre os EUA e o porto de Murmansk na União Soviética. Esta proteção era particularmente crítica na região dos Açores, pois era nesta zona em que os U-Boot da Alemanha Nazi tinham uma ação agressiva, dizimando os navios dos Aliados. A utilização militar ocorreu entre 1944 e 1946, tendo-se realizado um conjunto de melhorias quer nas pistas, quer a nível equipamentos necessários para o controlo do tráfego aéreo [81], [82], [83].

Entrando na operação civil, este aeroporto teve uma elevada importância entre meados da década de 1940 e meados da década de 1970, onde os voos transatlânticos necessitavam quase sempre de fazer escala técnica no arquipélago, o que contribuiu positivamente para o crescimento económico da ilha, mas, trouxe uma dependência dos ilhéus relativamente ao aeroporto [81], [82].

Com a introdução de novos motores a jato mais eficientes (entre a década de 1970 e a de 1980) a necessidade de uma escala a meio caminho da rota transatlântica começou a diminuir, verificando-se então um decréscimo no número de movimentos neste aeroporto [81], [82].

Com o crescente interesse turístico da zona, o número de passageiros tem vindo a aumentar com os anos, como se pode verificar no Gráfico 3.1. Esta tendência segue a evolução do número de passageiros transportados a nível mundial. No entanto, o número de passageiros em trânsito, ou seja, que utilizam este aeroporto como escala, tem diminuído ao longo dos anos.

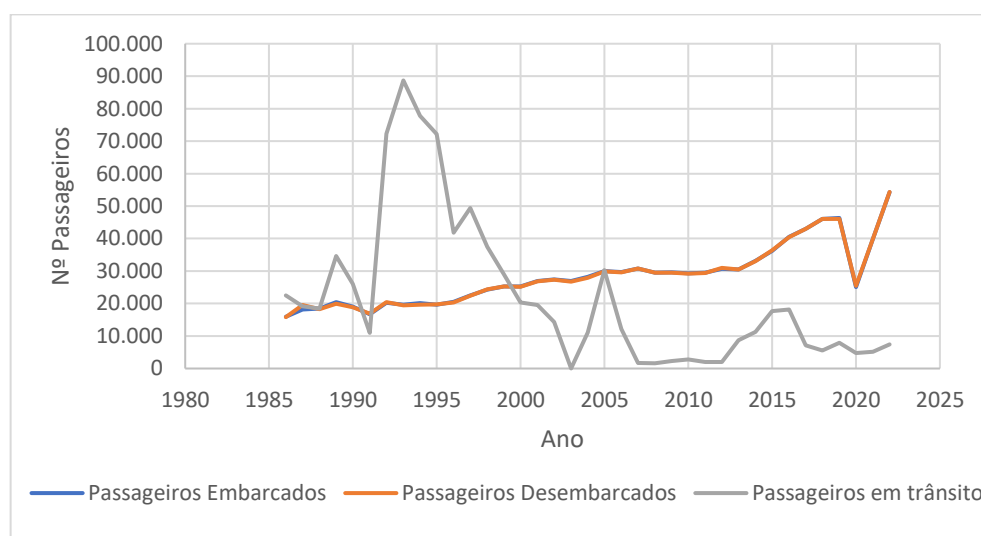


Gráfico 3.1: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto de Santa Maria, de 1986 a 2022 [84]

É no ano de 2020 que se verifica uma diminuição considerável do número de passageiros transportados. Esta diminuição tem a ver com a pandemia COVID-19, e as restrições impostas na livre circulação dos passageiros.

Analisando a utilização mensal, o número de passageiros relaciona-se com a principal atividade da ilha, sendo ela o turismo. Esta atividade justifica a sazonalidade, como se pode conferir no Gráfico 3.2. Para tal, utilizam-se os dados do ano 2022, que já não estão sujeitos às implicações da pandemia COVID-19.

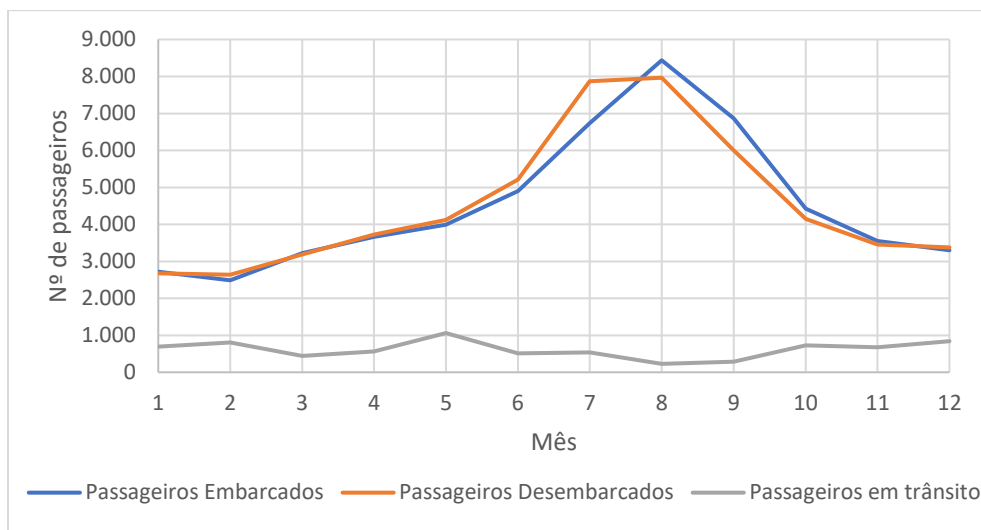


Gráfico 3.2: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto de Santa Maria [84]

Apesar de o número de passageiros devolver uma ideia dos movimentos nesta ilha, mais adiante serão apresentados os dados obtidos desta métrica.

3.3.2 Aeroporto da Horta

O aeroporto da Horta, localizado na ilha do Faial, é um aeroporto com elevada importância para as ilhas circundantes (São Jorge e Pico), já que garante a ligação direta entre as ilhas e o resto do arquipélago, bem como com a capital, Lisboa [85], [86].

Este aeroporto é constituído apenas por 1 pista, de asfalto, com um comprimento de 1595 metros, que atualmente se encontra em projeto de expansão, tendo como objetivo o aumento do comprimento da pista para 1700 metros, tornando-a assim mais segura para aeronaves de média dimensão tais como os Airbus A319 e A320 [86].

O número de passageiros tem aumentado com os anos, como é confirmado no Gráfico 3.3. Como aconteceu com o aeroporto de Santa Maria, em 2020 o número de passageiros transportados diminuiu abruptamente.

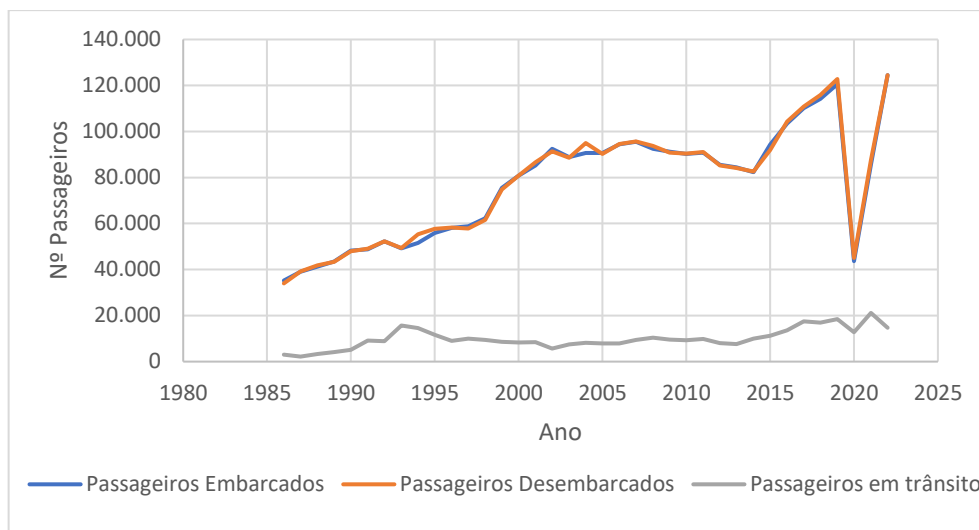


Gráfico 3.3: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto da Horta, de 1986 a 2022 [84]

Fazendo uma análise mensal ao ano 2022, volta a verificar-se uma grande sazonalidade no número de passageiros transportados, como pode ser conferido no Gráfico 3.4. Este fenómeno é justificado, de novo, pela predominância do turismo.

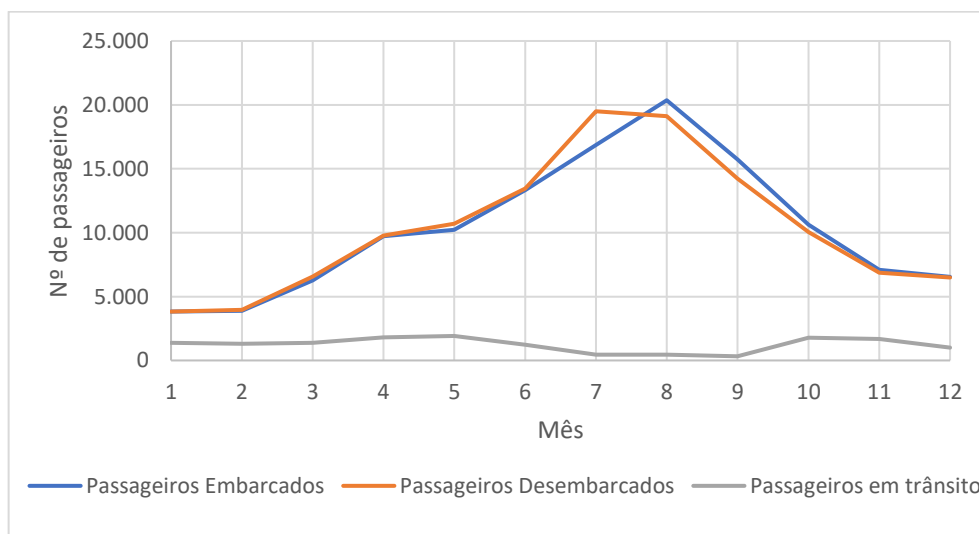


Gráfico 3.4: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto da Horta, no Faial [84]

Apesar de o número de passageiros devolver uma ideia dos movimentos nesta ilha, mais adiante serão apresentados os dados obtidos desta métrica.

3.3.3 Aeroporto das Flores

O aeroporto das Flores, ou o aeroporto de Santa Cruz das Flores, foi inaugurado em 1966, como suporte à base Francesa da Ilha das Flores (ou estação de telemedidas das Flores)

[87]. Este aeroporto é composto por apenas 1 pista, com um comprimento de 1400 metros.

O número de passageiros acompanha a mesma tendência já analisada para os demais aeroportos. Estes números são apresentados no Gráfico 3.5. Como se pode verificar, o número de passageiros transportados tem vindo a crescer com os anos, com a exceção do ano 2020, por razões já expostas.

É de salientar que existe uma relação muito estrita entre o número de passageiros embarcados e desembarcados, verificando-se que a maioria dos passageiros não permaneceram na ilha durante muito tempo podendo-se intuir que são turistas. Por último, o elevado número de passageiros em trânsito entre 1989 e 1990 deve-se a voos charter, efetuadas entre outras companhias, pela SATA [88].

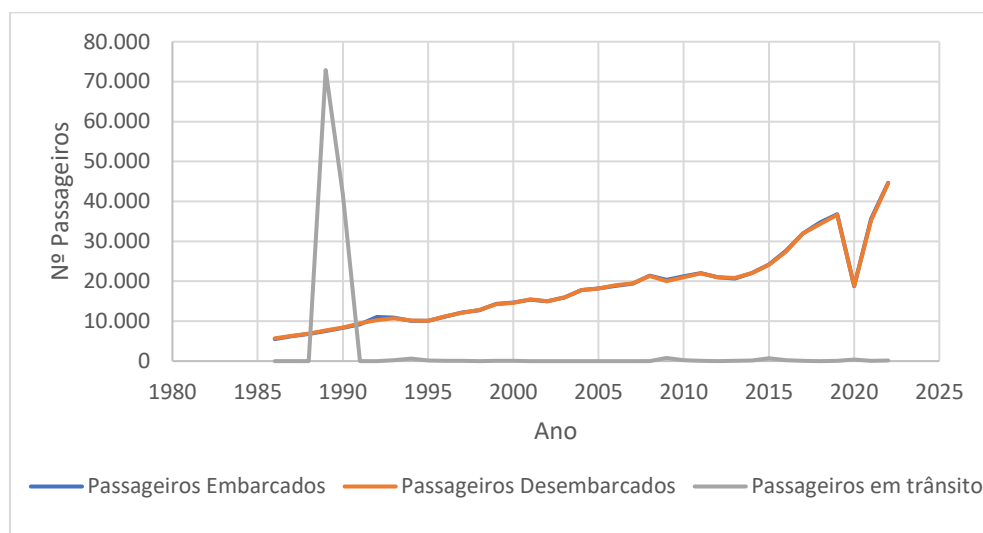


Gráfico 3.5: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto das Flores, de 1986 a 2022 [84]

Analisando o número de passageiros transportados por mês, utilizando o Gráfico 3.6, verifica-se de novo uma grande diferença ao longo do ano. Como acontece com as demais ilhas, o número de passageiros é elevado nos meses de Verão, estando associados à atividade do turismo.

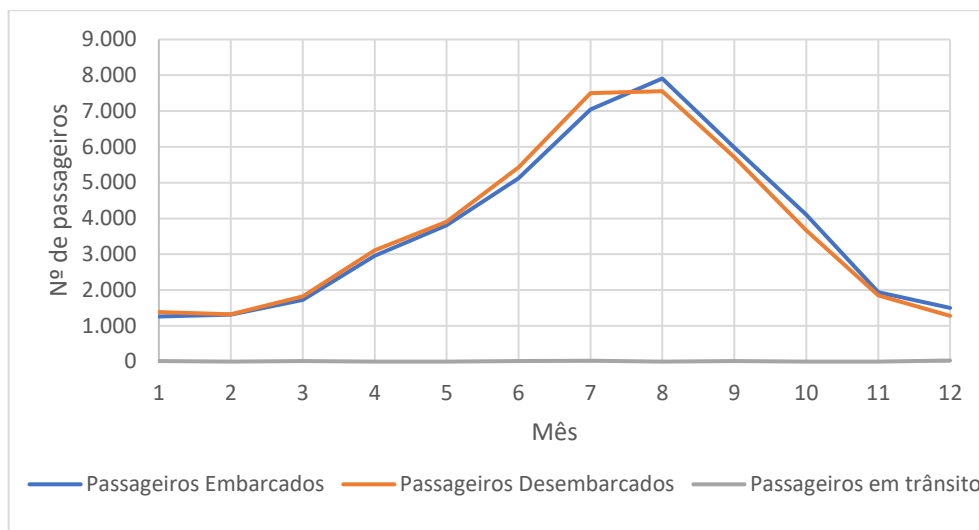


Gráfico 3.6: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto das Flores [84]

Apesar de o número de passageiros devolver uma ideia dos movimentos nesta ilha, mais adiante serão apresentados os dados obtidos desta métrica.

3.3.4 Aeroporto de Ponta Delgada/João Paulo II

O aeroporto de Ponta Delgada, ou Aeroporto João Paulo II, situado na ilha de São Miguel, é o principal aeroporto da região dos Açores, sendo este o ponto de entrada principal de passageiros e de mercadoria no arquipélago. Este aeroporto foi inaugurado em 1969, com uma pista de 1700 metros [80], [89].

Tendo em conta a importância que o aeroporto tem para a região autónoma, este sofreu em 1995 uma requalificação do terminal. A pista deste aeroporto tem 2498 metros de comprimento [80], [89].

É neste aeroporto que está sediada a SATA Air Açores, localizando-se também os hangares de manutenção da referida companhia [80], [89].

Como seria de esperar, o número total de passageiros associados a esse aeroporto é o mais alto até ao momento, como demonstra o Gráfico 3.7, existindo 2 períodos diferentes que carecem de explicação. Um deles foi o aumento exponencial entre 2014 e 2019, e o segundo aliado à COVID-19 em que houve um decréscimo abrupto de utilização do aeroporto.

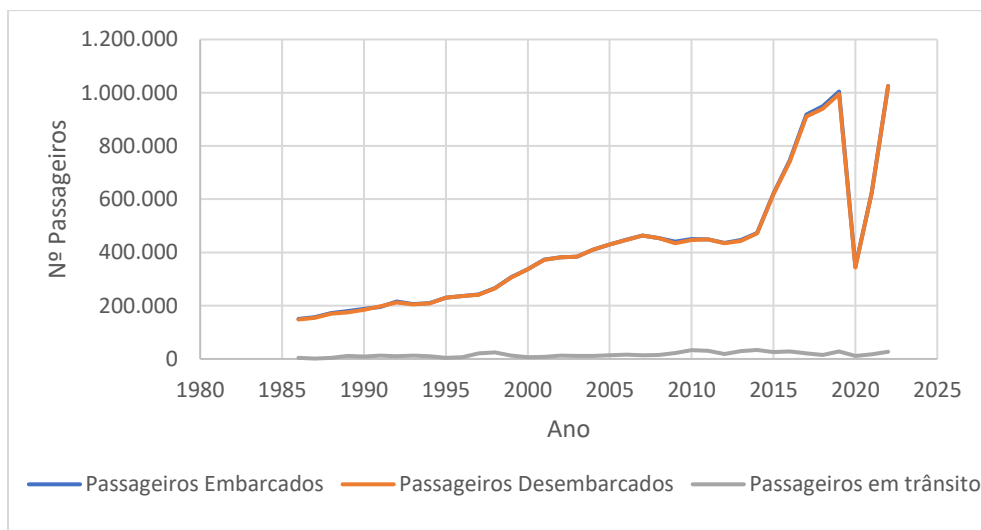


Gráfico 3.7: Número de passageiros embarcados, desembarcados e em trânsito no aeroporto de Ponta Delgada, de 1986 a 2022 [84]

Da mesma forma como aconteceu para os outros aeroportos, a análise do número de passageiros transportados mensalmente permite obter uma indicação sobre as principais atividades presentes na ilha. Estes números encontram-se no Gráfico 3.8. Assim, e como seria de esperar, existe uma grande sazonalidade nos voos, ou seja, existe um grande número de passageiros nos meses de Verão.

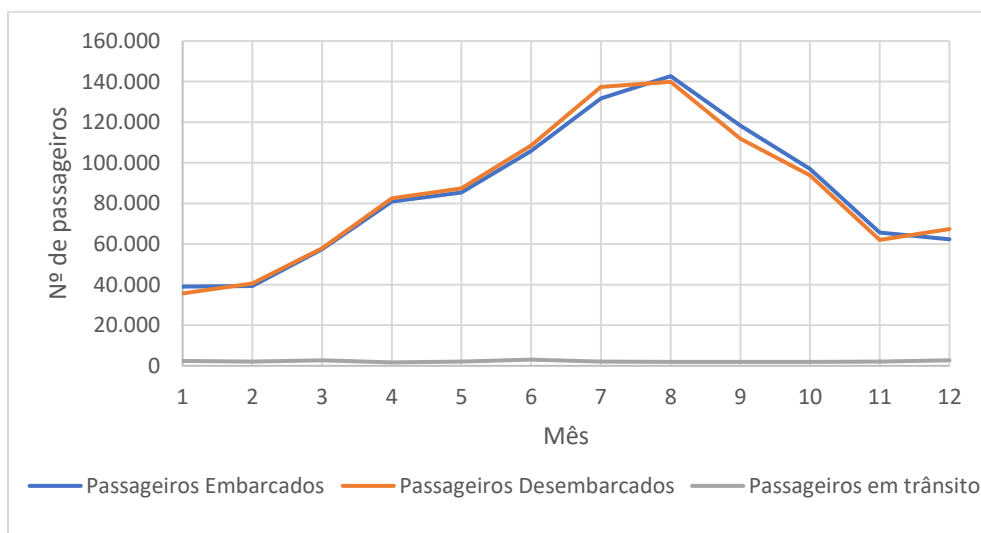


Gráfico 3.8: Número de passageiros, por mês do ano 2022, que transitaram pelo aeroporto de Ponta Delgada [84]

Apesar de o número de passageiros devolver uma ideia dos movimentos nesta ilha, mais adiante serão apresentados os dados obtidos desta métrica.

3.4 Tratamento dos dados obtidos

O estudo a realizar envolve não só a análise do número de movimentos, bem como uma análise dos custos associados (Capex e Opex).

A obtenção destes dados é dificultada por eles não estarem na esfera pública logo, existe a possibilidade de não estarem disponíveis para tratamento e análise sendo que, poderá ser necessário recorrer a valores estimados com base na bibliografia existente.

O número de movimentos é, de entre todos, aquele que tem o método de tratamento mais simples. Após a obtenção do número de movimentos mensais, os mesmos são introduzidos numa tabela anual. Para facilitar a leitura dos mesmos, e de forma a confirmar a sua validade, cria-se um gráfico, e compara-se esta métrica com o número de passageiros transportados. Apesar de não terem uma relação bem definida, se a tendência se mantiver constante entre os dois, validam-se os dados obtidos.

Já o tratamento dos dados relacionados com o Capex é feito recorrendo à introdução dos dados obtidos numa tabela. Idealmente, estes custos terão de ser separados por equipamento/sistema a utilizar. Caso exista a necessidade de construir algum edifício, esses custos também são contabilizados.

Por fim, o tratamento do Opex tem de ser o mais cuidado possível. Uma vez que o Capex pode ser similar entre aeroportos, o Opex pode variar bastante, muito devido à realidade laboral. Além dos custos associados com a manutenção e operação das TCR e das TCT, é necessário fazer um tratamento cuidado dos custos associados aos RH.

Após este tratamento, aplicar-se-á uma metodologia de estudo, que tratará de determinar a viabilidade da instalação de uma TCR num determinado aeroporto (ou num conjunto de aeroportos).

3.5 Dados obtidos

Para o estudo da viabilidade da instalação de várias TCR no arquipélago dos Açores, é necessário obter não só o número de movimentos associados a cada aeroporto, mas também os custos de implementação, Capex, e os custos de operação, Opex. Depois da obtenção destes dados, um tratamento dos mesmos envolve os passos descritos anteriormente.

3.5.1 Aeroporto de Santa Maria

O primeiro aspeto a ter em conta é o número de movimentos associados ao aeroporto. No Gráfico 3.9 apresenta-se a evolução do número de movimentos no período 2019 a 2022.

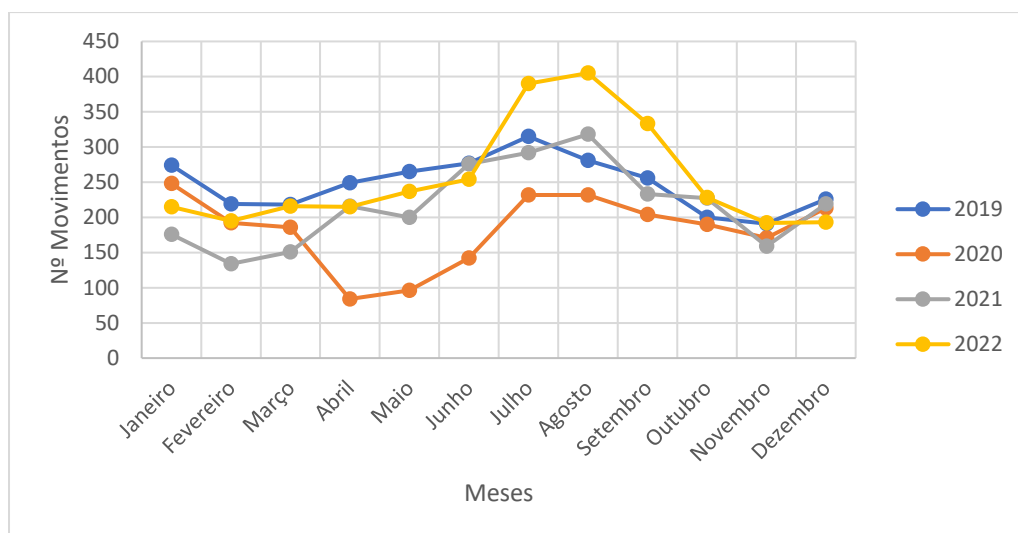


Gráfico 3.9: Número de movimentos mensais no aeroporto de Santa Maria, de 2019 a 2022

Apesar do número de movimentos seguir na generalidade a tendência crescente, é de frisar o ano 2020 que sofreu um grande revés, justificado pela pandemia COVID-19.

Para uma melhor análise do número de movimentos neste aeroporto, esta tem de se realizar sobre um ano que não esteja sobre os efeitos da pandemia. Isto exclui o ano 2020 e o início de 2021, devido às restrições então impostas. Assim, a análise será feita sobre o ano 2022, Gráfico 3.10.

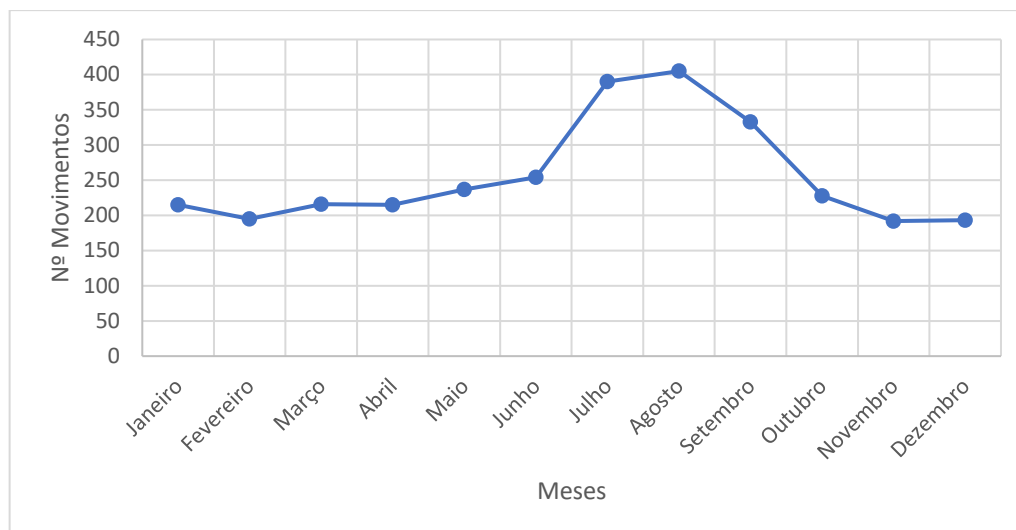


Gráfico 3.10: Número de movimentos no aeroporto de Santa Maria em 2022

O número de movimentos mensais não sofre muitas alterações em dois períodos distintos, a saber janeiro até maio e de outubro a dezembro. No entanto, volta-se a verificar um grande impacto do turismo na zona, tendo um pico durante os meses de Verão.

Também é de se referir que o número de CTAs alocados a este aeroporto, bem como o número de CTAs por turno encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Número de CTAs alocados ao aeroporto de Santa Maria (total e por turno)

Número total de CTAs	CTAs por turno
5	1

Relativamente aos equipamentos a serem instalados na TCR, não foi possível obter esta informação. Assim, apenas se pode especular qual deverá ser o OEM e os equipamentos e sistemas a serem implementados aquando da instalação deste sistema, tendo por base a documentação pública. Uma dessas listagens de equipamentos e sistemas obrigatórios e opcionais a serem instalados é a SAAB AB. Assim, para o caso do aeroporto de Santa Maria, esta lista de equipamentos e sistemas pode-se assemelhar à apresentada na Tabela A.1, no Anexo A.1, sob a coluna “Regional”.

Por último, não foi possível obter os dados económicos (Capex e Opex), logo o cálculo dos mesmos poderá passar por dados estimados.

3.5.2 Aeroporto da Horta

O aeroporto da Horta possui o segundo maior número de movimentos associados, dos aeroportos do arquipélago alvo deste estudo (Gráfico 3.11).

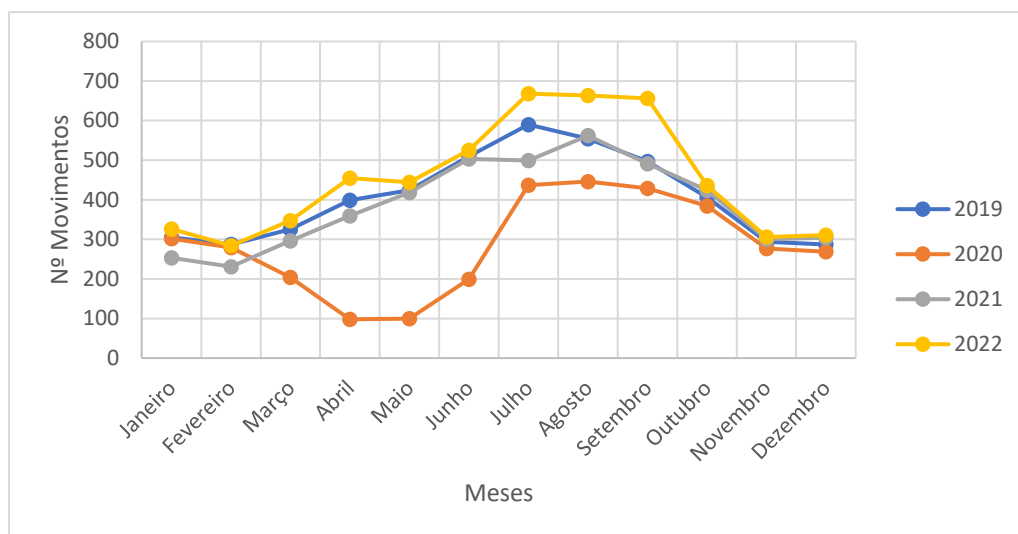


Gráfico 3.11: Movimentos no aeroporto da Horta, desde 2019 até 2022

O número de movimentos segue a tendência mundial de crescimento, como se pode analisar pelos dados de 2019 e 2022. Os anos de 2020 e 2021, como já fora referido, apresentam-se com uma grande distinção e, portanto, o número de movimentos é inferior.

Da mesma forma como foi feito anteriormente, é necessário avaliar o número de movimentos relacionados com o ano 2022. Tais números encontram-se no Gráfico 3.12.

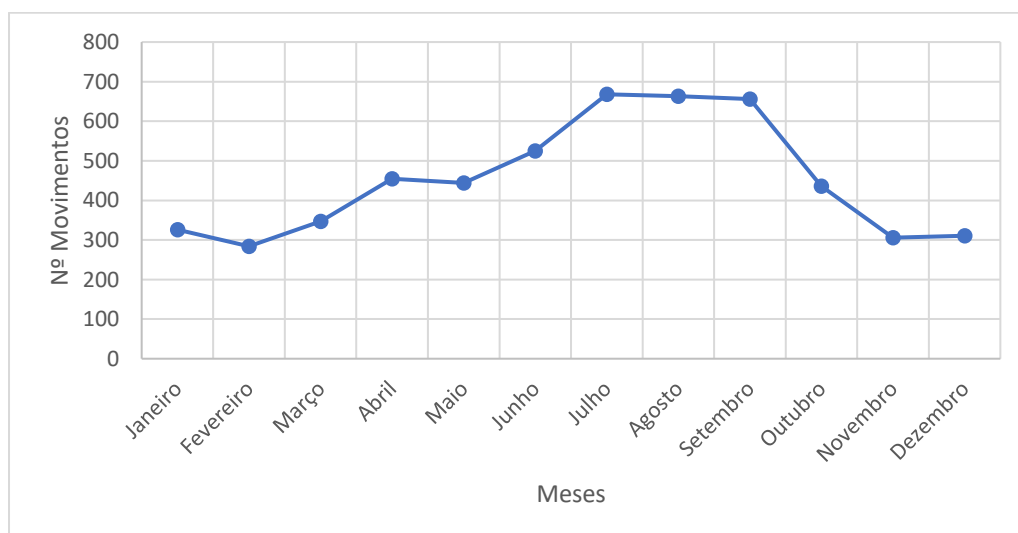


Gráfico 3.12: Movimentos mensais no aeroporto da Horta em 2022

Confirmando que os dados obtidos correspondem à realidade, o número de movimentos segue a mesma tendência que o número de passageiros transportados. Tal permite confirmar que estes dados são válidos, e podem ser utilizados para o estudo.

Na Tabela 3.2 apresentam-se o número de CTAs alocados ao aeroporto da Horta, quer o número total, quer o número por turno.

Tabela 3.2: Número de CTAs alocados ao aeroporto da Horta (total e por turno)

Número total de CTAs	CTAs por turno
7	2

Tal como aconteceu para o aeroporto de Santa Maria, não foi possível obter os equipamentos e sistemas a serem instalados na TCR. Assim, assume-se a listagem de equipamentos apresentada na Tabela A.1, coluna “Regional”, no Anexo A.1.

De igual modo, não foi possível obter os dados económicos para o Capex e Opex deste aeroporto. O estudo deste parâmetro poderá então passar pela análise com dados estimados.

3.5.3 Aeroporto das Flores

O aeroporto das Flores é aquele que, de entre os aeroportos seleccionados, apresenta o menor número de movimentos. É neste aeroporto que se constata perfeitamente a sazonalidade dos voos, especialmente associado ao turismo que se verifica na altura do Verão, como pode ser analisado no Gráfico 3.13.

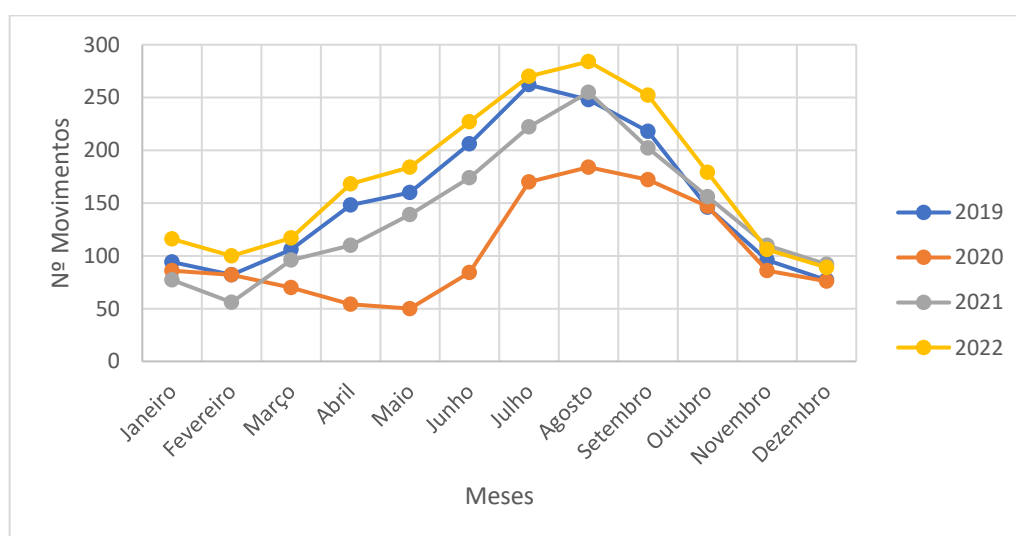


Gráfico 3.13: Número de movimentos no aeroporto das Flores, entre 2019 e 2022

Como se verifica na aviação mundial, o número de movimentos tem aumentado com os anos, exceto no ano de 2020 e no início de 2021, por razões já explicadas.

Seguindo para a análise do Gráfico 3.14, onde será confirmado a validade dos dados. Além desta realidade, o ano 2022 é importante por acompanhar o crescimento mundial do número de movimentos, sem estar sobre os efeitos da pandemia COVID-19.

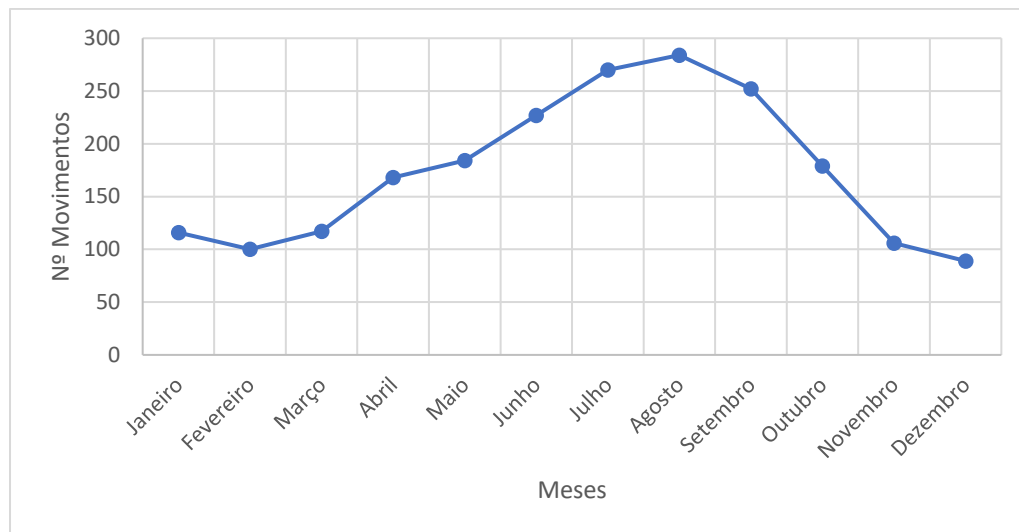


Gráfico 3.14: Número de movimentos no aeroporto das Flores em 2022

A tendência do número de movimentos segue aquela verificada para o número de passageiros, validando de novo os dados obtidos. Outro aspeto a referir é a evolução do número de movimentos que, tal como no aeroporto da Horta, aumenta no mês de abril, e regressa aos valores “típicos” no mês de novembro.

Na Tabela 3.3 apresenta-se o total de CTAs alocados ao aeroporto das Flores, bem como o número destes por turno.

Tabela 3.3: Número de CTAs alocados ao aeroporto das Flores (total e por turno)

Número total de CTAs	CTAs por turno
4	1

De igual modo que os demais aeroportos, a lista de equipamentos e sistemas a instalar neste aeroporto poderá ter uma constituição similar à da apresentada na coluna “Regional” da Tabela A.1, no Anexo A.1.

3.5.4 Aeroporto de Ponta Delgada

Estando este aeroporto associado à capital do arquipélago, o número de movimentos é o maior dos aeroportos analisados até ao momento. Tal pode ser confirmado no Gráfico 3.15.

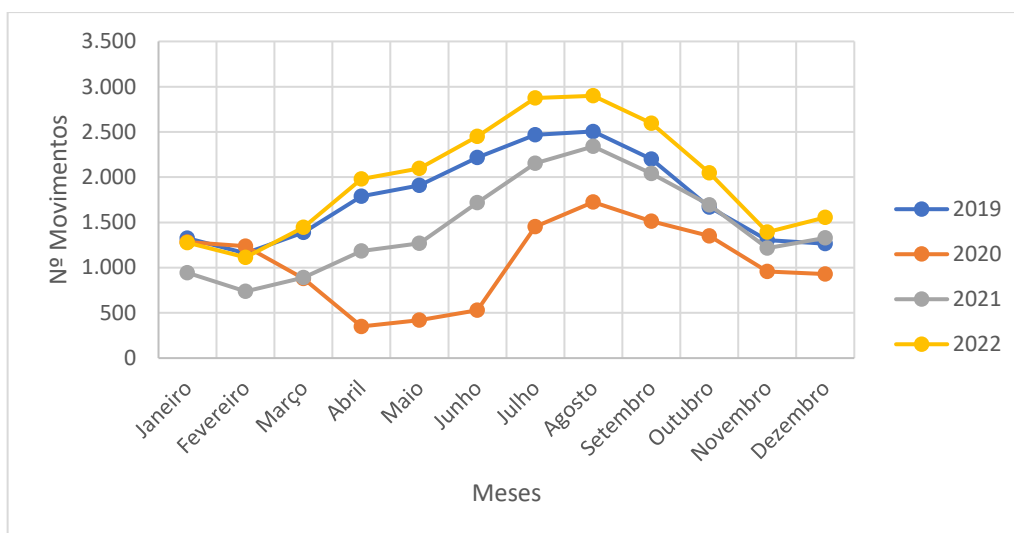


Gráfico 3.15: Número de movimentos no aeroporto de Ponta Delgada, entre 2019 e 2022

Como se tem verificado, o número de movimentos de 2019 a 2022 segue a mesma tendência mundial. Ou seja, de uma forma geral existe um crescimento deste número, com as notórias exceções de 2020 e 2021, anos esses onde existiam restrições impostas à livre circulação de passageiros.

A confirmação dos dados obtidos será realizada recorrendo aos dados do ano 2022, como tem sido feito até ao momento. Estes dados encontram-se no Gráfico 3.16.

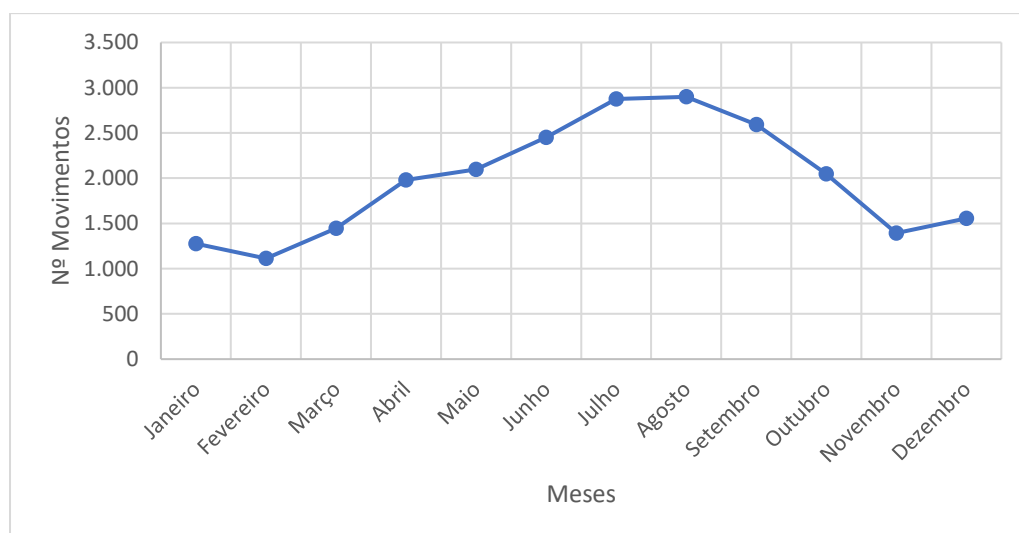


Gráfico 3.16: Número de movimentos no aeroporto de Ponta Delgada em 2022

Tal como tem acontecido para os demais aeroportos, o número de movimentos segue a mesma tendência do número de passageiros para o mesmo espectro temporal. Assim, volta-se a confirmar a validade dos dados, podendo-se prosseguir para o estudo da implementação da TCR neste aeroporto.

O número total de CTAs alocados a este aeroporto, bem como o número destes por turno encontra-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Número de CTAs alocados ao aeroporto de Ponta Delgada (total e por turno)

Número total de CTAs	CTAs por turno
14	2

Relativamente à questão dos equipamentos e sistemas, a lista afeta ao aeroporto de Ponta Delgada é similar aos restantes aeroportos. Ou seja, os equipamentos e sistemas a instalar neste aeroporto podem ser conferidos na coluna “Regional” da Tabela A.1, no Anexo A.1.

3.6 Metodologia de estudo

A implementação de uma TCR tem de seguir um guião específico e objetivo a partir da qual seja possível efetuar uma decisão bem informada.

O método deve incluir necessariamente vários aspetos, quer no lado da TCR, bem como do lado do CCR.

Relativamente à TCR, os pontos a ter em consideração são:

- Número de movimentos verificados por dia no aeródromo;
- Necessidade, ou não, da construção de um mastro para albergar as câmaras e sensores necessários;
- Quantidade de câmaras e sensores a instalar;
- Localização da TCR (o quão remoto é o aeródromo).

Já no lado da CCR, os aspetos a ter em conta são:

- A distância do CCR ao(s) aeródromo(s);
- A necessidade de instalar mecanismos de comunicação (fibra ótica, por exemplo);
- Número de aeroportos a controlar a partir do CCR;
- Número de controladores necessários (mínimo) para o CCR;
- Necessidade de construir um CCR de raiz;
- Equipamentos e sistemas a instalar no CCR.

Como se pode conferir, a decisão da instalação de uma TCR envolve vários pontos que, dependendo de cada um destes, podem justificar (ou não) a instalação destas torres.

A metodologia de estudo que permitirá verificar a viabilidade das TCR nos vários aeroportos dos Açores consistirá em 3 partes distintas.

Numa primeira parte, verifica-se a possibilidade de estes aeroportos albergarem uma TCR, e de serem incluídos num CCR, analisando o número de movimentos e conferindo se estes são adequados à carga de trabalho de 1 CTA.

Uma segunda parte do estudo consistirá na análise ao número de CTAs necessários no CCR, por turno, tendo como base o número de trabalhadores atualmente empregue. O estudo consistirá no cálculo do excesso de movimentos, onde a partir dos quais será possível conferir se existe um excesso de CTAs por turno.

Por fim, numa terceira parte, efetua-se um estudo de viabilidade económica. Para tal, e com a falta de dados já referida, será implementada uma metodologia que terá por base valores estimados provenientes da literatura consultada. O estudo incidirá sobre o Capex e o Opex, e com a análise de ambas será possível concluir a viabilidade económica quer das TCRs, quer das TCTs.

3.6.1 Análise ao número de movimentos associados ao aeroporto

Um dos importantes estudos a efetuar é a análise ao número de movimentos.

Este estudo reveste-se de muita importância pois, sem uma análise preliminar ao número de movimentos associados a um aeroporto, a instalação de uma TCR pode não ser benéfica à operação dos CTAs.

Para tal, um conjunto de passos devem ser seguidos, a fim de se determinar se do ponto de vista do controlo, é viável a instalação de uma TCR no aeroporto. Este estudo coincide, em parte, com a otimização dos turnos de trabalho destes operadores já que esta é uma vertente de estudo que tem tomado proporções mais notórias, especialmente no que concerne à otimização dos RH.

Para que se possa realizar este estudo, têm de se considerar alguns pontos, que servirão de limites à instalação de uma TCR. São eles [90], [91], [92], [93]:

- O CTA não pode controlar mais de 10 movimentos no espaço de 1 hora;
- O aeroporto tem de ter uma diferença considerável entre os movimentos dos meses mais e menos movimentados;
- Se for possível o controlo de vários aeroportos ao mesmo tempo, o CTA tem de ter formação referente a ambos;
- No caso do controlo múltiplo, o CTA não pode controlar 2 movimentos em aeroportos distintos num espaço temporal inferior a 5 minutos.

Os limites impostos anteriormente são importantes, pois permitirão a validação da solução do controlo remoto.

Tomando o primeiro item, o CTA perde alguma capacidade de controlo de tráfego aquando da passagem da TCT para um CCR. Assim, com o limite de 10 movimentos horários, garante-se que o CTA opera nas suas melhores capacidades [91].

A otimização dos RH e a sua correta gestão implica que se tenham de fazer cálculos para uma dotação de CTAs/turno, tendo em consideração que dependendo da época essa dotação pode estar incorreta.

Por fim, e caso sejam disponibilizados os dados dos movimentos diários, o controlo de vários aeroportos por 1 só CTA é um aspeto que deverá ser exaustivamente estudado, uma vez que otimiza o funcionamento dos RH [91].

Caso os movimentos não sejam conflituosos, ou seja, se 2 movimentos ocorrerem num espaço superior a 5 minutos, esta solução traria uma enorme vantagem para o CR.

O estudo segue então os seguintes passos [91]:

- 1º. Obter os dados relacionados com o número de movimentos de cada um dos aeroportos a estudar. No mínimo, a escala temporal terá de ser mensal (movimentos/mês), idealmente será semanal ou diária;
- 2º. Calcular a média de movimentos anual, para efeitos estatísticos. Para tal, utilizar-se-á a equação 3.1;

$$Mov_{Med} = \frac{\sum_{i=janeiro}^{dezembro} Mov_{Mês}(i)}{12} \quad (3.1)$$

onde Mov_{Med} corresponde à média de movimentos, e $Mov_{Mês}(i)$ é o número de movimentos verificados num mês.

- 3º. Calcular a média de movimentos por dia. Se estiverem disponíveis os dados diários, utiliza-se a equação 3.2. Caso só se tenham os dados mensais, utiliza-se a equação 3.3;

$$Mov_{Dia} = \frac{\sum_{i=segunda-feira}^{domingo} Mov_{Sem}(i)}{7} \quad (3.2)$$

$$Mov_{Dia} = \frac{Mov_{Mês}}{D_{Mês}} \quad (3.3)$$

onde Mov_{Dia} é a média de movimentos diários e $D_{Mês}$ corresponde ao número de dias do mês.

- 4º. Calcular o número de movimentos por hora. Novamente, este cálculo depende dos dados disponíveis. Caso se tenham os dados diários, utiliza-se a equação 3.4, caso contrário, e apenas com os dados mensais, utiliza-se a equação 3.5;

$$Mov_{Hora} = \frac{Mov_{Dia}}{Hor_{funcionamento}} \quad (3.4)$$

$$Mov_{Hora} = \frac{\frac{Mov_{Mês}}{D_{Mês}}}{Hor_{funcionamento}} \quad (3.5)$$

onde Mov_{Hora} é a média de movimentos que ocorrem a cada hora e $Hor_{funcionamento}$ é o horário de funcionamento do aeroporto (na maioria das vezes corresponde ao horário da aerogare).

- 5º. Calcular a diferença entre os movimentos do mês mais crítico com o mês menos crítico. Para tal, utiliza-se a equação 3.6;

$$Dif_{Mov} = \frac{Mov_{Mês}(b)}{Mov_{Mês}(a)} * 100 \quad (3.6)$$

onde Dif_{Mov} corresponde à diferença entre o mês de menor movimento e maior volume de movimentos, $Mov_{Mês}(b)$ é o mês com menor número de movimentos, a nível anual, e $Mov_{Mês}(a)$ corresponde ao mês do ano com maior volume de movimentos.

- 6º. Por fim, analisar os resultados obtidos, tendo em conta o conjunto de condições apresentadas anteriormente.

Após o estudo de cada um dos aeroportos, o próximo passo será a agregação dos movimentos num só CCR. Este estudo permitirá verificar se esta solução é viável, no que toca à carga de trabalho dos CTAs, a partir do cálculo da diferença entre os meses de movimentos limite. Os passos a seguir são:

- 1º. Somam-se o número de movimentos dos vários aeroportos sujeitos à análise para o CR, utilizando a equação 3.7;

$$Mov_{Mês}(CCR) = \sum_{i=AP_1}^{AP_N} Mov_{Mês}(AP_i) \quad (3.7)$$

onde AP_i corresponde a um aeroporto dos 4 escolhidos.

- 2º. Com estes dados, analisa-se qual é o mês onde ocorrem mais movimentos, e o mês com o menor número de movimentos. A identificação destes meses é importante, pois permite comparar com os demais aeroportos se estes momentos críticos ocorrem nas mesmas alturas;
- 3º. Utilizando a equação 3.6, calcula-se a diferença entre estes 2 meses;
- 4º. Comparam-se os resultados obtidos com os de cada um dos aeroportos. Idealmente, a solução do CR terá um valor menor, quando comparado com cada um dos aeroportos.

Nesta análise, é de referir que a solução da instalação das TCR, e o controlo ser a partir de um CCR depende da tipologia do aeroporto. Ou seja, se a grande parte dos aeroportos a estudar forem de baixa movimentação, e se se introduzir um aeroporto de média movimentação (ou mesmo um aeroporto onde o número de movimentos seja bastante

mais elevado), o número de movimentos do CR irá seguir a tendência do maior aeroporto.

Nestes casos, a diferença calculada para o CCR poderá ser mais elevada quando comparada com alguns aeroportos. Assim, dever-se-á se analisar a solução da operação em torre remota (OTR) sem o aeroporto de maiores dimensões, e verificar a diferença entre o CCR e cada um dos aeroportos.

A solução do CR torna-se viável, à partida e de um ponto de vista dos RH, quando a diferença calculada para o CCR seja inferior à dos aeroportos. No entanto, e como fora referido, esta análise não tem em consideração o número de CTAs alocados por turno a cada um dos aeroportos, assumindo este valor como sendo a unidade.

Daí que, apesar desta primeira análise poder reprovar alguns aeroportos, devido ao número de movimentos por hora, a inclusão de mais trabalhadores poderá aumentar a capacidade do controlo. Uma próxima fase do estudo contará com a análise do número de movimentos em função do número de CTAs.

3.6.2 Análise ao número de CTAs necessários por turno

Após a análise ao número de movimentos, o próximo passo do estudo envolve a introdução do número real de CTAs associados a cada um dos aeroportos. Nesta fase do trabalho de estudo, o principal objetivo é compreender os ganhos de produtividade que a solução do CR pode ter.

Assim, o número de CTAs necessários varia com as necessidades do aeroporto ao longo do ano. Nos dias de hoje, o número de CTAs nas TCT mantém-se contante, pelo que pode haver situações onde existe um excesso de RH, mas também o inverso. A grande vantagem do CR é a otimização destes RH, chamando ao trabalho o número exato de CTAs necessários, mantendo em reserva um determinado número de trabalhadores.

Os passos a seguir neste estudo são [91]:

- 1º. Determina-se o número de CTAs disponíveis por turno, N_{CTAs} ;
- 2º. Assumindo um limite horário de 10 movimentos, calcula-se a capacidade de controlo do aeroporto recorrendo à equação 3.8;

$$Cap_H(AP_i) = \sum_{j=1}^n Cap_H(CTA_j) \quad (3.8)$$

3º. Analisa-se o excesso de movimentos horários que o aeroporto tem. Para tal, seria ideal o número de movimentos por hora, mas, na impossibilidade de tal, calcula-se uma média utilizando os dados diários, ou utilizando os dados mensais;

$$EMov_H(AP_i) = Cap_H(AP_i) - Mov_H(AP_i) \quad (3.9)$$

4º. Com o excesso de movimentos, calcula-se o número de CTAs em excesso, utilizando a equação 3.10. Neste caso, caso seja necessário arredondar os resultados, tal deverá ser feito por defeito;

$$E_{CTAs}(AP_i) = \frac{EMov_H(AP_i)}{10} \quad (3.10)$$

5º. O número de CTAs associados ao CCR, por cada aeroporto, será então dado pela equação 3.11.

$$N_{CTAs}(CCR) = \sum_{j=1}^n (CTA_j) - E_{CTAs}(AP_i) \quad (3.11)$$

Para se ter trabalhadores em prontidão física, ao número devolvido pela equação 3.11 adiciona-se pelo menos mais 1 CTA. No entanto, e dependendo do que o provedor de serviço ache necessário, este número pode ser superior.

O estudo avança pela comparação entre as necessidades da solução tradicional, com a solução da OTR.

Analicamente, a solução do CR pode ser vantajosa, mesmo em aeroportos com mais movimentos. Isto desde que o número de CTAs associados seja adequado e que haja uma coordenação entre os vários trabalhadores no que toca à operação destes movimentos.

3.6.3 Custos envolvidos com as TCR

Um dos elementos mais importantes no estudo da viabilidade da instalação de uma determinada TCR são os custos associados. Estes podem ser divididos em custos de implementação (Capex) e em custos de operação (Opex). Dependendo da situação, a análise da viabilidade pode passar apenas pela comparação do Opex das TCR e das TCT, ou também pode levar em conta o Capex de ambas as soluções.

O Capex relaciona todos os custos envolvidos nos investimentos que uma empresa faz. No caso das TCR, o Capex envolve não só as câmaras e sensores a instalar no aeroporto, mas também engloba o custo da construção de edifícios (caso se justifique).

Tal estudo torna-se imperativo numa situação onde se esteja a comparar entre a implementação de uma TCT e uma TCR. Tipicamente, e segundo Kearney e Li, [90], o custo da construção de uma TCT é de 12.000.000 €. Caso seja necessário construir um edifício para albergar as câmaras da TCR, este valor é de 2.000.000 €. Isto traduz-se numa diferença entre a TCT e da TCR de 10.000.000 €.

Caso estejam disponíveis os dados discriminados dos vários elementos a instalar na TCR estes podem ser dispostos tal como se apresenta na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Tabela discriminatória para o Capex de uma TCR

Elemento	Quantidade	Custo Unitário	Custo total, C_i
Infraestrutura	Q_{inf}	CU_{inf}	$C_{inf} = Q_{inf} * CU_{inf}$
Câmaras Panorâmicas	Q_{pano}	CU_{pano}	$C_{pano} = Q_{pano} + CU_{pano}$
Câmaras PTZ	Q_{PTZ}	CU_{PTZ}	$C_{PTZ} = Q_{PTZ} + CU_{PTZ}$
Sistemas	Q_{sis}	CU_{sis}	$C_{sis} = Q_{sis} + CU_{sis}$

É de referir que os “Sistemas” podem ser discriminados nos vários elementos a instalar. Neste caso, ao invés de agregar tudo num só grupo, identificam-se cada um dos sistemas na tabela acima, adaptando esta à nova informação.

Caso estes dados não estejam disponíveis, estes podem ser estimados, de um grosso modo, aos apresentados em Kearney e Li [90]. Apresenta-se na Tabela 3.6 os dados do estudo referido.

Tabela 3.6: Tabela de estimação do Capex para uma TCR [90]

Infraestrutura	Equipamento
Custo de construção, C_{inf} :	Custo dos equipamentos, C_{eq} :
2.000.000 €	2.000.000 €

O cálculo do Capex é realizado de acordo com os dados disponíveis. Caso os dados discriminados (ou mesmo uma generalidade destes) forem conhecidos, utiliza-se a equação 3.12. Caso contrário, utiliza-se a equação 3.13.

$$Capex_{TCR} = \sum_{i=1}^n C_i(Capex) \quad (3.12)$$

$$Capex_{TCR} = C_{inf} + C_{eq} \quad (3.13)$$

No caso de não ser necessário construir um edifício novo para a TCR, a viabilidade de implementação da TCR terá de ser analisada segundo o Opex. Caso contrário, o Capex entre a TCT e a TCR é calculado segundo a equação 3.14.

$$Capex_{dif} = Capex_{TCR} - Capex_{TCT} \quad (3.14)$$

Idealmente, o $Capex_{dif} < 0$, ou seja, os custos associados à implementação da TCR são inferiores aos analisados para a TCT. Caso a relação não se verifique, no que toca à implementação, a TCT é a solução economicamente mais viável.

O Opex relaciona-se com os custos da operação. Esta métrica envolve os salários dos funcionários, pagamentos aos fornecedores, seguros e a manutenção dos equipamentos e sistemas instalados. A comparação do Opex entre as TCR e as TCT permite analisar os possíveis ganhos que a solução remota envolveria, podendo-se confirmar a viabilidade a partir desta métrica. Tendo em conta a premissa de otimização dos RH alocados, a análise deste parâmetro é de elevada importância.

Idealmente, para o presente estudo, discriminam-se os gastos envolvidos com cada uma das partes sobre a forma de uma tabela, como a apresentada na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Tabela discriminatória do Opex para uma TCR

Elemento	Quantidade	Custo Unitário	Custo total, O_i
Infraestrutura	Q_{inf}	CU_{inf}	$C_{inf} = Q_{inf} * CU_{inf}$
Câmaras Panorâmicas	Q_{pano}	CU_{pano}	$C_{pano} = Q_{pano} + CU_{pano}$
Câmaras PTZ	Q_{PTZ}	CU_{PTZ}	$C_{PTZ} = Q_{PTZ} + CU_{PTZ}$
Sistemas	Q_{sis}	CU_{sis}	$C_{sis} = Q_{sis} + CU_{sis}$
Outros equipamentos	Q_{oeq}	CU_{oeq}	$C_{oeq} = Q_{oeq} + CU_{oeq}$
CTAs	Q_{CTAs}	CU_{CTAs}	$C_{CTAs} = Q_{CTAs} + CU_{CTAs}$
Pessoal de suporte/manutenção	Q_{PSM}	CU_{PSM}	$C_{PSM} = Q_{PSM} + CU_{PSM}$

No entanto, estes custos na maioria das vezes não são publicados/transmitidos, sendo confidenciais. Caso se verifique esta situação, será necessário estimar estes dados, de forma a se poder analisar a viabilidade da solução remota. Kearney e Li em [90] apresentam uma aproximação do Opex para as TCR, englobando os vários aspetos anteriormente apresentados em 3 grandes grupos: de construção, equipamento e RH. Na Tabela 3.8 apresentam-se estas aproximações.

Tabela 3.8: Tabela de estimação do Opex para uma TCR [90]

Infraestrutura, C_{inf}	Equipamento, C_{eqp}	RH, C_{RH}
10% do custo de construção:	10% do custo dos equipamentos:	Cada CTA:
200.000 €	200.000 €	100.000 €

O Opex é então calculado segundo a equação 3.15, caso se tenham os custos discriminados, ou pela equação 3.16, caso não se possuam dados.

$$Opex_{TCR} = \sum_{i=1}^n O_i(Opex) \quad (3.15)$$

$$Opex_{TCR} = C_{inf} + C_{eqp} + C_{RH} = 200.000 + 200.000 + n_{CTA} * 100.000 \quad (3.16)$$

Neste cálculo, o maior impacto nos custos será com os CTAs, de tal forma que a otimização destes RH com as TCR pode devolver um Opex mais baixo, quando comparado com as TCT. Assim, pode-se adaptar a equação 3.16 para o cálculo da diferença dos gastos com os CTAs nas TCR e nas TCT, caso este número seja diferente para ambas as implementações. A equação 3.17 representa este cálculo.

$$Opex_{CTAs} = n_{CTA}(TCR) * 100.000 - n_{CTA}(TCT) * 100.000 \quad (3.17)$$

Para que a solução das TCR seja viável, no que toca aos RH, o valor calculado na equação 3.17 tem de ser inferior a 0 €. Se tal não se verificar, não existe uma redução do número de CTAs e, portanto, a viabilidade terá de ser analisada recorrendo ao Opex total, calculado segundo a equação 3.18. Caso estejam disponíveis os custos de operação, o cálculo realiza-se recorrendo à equação 3.19; caso contrário, utiliza-se a equação 3.20.

$$Opex_{geral} = Opex_{TCR} - Opex_{TCT} \quad (3.18)$$

$$Opex_{geral} = \left(\sum_{i=1}^n C_{inf} + \sum_{i=1}^n C_{eqp} + \sum_{i=1}^n C_{RH} \right)_{TCR} - \left(\sum_{i=1}^n C_{inf} + \sum_{i=1}^n C_{eqp} + \sum_{i=1}^n C_{RH} \right)_{TCT} \quad (3.19)$$

$$Opex_{geral} = (200000 + 200000 + n_{CTA} * 100000) - (1200000 + n_{CTA} * 100000) \quad (3.20)$$

O valor calculado terá de ser sempre inferior a zero. Caso tal não aconteça, a instalação das TCR não é viável relativamente aos custos de operação.

O cálculo dos custos anuais tem de ter em consideração a depreciação das infraestruturas e dos vários equipamentos instalados. O tempo de depreciação depende do tempo de vida

útil. Estes tempos encontram-se na Tabela 3.9, e baseiam-se naqueles propostos por Kearney e Li, [90].

Tabela 3.9: Tempo de depreciação dos elementos envolvidos na TCR [90]

Tipo	Tempo de depreciação
Edifícios, $TDep_{inf}$	30 anos
Equipamentos, $TDep_{eq}$	8 anos

O cálculo dos custos anuais envolve não só os custos de depreciação, mas também o Opex calculado. Para as TCR, os custos anuais são calculados segundo a equação 3.21.

$$C_{ano}(TCR) = \left(\frac{Capex_{inf}}{TDep_{inf}} + Opex_{inf} + \frac{Capex_{eq}}{TDep_{eq}} + Opex_{eq} + n_{CTA} * 100.000 \right) \quad (3.21)$$

O custo total anual é então calculado segundo a equação 3.22.

$$C_{ano} = C_{ano}(TCR) - \left(1.200.000 + \frac{1.200.000}{30} + n_{CTA} * 100.000 \right) \quad (3.22)$$

3.7 Conclusão

Ao longo do capítulo, introduziram-se as diferentes ilhas do arquipélago dos Açores que foram alvo do estudo (as ilhas de Santa Maria, Faial, Flores e São Miguel). Para cada uma delas, procedeu-se à descrição sucinta das características geográficas e meteorológicas. O principal objetivo é determinar caso se aplique alguma TCR, esta funcionará em condições para as quais não esteja preparada (o que não acontece).

De igual modo, foram apresentados os aeroportos a estudar, tendo-se feito uma caracterização sumária dos mesmos, entrando em linha de conta com o número de passageiros que passaram por estes ao longo dos últimos anos. Como se pode observar, com o avançar dos anos, o número de passageiros transportados aumentou, seguindo a tendência mundial de crescimento do transporte aéreo.

O próximo passo foi a obtenção dos dados que serão alvo de estudo. Para tal, recorreu-se a várias fontes.

Apenas foi possível obter o número de movimentos em cada um destes aeroportos (ver Anexo **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), não tendo sido possível obter os dados económicos, já que a solução das TCR ainda se encontra sobre um véu de confidencialidade. Para se proceder ao estudo de viabilidade económica foram utilizados dados estimados segundo um trabalho científico.

Por último, e tendo em conta os dados disponíveis, foi delineada uma metodologia de estudo. Começando pela análise ao número de movimentos, é feito um tratamento onde será possível entender se o número de movimentos que ocorre a cada hora se enquadra nos limites impostos encontrados na literatura, especialmente no estudo desenvolvido por Josefsson et al., [91]. Também se procede ao cálculo da diferença entre os meses com extremos de volume de movimentos (menor e maior número de movimentos). O estudo avança pela agregação dos movimentos dos vários aeroportos num só CCR, onde se procedeu à comparação da diferença referida anteriormente. Idealmente, este valor será menor para o CCR, quando comparado com os vários aeroportos.

A segunda parte do estudo avalia a quantidade de CTAs que o CCR deverá ter, para que o controlo de cada um dos aeroportos seja efetivo. Para tal, não se considerou nenhum cenário onde fosse possível o controlo de 2 ou mais aeroportos por 1 só CTA, ou seja, cada aeroporto é controlado por 1 CTA, por turno.

Por fim, o último estudo trata de avaliar a viabilidade da implementação das várias TCR, segundo um modelo económico comparativo. Dado a falta de dados, o modelo baseia-se nos dados referidos por Kearney e Li, [90]. A metodologia proposta envolve o Capex tanto para a TCR como para a TCT, já que este cálculo é importante para o caso onde se queira requalificar a torre já instalada. O Opex também é calculado, e é a métrica mais importante para o estudo de decisão, já que os custos recorrentes das TCR, para que esta seja viável, terão de ser inferiores aos das TCT.

A análise a realizar-se no próximo capítulo irá verificar a viabilidade da implementação das TCR nos aeroportos propostos.

Capítulo 4

4 Análise de Resultados

4.1 Introdução

O principal objetivo deste capítulo é o estudo da viabilidade da implementação desta solução para os aeroportos propostos.

Desta forma, o capítulo encontra-se dividido em 4 partes, sendo que as 3 primeiras correspondem à metodologia proposta e a 4^a à sua respetiva validação.

Na primeira parte, o principal objetivo é compreender se a carga de trabalho dos CTAs se adequa às TCR. Para tal, inicia-se o tratamento do número de movimentos mensais perante uma métrica horária para cada um dos aeroportos. Isoladamente, a obtenção do número de movimentos que ocorrem a cada hora é importante. Isto permite entender se, com a redução verificada pelos estudos na área das TCR da capacidade de controlo por parte dos CTAs, os aeroportos são adequados para receber as TCRs.

Além deste cálculo, o estudo envolve ainda a análise da diferença entre o mês com menos movimentos mensais e o mês com maior movimentação mensal. Este cálculo permite compreender qual é o ganho de produtividade quando se agrega o controlo dos vários aeroportos num local só.

A segunda parte do estudo foca-se no número de CTAs necessários por cada turno. Para tal, calcula-se o excesso de movimentos/hora que existe, tendo por base o número de CTAs atualmente empregues e que constituem cada turno nos vários aeroportos. Este estudo é importante, pois permite analisar se existe algum excesso destes RH quando se passa o controlo das TCT para o CCR. Apesar de o estudo incidir sobre o número de CTAs por turno, não se estuda a possibilidade de se verificar uma redução do número de trabalhadores atualmente empregues.

A terceira parte do estudo envolve a análise da viabilidade económica das TCR. Para tal, e com a falta de dados em concreto, utilizar-se-ão os dados estimados apresentados no capítulo anterior. O estudo incidirá numa primeira parte sobre o Capex, especialmente se o processo de decisão envolver a requalificação da torre instalada em cada aeroporto. A segunda parte do estudo envolve a análise do Opex e dos custos anuais. O resultado

deste estudo permitirá avaliar se a instalação de várias TCRs nos aeroportos referidos é viável ou não.

Por fim, e de forma a confirmar a metodologia usada para a primeira parte do estudo, aplicar-se-á este sobre um caso real onde se conheçam os vários dados necessários. O caso escolhido foi o do aeroporto de *London City*. Esta confirmação é apenas sobre a primeira parte do estudo, pois é a única onde existem dados para comparar.

4.2 Número de movimentos

O número de movimentos associados a um aeroporto é de elevada importância, pois permite analisar a real viabilidade da solução OTR. Esta afirmação assenta na premissa de que os CTAs, num ambiente remoto, perdem alguma capacidade de controlo do tráfego, especialmente em situações onde controlam múltiplos aeroportos ao mesmo tempo [90], [94].

O estudo do número de movimentos, numa primeira instância, permite analisar a viabilidade da implementação de TCR nos aeroportos. Esta assenta no número máximo de movimentos que um CTA consegue operar e na diferença dos meses onde ocorrem valores limite de movimentos (máximo e mínimo).

Após a discriminação individual dos aeroportos, a análise passará pela criação de um CCR fictício, a partir da qual se reúnem os movimentos dos vários aeroportos. Com esta agregação, cada aeroporto é controlado remotamente por 1 CTA. Este CCR, para ser viável, tem de conseguir ter o mesmo desempenho que o melhor aeroporto da lista numa primeira fase. Caso exista algum aeroporto que na integração num CCR perca algum desempenho, o aeroporto é excluído após reanálise e confirmação. Mas, apesar de um aeroporto perder algum desempenho nesta integração, é necessário estudar as possíveis vantagens, sendo que a principal vai ao encontro do número de movimentos mensais/diários/hora.

Como fora referido, este estudo não leva em consideração o número de CTAs associado a cada turno, assumindo-se que cada aeroporto é controlado por apenas 1 controlador. Tal pode levar a situações onde a viabilidade da instalação de uma TCR no aeroporto seja refutada pelo número de movimentos que o CTA pode laborar numa hora. Nesses casos, um estudo posterior tem de ser feito, onde se consideram o número real de CTAs a laborar para o aeroporto.

4.2.1 Aeroporto de Santa Maria

O aeroporto de Santa Maria é um aeroporto de baixa movimentação. Tal pode ser conferido na média de movimentos mensais anuais, para o período 2019-2022, apresentado na Tabela 4.1. Para este cálculo, utilizou-se a equação 3.1.

Tabela 4.1: Média de movimentos mensais para o aeroporto de Santa Maria, de 2019 a 2022

Ano	2019	2020	2021	2022
Média	248	183	217	256

Outra característica deste aeroporto é a grande variação deste número ao longo do ano, podendo-se caracterizar os movimentos como sazonais. Estes dados encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto de Santa Maria em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	TOTAL
AER	215	195	216	215	237	254	390	405	333	228	192	193	3.073
SMA													

De acordo com a metodologia exposta, o estudo segue com a análise do número de movimentos diários. Para tal, e recorrendo à equação 3.3, e aos dados referentes a 2022³ os resultados encontram-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Número de movimentos diários (média) no aeroporto de Santa Maria em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
AER	6,94	6,96	6,97	7,17	7,65	8,47	12,58	13,06	11,10	7,35	6,40	6,23	
SMA													

O próximo passo é o cálculo da média de movimentos que ocorrem no aeroporto, num espaço de 1 hora, utilizando a equação 3.5. O horário de funcionamento do aeroporto coincide com o horário da aerogare, que é entre as 06:30h e as 21:30h [95], correspondendo a 15 horas de funcionamento. Os resultados encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto de Santa Maria em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
AER	0,46	0,46	0,46	0,48	0,51	0,56	0,84	0,87	0,74	0,49	0,43	0,42	
SMA													

³ Ano utilizado para os restantes aeroportos para o mesmo estudo.

Por fim, efetua-se o cálculo da diferença entre os meses limite, utilizando a equação 3.6. Para tal, identifica-se o mês com maior número de movimentos, agosto, e o mês com menos movimentos, novembro. O resultado é apresentado abaixo.

$$D = \frac{192}{405} * 100 = 47,4\%$$

Analisando a Tabela 4.1, a tendência da média de movimentos anuais aumenta com o avançar dos anos, com a grande ressalva de 2020 e 2021, anos afetados pelas restrições impostas para combater a pandemia COVID-19. Estes dados permitem constatar que o aeroporto de Santa Maria segue a tendência mundial do aumento do número de movimentos anual. Para evitar ser repetitivo, e uma vez que este item é comum a todos os aeroportos estudados, assume-se doravante que a ausência deste texto é justificado por este parágrafo.

No que diz respeito ao número de movimentos mensais, confirma-se a sazonalidade dos mesmos, verificando-se um aumento desde junho a setembro, correspondendo à altura do Verão e, assim, estando relacionado com o turismo associado à ilha. Outro aspeto a referir é o aumento do número de movimentos entre dezembro e janeiro do ano seguinte (ver Anexo **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), podendo corresponder à deslocação de familiares de habitantes da ilha, bem como com as celebrações do final de ano.

Segue-se a análise da média de movimentos diários para o ano 2022. Normalizando o número de movimentos perante uma métrica diária, confirma-se que o mês com maior volume de movimentos é agosto, enquanto o extremo oposto é verificado para o mês de novembro. Constata-se que o aeroporto não possui um grande volume de movimentos, de modo que é correto assumir que este é de baixo movimento.

No que toca à média de movimentos por hora, o primeiro aspeto a referir é o valor máximo, que é inferior a 1 movimento por hora (0,87 movimentos). Tal permite, segundo a metodologia, confirmar que o CTA alocado ao turno não atinge o limite imposto de 10 movimentos por hora.

4.2.2 Aeroporto da Horta

O aeroporto da Horta é o segundo maior aeroporto em número de movimentos, do universo de aeroportos escolhidos. Utilizando a equação 3.1, esta afirmação pode ser conferida na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

Tabela 4.5: Média de movimentos mensais para o aeroporto da Horta, de 2019 a 2022

Ano	2019	2020	2021	2022
Média	407	285	387	452

Tal como acontece no aeroporto de Santa Maria, este aeroporto é caracterizado por uma grande sazonalidade nos movimentos. Tal pode ser conferido na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

Tabela 4.6: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto da Horta em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
AER HOR	326	284	347	455	444	525	668	663	656	436	306	311	5.421

O próximo passo envolve o cálculo da média de movimentos diários, para cada mês. Os resultados encontram-se na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

Tabela 4.7: Número de movimentos diários (média) no aeroporto da Horta em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
AER HOR	10,52	10,14	11,19	15,17	14,32	17,50	21,55	21,39	21,87	14,06	10,20	10,03	

O horário do aeroporto da Horta é entre as 08:00h e as 18:30h [96], correspondendo a um horário de funcionamento de 10:30 horas (10,5 horas para o cálculo). Os resultados do cálculo da média de movimentos que ocorrem por hora encontram-se na **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

Tabela 4.8: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto da Horta em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
AER HOR	1,00	0,97	1,07	1,44	1,36	1,67	2,05	2,04	2,08	1,34	0,97	0,96	

Por fim, calcula-se a diferença entre os meses limite. Para este cálculo, identifica-se fevereiro como mês menos movimentado e julho como o mês mais movimentado. O resultado calculado é:

$$D = \frac{284}{668} * 100 = 42,5\%$$

No que diz respeito ao número de movimentos mensais, confirma-se a sazonalidade desta métrica. Entre maio e setembro existe um aumento do número de movimentos,

correspondendo à altura do Verão. Isto permite afirmar que estes movimentos estão relacionados com o turismo, atividade com grande impacto na ilha.

A média de movimentos diários confirma que o mês mais movimentado é setembro, enquanto o mês oposto é dezembro. Outro aspeto a referir é o aumento de movimentos entre dezembro e janeiro do ano seguinte (Anexo **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). O mesmo verificou-se para o aeroporto de Santa Maria, de modo que a justificação é a mesma.

Relativamente ao número de movimentos que ocorrem a cada hora, este valor é superior a 1 movimento horário, chegando aos 2,08 movimentos por hora. Isto traduz-se, no mês mais movimentado, em 1 movimento a cada 30 minutos. Assim, pode-se afirmar que os CTAs continuam a ter uma baixa carga de trabalho no mês mais crítico. Outro aspeto a referir é a diferença entre os meses limite, que para este aeroporto se traduz em mais de 1 movimento.

O último cálculo é o da diferença entre os meses limite. Para este aeroporto, o valor é de 42,5%.

No que toca às restrições impostas para a viabilidade da instalação de uma TCR, o aeroporto da Horta é outro excelente candidato. Apesar de ter um número mais elevado de movimentos, a carga de trabalho de 1 CTA nunca excede os 10 movimentos por hora.

4.2.3 Aeroporto das Flores

O aeroporto das Flores é o aeroporto menos movimentado do grupo escolhido para o estudo. Tal afirmação pode ser confirmada na Tabela 4.13.

Tabela 4.9: Média de movimentos mensais para o aeroporto das Flores, de 2019 a 2022

Ano	2019	2020	2021	2022
Média	154	105	141	174

O aeroporto das Flores segue a mesma tendência dos demais aeroportos no que toca à sazonalidade dos movimentos. Tal pode ser conferido na Tabela 4.14.

Tabela 4.10: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto das Flores em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
AER FLO	116	100	117	168	184	227	270	284	252	179	106	89	2.092

Segue-se o cálculo da média de movimentos diários, utilizando a equação 3.3. Os resultados encontram-se na Tabela 4.15.

Tabela 4.11: Número de movimentos diários (média) no aeroporto das Flores em 2022

2022																
N ê s	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12				
AER FLO			3,74		3,57		3,77	5,60	5,94	7,57	8,71	9,16	8,40	5,77	3,53	2,87

Segue-se com o cálculo do número de movimentos que ocorrem a cada hora, em média. O horário de funcionamento do aeroporto é desde as 09:30h até às 16:30h [97], traduzindo-se em 7 horas de funcionamento. Os resultados encontram-se na Tabela 4.16.

Tabela 4.12: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto das Flores em 2022

2022												
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER FLO	0,53	0,51	0,54	0,80	0,85	1,08	1,24	1,31	1,20	0,82	0,50	0,41

Por fim, calcula-se a diferença entre o mês com menor volume de movimentos, dezembro, e o mês com maior número de movimentos, agosto. O resultado foi:

$$D = \frac{89}{284} * 100 = 31,3\%$$

Relativamente ao número de movimentos mensais, é possível confirmar que este é o aeroporto menos movimentado, do universo escolhido, podendo ser o melhor candidato para uma solução de controlo múltiplo.

No que toca ao número de movimentos mensais, observa-se um aumento entre maio e setembro, correlacionando-se com o Verão. Também é importante referir que existe um ligeiro aumento deste valor entre dezembro e janeiro do ano seguinte (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.** do Anexo **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), podendo corresponder às deslocações de familiares de habitantes da ilha ou mesmo com o turismo.

Relativamente ao número de movimentos diários, volta-se a confirmar que este aeroporto tem pouco movimento. Tal acaba por transpor para o horário de

funcionamento do aeroporto, que é o mais curto de todos do estudo. Este facto influencia o número de movimentos que ocorrem a cada média.

No mês mais movimentado, apenas ocorre 1 movimento a cada 45 minutos, aproximadamente. Outro aspeto a referir nos resultados obtidos é a diferença de movimentos/hora para o mês mais crítico e para o mês com menor número de movimentos, que é de aproximadamente 0,9 movimentos.

Relativamente à diferença entre os meses limite, este é o aeroporto com o melhor resultado de todos. Apesar de elevado, a alocação de RH neste aeroporto é mais balanceada quando comparado com os demais.

O aeroporto das Flores é, então, o melhor candidato de todos à implementação de uma TCR. O número de movimentos horários permite também aliar este aeroporto a outro, para um controlo múltiplo. No entanto, a análise do CCR é importante, de forma a confirmar a viabilidade da solução de CR.

4.2.4 Aeroporto das Flores

O aeroporto das Flores é o aeroporto menos movimentado do grupo escolhido para o estudo. Tal afirmação pode ser confirmada na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Média de movimentos mensais para o aeroporto das Flores, de 2019 a 2022

Ano	2019	2020	2021	2022
Média	154	105	141	174

O aeroporto das Flores segue a mesma tendência dos demais aeroportos no que toca à sazonalidade dos movimentos. Tal pode ser conferido na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto das Flores em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Total
AER FLO	116	100	117	168	184	227	270	284	252	179	106	89	2.092

Segue-se o cálculo da média de movimentos diários, utilizando a equação 3.3. Os resultados encontram-se na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Número de movimentos diários (média) no aeroporto das Flores em 2022

2022													
------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER FLO	3,74	3,57	3,77	5,60	5,94	7,57	8,71	9,16	8,40	5,77	3,53	2,87

Segue-se com o cálculo do número de movimentos que ocorrem a cada hora, em média. O horário de funcionamento do aeroporto é desde as 09:30h até às 16:30h [97], traduzindo-se em 7 horas de funcionamento. Os resultados encontram-se na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto das Flores em 2022

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
AER FLO	0,53	0,51	0,54	0,80	0,85	1,08	1,24	1,31	1,20	0,82	0,50	0,41	

Por fim, calcula-se a diferença entre o mês com menor volume de movimentos, dezembro, e o mês com maior número de movimentos, agosto. O resultado foi:

$$D = \frac{89}{284} * 100 = 31,3\%$$

Relativamente ao número de movimentos mensais, é possível confirmar que este é o aeroporto menos movimentado, do universo escolhido, podendo ser o melhor candidato para uma solução de controlo múltiplo.

No que toca ao número de movimentos mensais, observa-se um aumento entre maio e setembro, correlacionando-se com o Verão. Também é importante referir que existe um ligeiro aumento deste valor entre dezembro e janeiro do ano seguinte (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.** do Anexo **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), podendo corresponder às deslocações de familiares de habitantes da ilha ou mesmo com o turismo.

Relativamente ao número de movimentos diários, volta-se a confirmar que este aeroporto tem pouco movimento. Tal acaba por transpor para o horário de funcionamento do aeroporto, que é o mais curto de todos do estudo. Este facto influencia o número de movimentos que ocorrem a cada média.

No mês mais movimentado, apenas ocorre 1 movimento a cada 45 minutos, aproximadamente. Outro aspeto a referir nos resultados obtidos é a diferença de movimentos/hora para o mês mais crítico e para o mês com menor número de movimentos, que é de aproximadamente 0,9 movimentos.

Relativamente à diferença entre os meses limite, este é o aeroporto com o melhor resultado de todos. Apesar de elevado, a alocação de RH neste aeroporto é mais balanceada quando comparado com os demais.

O aeroporto das Flores é, então, o melhor candidato de todos à implementação de uma TCR. O número de movimentos horários permite também aliar este aeroporto a outro, para um controlo múltiplo. No entanto, a análise do CCR é importante, de forma a confirmar a viabilidade da solução de CR.

4.2.5 Aeroporto de Ponta Delgada/João Paulo II

O aeroporto de Ponta Delgada possui o maior número de movimentos mensais, como seria de esperar uma vez que é o principal aeroporto do arquipélago. Os dados relativos à média de movimentos anuais encontram-se na Tabela 4.17.

Tabela 4.17: Média de movimentos mensais para o aeroporto das Flores, de 2019 a 2022

Ano	2019	2020	2021	2022
Média	1.766	1.052	1.459	1.977

Apesar de ser o maior aeroporto dos Açores, volta-se a verificar a mesma sazonalidade no que toca ao número de movimentos. Os dados relativos a 2022 encontram-se na Tabela 4.18.

Tabela 4.18: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) para o aeroporto de Ponta Delgada em 2022

2022												
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER PON	1.277	1.113	1.446	1.979	2.098	2.450	2.874	2.899	2.594	2.047	1.394	1.556
Tot al	23.727											

O estudo segue com o cálculo da média de movimentos diários, tal como fora discriminado na metodologia apresentada, utilizando a equação 3.3. Os resultados encontram-se na Tabela 4.19.

Tabela 4.19: Número de movimentos diários (média) no aeroporto de Ponta Delgada em 2022

2022												
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER PON	41,19	39,75	46,65	65,97	67,68	81,67	92,71	93,52	86,47	66,03	46,47	50,19

Por fim, calcula-se a média de movimentos horários segundo a equação 3.5. O horário do aeroporto utilizado foi das 05:00h às 24:00h [98], traduzindo-se em 19 horas de funcionamento. Os resultados encontram-se na Tabela 4.20.

Tabela 4.20: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto de Ponta Delgada em 2022

2022												
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER	2,17	2,09	2,46	3,47	3,56	4,30	4,88	4,92	4,55	3,48	2,45	2,64
PON												

Finalmente, efetua-se o cálculo entre o mês com menor número de movimentos, fevereiro, com o mês de maior número de movimentos, agosto. O resultado obtido foi:

$$D = \frac{1113}{2899} * 100 = 38,4\%$$

Analisando o número de movimentos mensais, entre os meses de abril e setembro denota-se um aumento no número de movimentos, correspondendo à altura do Verão. Outro aspeto a referir é, ao contrário dos outros aeroportos, que não se verifica um aumento no número de movimentos entre dezembro e janeiro do ano seguinte.

Relativamente ao número de movimentos diários, em média, confirma-se que estes valores são bastante mais elevados quando comparados com os restantes aeroportos. Este número mais alto poderá ter tido alguma influência no horário de funcionamento do aeroporto, que é o mais alargado do conjunto (19 horas de funcionamento).

Relativamente ao número de movimentos por hora, apesar de o aeroporto de Ponta Delgada ser o mais movimentado, o máximo verifica-se em agosto, onde o CTA controla 4,92 movimentos/hora, resultando no controlo de 1 movimento a cada 12 minutos (aproximadamente). Novamente, este aeroporto é um bom candidato para a instalação de uma TCR. No entanto, o controlo de pelo menos 2 aeroportos não pode incluir este, já que o número de conflitos a nível dos movimentos poderá ser mais elevado.

Relativamente à diferença calculada, o aeroporto possui o segundo menor valor nesta métrica.

Resumindo, o aeroporto de Ponta Delgada também é um bom candidato para a instalação de uma TCR. No entanto, tem de ser analisada a diferença entre os meses limite com o CCR.

4.2.6 Controlo remoto dos vários aeroportos

Tendo sido realizado o estudo para cada um dos aeroportos, o próximo passo passa pela integração destes sobre um local único, o CCR. Como descrito na metodologia apresentada, o primeiro passo é a soma dos movimentos dos vários aeroportos. Os dados encontram-se na Tabela 4.21.

Tabela 4.21: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) entre os vários aeroportos e o CCR

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	TOTAL
AER SMA	215	195	216	215	237	254	390	405	333	228	192	193	3.073
AER PON	1.277	1.113	1.446	1.979	2.098	2.450	2.874	2.899	2.594	2.047	1.394	1.556	23.727
AER HOR	326	284	347	455	444	525	668	663	656	436	306	311	5.421
AER FLO	116	100	117	168	184	227	270	284	252	179	106	89	2.092
CCR	1.934	1.692	2.126	2.817	2.963	3.456	4.202	4.251	3.835	2.890	1.998	2.149	34.313

No Gráfico 4.1 apresentam-se os movimentos de cada um dos aeroportos, e aqueles de um hipotético CCR.

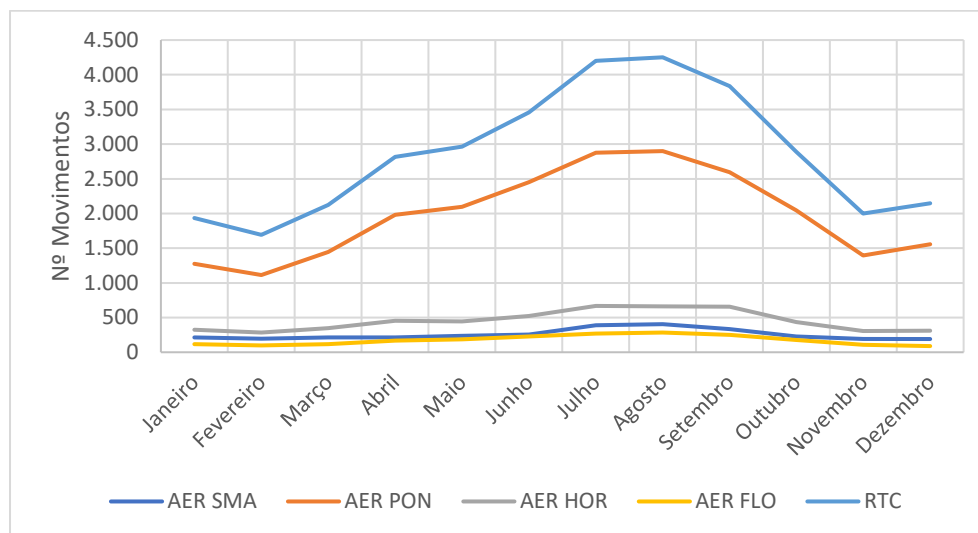


Gráfico 4.1: Número de movimentos em cada aeroporto e para um CCR, para 2022

De seguida, desenvolve-se o cálculo da diferença entre o mês com menor número de movimentos e o mês com maior volume. Para o caso do CCR, os meses são, respetivamente, fevereiro e agosto. O resultado obtido foi:

$$D = \frac{1692}{4202} * 100 = 39,8\%$$

Analisando o número de movimentos, como seria de esperar, estes seguem a mesma tendência dos vários aeroportos que compõem o CCR. Entre abril e setembro o número de movimentos é mais elevado quando comparado com o resto do ano. Outro aspeto a referir é de a linha de tendência ser imposta pelo maior aeroporto da região (Ponta Delgada, neste caso).

Para a análise à diferença entre os meses limite, importa apresentar também as demais diferenças, como se encontra na Tabela 4.22.

Tabela 4.22: Diferença percentual dos meses de movimentos extremos, para os vários aeroportos e para o CCR

2022	AER SMA	AER PON	AER HOR	AER FLO	CCR
Diferença (%)	47,41	38,39	42,51	31,34	39,80

Segundo estes dados, a solução do CCR produz uma menor diferença quando comparado com os aeroportos de Santa Maria e da Horta. No entanto, este valor é maior quando comparado com os aeroportos das Flores e de Ponta Delgada. Ora, e principalmente o aeroporto das Flores, se fosse integrado num CCR, haveria uma degradação do balanço na carga de trabalho dos CTAs. Mas a implementação de uma TCR pode se justificar, muito devido ao volume de movimentos diários ser baixo.

Para os restantes aeroportos, a instalação de uma TCR, e subsequente integração num CCR mostra-se vantajosa, uma vez que a diferença calculada é inferior para o caso do CCR. Isto pode-se traduzir numa otimização dos RH alocados ao CCR, obtendo-se ganhos ao nível dos gastos relacionados com os CTAs.

Outro aspeto a considerar é o do controlo de vários aeroportos por um só CTA. Segundo os resultados obtidos para os aeroportos de Santa Maria e das Flores, o volume de movimentos que ocorrem a cada hora é suficientemente baixo para existir a possibilidade da agregação do controlo destes aeroportos por 1 só CTA.

Dado que o aeroporto das Flores possui uma diferença inferior, quando comparado com o CCR, pode-se analisar o CCR sem este aeroporto. Tal estudo permitirá verificar se o CCR ganha alguma eficiência ou não. Os dados obtidos encontram-se na Tabela 4.23.

Tabela 4.23: Número de movimentos mensais (IFR e VFR) entre os vários aeroportos (excluindo o aeroporto das Flores) e o CCR

2022													
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	TOTAL
AER SMA	215	195	216	215	237	254	390	405	333	228	192	193	3.073
AER PON	1.277	1.113	1.446	1.979	2.098	2.450	2.874	2.899	2.594	2.047	1.394	1.556	23.727
AER HOR	326	284	347	455	444	525	668	663	656	436	306	311	5.421
RTC	1.818	1.592	2.009	2.649	2.779	3.229	3.932	3.967	3.583	2.711	1.892	2.060	32.221

Estes resultados são apresentados de uma forma visual no Gráfico 4.2.

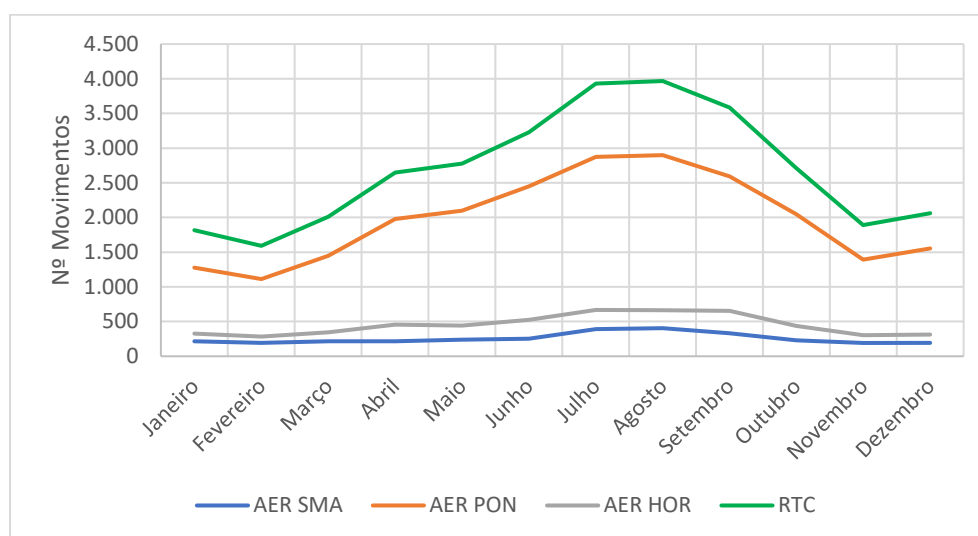


Gráfico 4.2: Número de movimentos mensais para os vários aeroportos (excluindo o aeroporto das Flores) e para o CCR, em 2022

Por fim, o cálculo da diferença dos meses limite encontra-se na Tabela 4.24.

Tabela 4.24: Diferença percentual dos meses de movimentos extremos, para os vários aeroportos (excluindo o aeroporto das Flores) e para o CCR, para 2022

2022	AER SMA	AER PON	AER HOR	CCR
Diferença (%)	47,41	38,39	42,51	40,13

Como seria de esperar, o número de movimentos associados ao CCR continua a seguir a mesma tendência imposta pelo aeroporto de Ponta Delgada. Os meses extremos continuam a ser os mesmos, ou seja, o maior número de movimentos verifica-se em agosto, enquanto o menor número confirma-se em fevereiro.

No entanto, a exclusão do aeroporto das Flores resultou num desempenho pior do CCR, passando de 39,8% para 40,1%. Neste caso, a aplicação de uma TCR só se justificaria nos

aeroportos de Santa Maria e da Horta. Estes resultados permitem afirmar que o desempenho nesta métrica, para o CCR, melhora com a introdução de mais aeroportos.

Outro aspeto a referir é que o tipo dos movimentos não auxilia esta métrica. Ou seja, os aeroportos seguem todos a mesma tendência no número de movimentos, não havendo nenhum par que se complemente. Nessa situação, os ganhos desta solução seriam notórios⁴.

Concluindo, a solução da implementação de várias TCR, e agregar o controlo num CCR, para o caso dos Açores apenas se justifica com os 4 aeroportos apresentados.

Tal como tinha sido referido, o presente estudo apenas assume o controlo de cada aeroporto por 1 CTA. Mas tal afirmação não corresponde à realidade, já que em cada aeroporto estão alocados vários CTAs, que seriam transportados para o CCR. Uma análise cuidada à eficiência dos RH é essencial, pois permite entender se existe alguma margem para otimizar os turnos.

4.3 CTAs associados a cada turno

Uma das grandes vantagens das TCRs é a possibilidade da otimização dos RH associados a cada turno. Apesar do controlo dos movimentos ser feito por apenas um CTA, os turnos podem incluir outros profissionais deste tipo, para estarem prontos a agir caso aconteça algo de inesperado. A inclusão do controlo dos vários aeroportos num só CCR permite uma alocação de RH de uma forma mais eficiente, podendo haver inclusive uma diminuição do número de trabalhadores por turno.

A solução do controlo remoto apenas se justifica, em termos humanos, caso a carga de trabalho dos CTAs possa ser otimizada. A premissa é de aumentar os movimentos a controlar por um controlador que tenha uma baixa carga e aliviar a carga aos CTAs com muitos movimentos a seu cargo.

Uma das soluções para este problema envolve o controlo de vários aeroportos ao mesmo tempo. Como fora referido no Estado da Arte, uma das grandes vantagens das TR é a possibilidade do controlo de vários aeroportos ao mesmo tempo por um só CTA, otimizando assim o RH ao seu máximo.

Assim, o número de CTAs por aeroporto encontra-se na Tabela 4.25.

⁴ Conferir com o estudo de Josefsson et al. [91], onde 2 aeroportos têm movimentos complementares, resultando num CCR com um desempenho muito melhor.

Tabela 4.25: Número de CTAs alocados, por turno, a cada um dos aeroportos estudados

Aeroporto			
Santa Maria	Horta	Flores	Ponta Delgada
1	2	1	2

A capacidade de controlo de cada um dos aeroportos por hora, $C_H(AP_i)$ é calculada utilizando a equação 3.8. Os resultados encontram-se na Tabela 4.26.

Tabela 4.26: Capacidade de controlo máximo, por hora, para vários aeroportos

Aeroporto			
Santa Maria	Horta	Flores	Ponta Delgada
10 movimentos	20 movimentos	10 movimentos	20 movimentos

O próximo passo é o cálculo do excesso de movimentos, $EM_H(AP_i)$, segundo a equação 3.9. Este cálculo realiza-se tanto sobre o mês mais crítico, bem como para o mês com menor número de movimentos. Os resultados encontram-se tanto na Tabela 4.27 como na Tabela 4.28.

Tabela 4.27: Excesso de movimentos, por hora, para os aeroportos estudados, para o mês com menor volume de movimentos, em 2022

Aeroporto			
Santa Maria	Horta	Flores	Ponta Delgada
9,59	17,91	19,05	9,59

Tabela 4.28: Excesso de movimentos, por hora, para os aeroportos estudados, para o mês de agosto 2022

Aeroporto			
Santa Maria	Horta	Flores	Ponta Delgada
9,13	15,08	17,92	8,69

Prossegue-se com o cálculo do excesso de controladores. Tal como fora afirmado, os resultados serão sempre arredondados por defeito. Utilizando a equação 3.10, obtiveram-se os resultados da Tabela 4.29.

Tabela 4.29: Excesso de CTAs alocados para cada um dos aeroportos

Aeroporto			
Santa Maria	Horta	Flores	Ponta Delgada
0	1	1	0

Por fim, calcula-se o número de CTAs necessários, que serão associados ao CCR por turno. Tal cálculo realiza-se com a equação 3.11, e para o mês mais crítico, já que será neste mês onde os gastos com este pessoal são maiores. Os resultados encontram-se na Tabela 4.30.

Tabela 4.30: Número de CTAs necessários para controlar cada um dos aeroportos a partir do CCR, para o mês de maior movimentação em 2022

Aeroporto			
Santa Maria	Horta	Flores	Ponta Delgada
1	1	1	1

Analisando os resultados obtidos, o número de CTAs alocado a cada turno mantém-se constante para os aeroportos de Santa Maria e das Flores, e existe uma diminuição de 1 CTA para os restantes aeroportos. Seguindo a metodologia exposta, adiciona-se 1 CTA ao CCR como reserva. Ora, isto permite afirmar que existe uma otimização dos RH por turno, já que existe uma diminuição geral de 1 CTA.

Outro aspeto a confirmar é a relação destes números com a diferença calculada para o mês com maior volume de movimentos, e o menor número de movimentos. Apesar da diferença ser considerável, não existe uma ineficiência na alocação dos RH aos turnos, pelo que a viabilidade da implementação de várias TCR terá de assentar na análise económica.

No que toca à totalidade dos trabalhadores contratados, este estudo não analisa a diminuição deste recurso. Assume-se assim para o estudo económico a manutenção da totalidade dos trabalhadores.

4.4 Custos envolvidos

A análise aos custos de operação, como foi referido anteriormente, não envolverá os custos reais dos equipamentos, por não estarem publicamente disponíveis. No entanto, utilizar-se-ão os custos estimados obtidos no estudo publicado por Kearney e Li, [90].

Outro aspeto a ter em conta é do não conhecimento da implementação em concreto da instalação das TCR nos vários aeroportos. Poderá ser correto assumir que nenhuma infraestrutura terá de ser requalificada, ou seja, os equipamentos que constituem a TCR serão instalados na TCT. Mas, de forma que o estudo envolva todas as variáveis possíveis, ir-se-á assumir a necessidade de uma edificação nova. Utilizando a equação 3.14, o Capex obtido para cada aeroporto foi:

$$Capex_{dif} = (2.000.000 + 2.000.000) - (12.000.0000) = -8.000.000 \text{ €}$$

Ou seja, caso se tivesse de construir 4 edifícios novos, a redução de custos seria igual a:

$$Capex_{dif} = (2.000.000 + 2.000.000) * 4 - (12.000.0000) * 4 = -32.000.000 \text{ €}$$

Avançando para o estudo para o Opex, o primeiro passo passa pelo cálculo dos custos com os CTAs. Apesar da necessidade de RH por turno diminuir, não foi estudado a diminuição do número de CTAs. Assim, e para a realidade que se verifica, o número de CTAs empregues mantém-se constante. Na Tabela 4.31 apresentam-se o número total de CTAs empregues.

Tabela 4.31: Custos associados aos CTAs

CTAs	
Número	Custo unitário
30	100.000 €

O Opex relacionado com os CTAs, é:

$$Opex_{CTAs} = 30 * 100.000 = 3.000.000 \text{ €}$$

O próximo passo envolve o cálculo do Opex comparativo, entre a TCR e a TCT. Utilizando a equação 3.20, o resultado obtido foi:

$$\begin{aligned} Opex_{geral} &= (400.000 * 4 + 30 * 100.000) - (1.200.000 * 4 + 30 * 100.000) \\ &= -3.200.000 \text{ €} \end{aligned}$$

O penúltimo passo passa pelo cálculo dos custos anuais relacionados com a TCR. Para tal, e seguindo a metodologia proposta e a equação 3.21, obteve-se o seguinte resultado:

$$C_{ano}(TCR) = \left(\frac{2.000.000}{30} + 200.000 + \frac{2.000.000}{8} \right) * 4 + 100.000 * 30 = 5.866.666,57 \text{ €}$$

O custo anual calculado é então:

$$C_{ano} = C_{ano}(TCR) - C_{ano}(TCT) = 5.866.666,57 - 9.400.000 = -3.533.333,33 \text{ €}$$

Analisando os resultados obtidos, e começando pelo Capex, denota-se que a solução da construção de um edifício para albergar apenas as câmaras e os sistemas a instalar é economicamente mais responsável. Apesar de a metodologia aplicada não introduzir uma componente para os equipamentos instalados na TCT, o preço destes será o mesmo para a TCR pelo que a inclusão deste valor seria anulada no cálculo.

Uma TCT envolve um maior custo pois tem de garantir que os profissionais que lá laboram têm um local seguro, com todos os equipamentos e serviços necessários (sistema de HVAC, elevadores, etc.). Por este aspeto, a instalação de uma TCR é mais

viável, já que se propõe como uma solução com um custo de entrada muito mais reduzido.

Relativamente aos custos envolvidos com os CTAs, como não existe uma alteração no número de trabalhadores empregues, o valor mantém-se constante, nos 3.000.000 €/ano que a empresa tem. No entanto, no que toca ao Opex comparativo, a solução da TCR demonstra-se muito mais apelativa. Tal justifica-se por ter custos de operação muito mais baixos, especialmente no que respeita à manutenção do edifício.

Por último, o cálculo dos custos anuais volta a demonstrar que a solução da implementação das TCR é a opção mais viável. Tendo em conta o Opex e os custos de depreciação de ambas as soluções, o resultado obtido volta a ser negativo. Segundo a metodologia proposta, um valor negativo neste campo corresponde a um cenário positivo, já que existe um excedente de capital anual que pode ser aplicado noutras áreas.

Ora, os resultados obtidos permitem afirmar que a implementação de várias TCR nos aeroportos estudados, no ponto de vista económico, é mais viável do que manter as TCT em funcionamento.

Também é importante referir a seguinte comparação entre o Capex e os custos anuais. Mesmo que não se aplique a situação onde seja necessário a construção de um novo edifício para albergar os equipamentos associados às TCR, a poupança anual supera os gastos iniciais.

É importante novamente referir que os dados utilizados são uma estimativa. Para que o cálculo seja o mais real possível, a obtenção dos dados relacionados com os vários elementos é imperativa.

4.5 Comparação com um caso real

A validação do modelo utilizado passa pela comparação dos resultados obtidos de um caso real. O caso real a utilizar é o já referido aeroporto de *London City* (LCY).

Este aeroporto assemelha-se ao de Ponta Delgada, sendo um aeroporto de média dimensão, quando comparado com o número de movimentos controlados [99], [100], [101], [102], [103], [104], [105], [106], [107], [108], [109], [110], [111], [112]. Tais valores podem ser conferidos na Tabela 4.32.

Tabela 4.32: Número de movimentos mensais para o aeroporto de *London City*, em 2022

2022												
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER LCY	1.592	2.207	3.444	4.156	4.716	4.455	4.311	4.224	4.566	4.524	4.441	7.301
Total	49.937											

Utilizando a metodologia apresentada para o estudo do aeroporto, calculou-se a média de movimentos diários. Os resultados encontram-se na Tabela 4.33.

Tabela 4.33: Número de movimentos diários (média) no aeroporto de *London City*, em 2022

2022												
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER LCY	51,35	78,82	111,10	138,53	152,13	148,50	139,06	136,26	152,20	145,94	148,03	235,52

Por fim, calcula-se a média de movimentos por hora. Para este cálculo, é necessário utilizar o horário do aeroporto. No entanto, dependendo do dia da semana e da altura do ano, este pode alterar. Utilizou-se o horário que compreende a maioria do ano, que neste caso é desde as 04:45h até às 22:00h, traduzindo-se em 17:15h de funcionamento (para efeitos de cálculo, este valor é de 17.25h). Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.34.

Tabela 4.34: Número de movimentos por hora (média) no aeroporto de *London City*, em 2022

2022												
Mês	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
AER LCY	2,98	4,57	6,44	8,03	8,82	8,61	8,06	7,90	8,82	8,46	8,58	13,65

Analisando os números mensais, os movimentos mantêm-se constantes ao longo do ano, com a exceção do mês de janeiro e do mês de dezembro. Mas, e como seria de esperar de um aeroporto desta natureza, o número de movimentos totais é superior aos associados ao CCR nacional (1,46 vezes, aproximadamente).

Relativamente ao número de movimentos diários, este número é bastante mais elevado que ao analisado para cada um dos aeroportos nacionais. Outro aspeto a referir é a manutenção desta média durante grande parte do ano, com as exceções dos meses de janeiro, dezembro, mas também do mês de fevereiro.

Analisando a média de movimentos que ocorrem a cada hora, este valor mantém-se abaixo da restrição imposta na metodologia do máximo de 10 movimentos. No entanto,

o mês de dezembro excede este limite. O limite no caso do aeroporto de *London City* é o número de CTAs disponíveis.

Por fim, efetua-se a análise da diferença entre os meses limite, que no caso do aeroporto de *London City* são janeiro e dezembro. Utilizando a equação 3.7, verifica-se que esta diferença é de 21,8%. Este valor permite entender que a alocação de CTAs ao CCR é mais eficiente que aquela verificada em Portugal.

Com o estudo a devolver resultados promissores na análise horária e da diferença de movimentos, entende-se num ponto de vista operacional a vantagem que a solução do CR introduziu neste aeroporto. Também é de afirmar que um balanceamento no número de voos permite que os RH sejam otimizados e, assim, os custos associados com estes trabalhadores são menores.

Na decisão da instalação da TCR neste aeroporto, pesaram em grande parte os custos de construção de uma TCT nova [8], [52], [54], já que a torre de controlo instalada estava em fim de vida, e necessitava de ser reabilitada. Tal estudo, dada a natureza dos dados disponíveis para o caso português (ou a falta destes) não foi possível efetuar.

4.6 Conclusão

O principal objetivo do presente capítulo foi a aplicação da metodologia proposta aos dados obtidos, efetivando o estudo que inicialmente fora proposto.

No presente caso, o objetivo foi a verificação da viabilidade da instalação de várias TCRs nos aeroportos dos Açores, em concreto nos aeroportos de Santa Maria, Horta, Flores e Ponta Delgada.

Para tal, e num primeiro passo, começou-se por analisar o número de movimentos que cada um dos aeroportos teve alocados no ano 2022 (ano onde se obteve a totalidade dos dados do número de movimentos e que não estava sob os efeitos da limitação na livre circulação de pessoas, relacionado com a pandemia COVID-19).

O estudo de movimentos para cada um dos aeroportos envolveu o cálculo da média de movimentos que ocorrem a cada hora. Este cálculo é importante pois permite avaliar se os aeroportos se enquadram nas limitações impostas para a implementação das TCR. O maior limite relaciona-se com o número de movimentos que o CTA pode controlar a cada hora que, segundo a literatura, foi limitado a 10 movimentos/hora. Nenhum dos aeroportos excedeu este valor, sendo que no mês mais crítico para o aeroporto de Ponta

Delgada (o mais movimentado do estudo), o valor foi de 4,92 movimentos/hora, ou seja, 1 movimento a cada 12 minutos.

Nesta primeira parte, calculou-se também a diferença entre o mês menos movimentado e o mês mais movimentado. Este cálculo permite, quando comparado com a solução de agregar o controlo dos aeroportos num só CCR, confirmar se a divergência entre estes 2 meses limite é inferior neste último caso. Caso seja positivo, como foi para 2 dos 4 casos, as divergências na carga de trabalho dos CTAs associados ao CCR são inferiores para o CR e, assim, permite conferir um aumento na produtividade dos CTAs.

O segundo estudo realizado envolveu o cálculo do número de CTAs associados a cada turno. Tendo por base os CTAs contratados atualmente (um total de 30), e os CTAs alocados aos aeroportos a cada turno (6 no total), o estudo procurou entender se existe algum excesso de CTAs em cada turno. Para tal, calculou-se o excesso de movimentos que cada aeroporto tinha a cada hora, tendo em conta os trabalhadores alocados a cada turno (tendo sempre em conta que apenas 1 está a controlar os movimentos durante o turno). A partir deste cálculo conseguiu-se perceber que existe efetivamente um excesso de 2 CTAs alocados a cada turno (nos aeroportos da Horta e de Santa Maria) no entanto, e com a assunção de que deveria existir pelo menos 1 CTA a mais por turno, no CCR, para colmatar qualquer problema que surja, este número passou a ser de 5 CTAs/turno.

Por fim, o cálculo da viabilidade económica baseou-se em dados aproximados de um estudo científico (Kearney e Li, [90]), já que os dados concretos foram impossíveis de se obter.

Começando pela análise do Capex, caso seja necessária a requalificação de qualquer torre de controlo já em funcionamento, este valor entra para o processo de decisão. Neste caso, os valores propostos para a TCR são bastante inferiores aos apresentados para a TCT, mostrando uma redução de gastos em 800.000 €. Por esta via de estudo, a TCR tem um custo de acesso muito menor, mostrando-se a proposta mais viável.

A segunda via de estudo envolve a análise do Opex. Mantendo o número de CTAs empregues, a viabilidade das TCR passa por uma poupança considerável dos custos de manutenção. Isto acontece, já que os custos de operação dos edifícios e dos equipamentos na solução das TCR são bastante inferiores aos verificados para as TCT. Outro aspeto a referir é o custo anual, que para além de envolver o Opex, leva em consideração os custos de depreciação. Ora, também este cálculo devolveu resultados positivos para a TCR, existindo uma redução de custos de aproximadamente 3.500.000 €.

Por fim, mesmo que o objetivo seja a utilização da torre de controlo já presente no aeroporto, eliminando a comparação do Capex, as poupanças anuais verificadas permitem afirmar que os equipamentos, ao final de 1 ano, ficariam “pagos”.

Com estes vários aspetos em mente, é correto afirmar que a implementação das TCR nos aeroportos dos Açores é viável, permitindo dotar os aeroportos de uma solução de controlo mais tecnológica, e com elementos que melhoram este serviço.

Capítulo 5

5 Conclusão

5.1 Síntese da dissertação

Com o avanço com tecnológico em diversas áreas e com a necessidade das empresas racionalizarem os seus custos de exploração, nomeadamente no que concerne aos recursos humanos, o conceito das torres de controlo remotas tem vindo a emergir como uma opção muito vantajosa.

Um dos problemas verificados atualmente é a carência de controladores de tráfego aéreo, tornando importante a otimização da gestão destes recursos humanos, não esquecendo também o seu elevado custo.

O conceito do controlo remoto pode ainda, não sendo um fator a descurar, a premissa da deslocalização do local de trabalho do CTA do aeroporto para um centro de controlo distante da torre convencional. Isto abre a possibilidade ao controlo de vários aeródromos mundiais que, por serem demasiado remotos ou de difícil acesso, ou mesmo por não ser viável a prestação do serviço de controlo de tráfego a partir do próprio local, atualmente não são controlados (ou encontram-se em vias de deixarem de ser controlados).

No lado do aeroporto, são instalados vários equipamentos que são utilizados na arquitetura da TCR. Além dos sistemas já em funcionamento, são instaladas câmaras panorâmicas, com sensores de infra vermelhos, câmaras *pan-tilt-zoom*, PTZ, sistemas de comunicação, entre outros.

No que diz respeito ao centro de controlo remoto, têm de ser instalados vários equipamentos que permitam ao CTA operar de forma eficiente e eficaz.

Relativamente ao estudo realizado para os aeroportos dos Açores, o primeiro aspeto a referir é o número de movimentos anuais. Para os aeroportos estudados (Santa Maria, Horta, Flores e Ponta Delgada), verifica-se que este valor segue a tendência mundial de crescimento. Avançando para o estudo dos movimentos diários, nos aeroportos de Santa Maria e das Flores, para o mês com mais movimentos, este valor quando calculado segundo a métrica horária fica abaixo do 1 movimento/hora para Santa Maria, e 1,3 movimentos/hora para o aeroporto das Flores. No aeroporto da Horta, para o mês com

maior volume de movimentos, este valor é de 2,05 movimentos/hora. Por fim, no aeroporto de Ponta Delgada, este valor é de 4,91 movimentos/hora. Ora, tendo em conta o máximo de 10 movimentos/hora definido na metodologia, verifica-se que por esta métrica a instalação das TCR é viável e com ganhos de eficiência.

A diferença entre os meses limites nos vários aeroportos e a solução do CR, a solução inovadora mostra-se bastante mais viável para 2 dos 4 aeroportos, permitindo afirmar que existe uma menor diferença no tráfego controlado entre os meses limite no CCR que nesses 2 aeroportos.

Relativamente ao estudo do número de CTAs necessários no CCR, a metodologia aplicada leva a que se confirme a necessidade de 5 CTAs, ao invés dos 6 atualmente empregues por turno. Neste estudo, calculou-se o excesso de CTAs que existem por turno, segundo a métrica do número de movimentos. Tanto no aeroporto da Horta, bem como no aeroporto de Ponta Delgada, quando agregadas no CCR, possuem um excesso de 1 CTA por turno. Este resultado terá certamente um grande impacto nos custos operacionais envolvidos no controlo remoto, confirmando a vantagem da sua utilização.

Por fim, confirma-se a viabilidade económica da instalação de várias TCR. O estudo começou por analisar os custos de implementação, caso fosse necessário requalificar a torre de controlo instalada em cada um dos aeroportos. O processo de decisão passaria por analisar qual das opções é a que envolve um menor custo de entrada. Ora, perante os 4 aeroportos, a poupança que se tem aquando da instalação das TCR em detrimento das TCT é de 3.200.000 €.

Relativamente aos custos de operação, mais precisamente os custos anuais, os associados às TCR voltam a ser menores que os relacionados com as TCT, refletindo uma poupança anual de 3.533.333,33 €.

Perante estas conclusões, permite-se afirmar com toda a certeza (com os dados disponíveis, especialmente a projeção feita para a métrica económica) que a instalação de várias TCR nos aeroportos dos Açores se justifica. Tal implementação abre novas formas de otimização do controlo de tráfego aéreo, nomeadamente o controlo em situações climatéricas adversas, ou a implementação de algoritmos de inteligência artificial.

5.2 Considerações Finais

O estudo desta nova forma de controlo é imperativo para um mundo cada vez mais tecnológico, e onde existem cada vez menos CTAs empregues.

Existem vários aspetos a estudar, desde a viabilidade económica da instalação desta solução em um ou vários aeroportos, até à análise de possíveis implementações de certos sistemas que auxiliem os trabalhadores, como a inclusão da IA para identificação das aeronaves.

No entanto, o maior problema que se verifica é a classificação de certas matérias como reservadas e, assim, fechando a porta a possíveis estudos que podem impulsionar esta solução.

Entrando em detalhe nos problemas que afetaram a presente dissertação, o primeiro aspeto relaciona-se com a falta de exposição por parte das várias entidades dos sistemas que tencionam implementar e a constituição destes. Apesar de alguns OEMs, como a SAAB AB, apresentarem uma lista de possíveis equipamentos (ver Anexo A.1), o grande problema é que dependendo da empresa fornecedora deste tipo de serviço, do OEM, ou mesmo das características do aeroporto, não existe uma listagem pré-definida de equipamentos a instalar, mesmo que na literatura científica se proponha que na maioria dos casos, tal se mantém constante.

Apesar de existir uma entidade regional de estatística, não é da competência desta entidade o controlo real destes números. Tal obrigação passa pela ANAC, ou mesmo pela NAV Portugal.

A ANAC, ao contrário do que acontece no Reino Unido, publica anuários e relatórios trimestrais. No primeiro tipo de relatório, apresentam um número total de movimentos para cada aeroporto nacional. Ora isto é um grande problema pois uma média de movimentos para cada mês não é a métrica mais correta, pois em grande parte dos aeroportos nacionais o grosso destes movimentos acontece na altura do Verão, relacionando-se com as férias de muitos turistas. No que diz respeito aos relatórios trimestrais, a ANAC apresenta o número de movimentos para os principais aeroportos nacionais, não apresentando os valores para os aeroportos que foram alvo de estudo no âmbito desta dissertação.

No que respeita aos dados, apesar de existir uma entidade regional de estatística, não é da competência desta entidade o controlo real destes números.

A ANAC, ao contrário do que acontece no Reino Unido, publica anuários e relatórios trimestrais. No primeiro tipo de relatório, apresentam um número total de movimentos para cada aeroporto nacional. Ora isto é um grande problema pois uma média de movimentos para cada mês não é a métrica mais correta, pois em grande parte dos aeroportos nacionais o grosso destes movimentos acontece na altura do Verão, relacionando-se com as férias de muitos turistas. No que diz respeito aos relatórios trimestrais, a ANAC apresenta o número de movimentos para os principais aeroportos nacionais, não apresentando os valores para os aeroportos que foram alvo de estudo no âmbito desta dissertação.

A obtenção destes dados para tratamento neste trabalho foram solicitados à NAV Portugal.

Outro aspeto a referir envolve a falta de dados económicos de todos os investimentos para uma análise mais precisa e global. Estes dados permitiriam produzir um estudo mais concreto e conciso, e que não necessitasse de se basear em dados aproximados propostos num estudo científico. Apesar dos dados utilizados na presente dissertação serem de confiança, tal afirmação não pode ser feita com 100% de certeza, muito devido ao desconhecimento da realidade nacional perante este aspeto.

Outro aspeto a referir envolve a falta de dados económicos que permitam todo e qualquer estudo de viabilidade. Compreende-se a vontade das várias entidades de manter privado este tipo de investimentos, especialmente num estudo que envolveria a descrição dos gastos, de forma individual. No entanto, tal secretismo poderia ser levantado perante os custos gerais. Esta simples abertura permitira produzir um estudo mais concreto e conciso, e que não necessitasse de se basear em dados aproximados propostos num estudo científico. Apesar dos dados utilizados na presente dissertação serem de confiança, tal afirmação não pode ser feita com 100% de certeza, muito devido ao desconhecimento da realidade nacional perante este aspeto.

Todavia, afirma-se que o estudo das torres de controlo remotas é de extrema importância, pois abre a possibilidade do controlo de vários aeródromos nacionais que atualmente podem não possuir qualquer tipo de controlo da pista, ou mesmo que estejam em vias de perder tal controlo, muito devido aos custos associados de operação.

Esta importância é aumentada com o presente estudo que apesar de ter utilizado dados estimados, permitiu verificar a viabilidade económica das TCR, além de confirmar que poderá haver otimizações no número de CTAs alocados a cada turno de trabalho.

5.3 Propostas para investigações futuras

Como fora referido anteriormente, o tema das torres de controlo remotas é uma área bastante interessante, que abre a porta a vários estudos e conceitos que podem se tornar de suma importância.

Um dos primeiros estudos a realizar, e aplicar à realidade nacional, é da definição do conjunto mínimo de equipamentos e sistemas a instalar aquando da implementação de uma TCR. Isto permitirá ter uma configuração base que possa ser instalada em qualquer ponto do país e, assim, ser mais simples a instalação.

Relacionado com a afirmação feita anteriormente, outro estudo a propor é a criação de um modelo económico que, tendo por base a configuração base e os custos de cada um dos elementos a instalar, devolveria tanto os custos de implementação como os de operação das TCR. Este estudo deverá incluir uma comparação com a TCT, permitindo que o processo de decisão seja mais informado perante as vantagens (ou desvantagens) económicas associadas.

Merece também ser alvo de escrutínio as possíveis otimizações ao nível dos RH alocados ao CCR, nomeadamente o tempo dos turnos, formação dos turnos ou mesmo o número de CTAs empregues. Apesar de se apresentar uma análise ao excesso do número de CTAs, caso fossem transferidos para o CCR, existem certas diretrizes que não foram tidas em conta, nomeadamente a quantidade de trabalhadores que têm de estar em prontidão em cada turno.

Por fim, apesar de nesta dissertação se apresentar o que será uma aplicação real, a mesma ainda não está implementada. Será interessante a análise da solução implementada, quer em termos de número de CTAs alocados por turno, como é feito o controlo de cada um dos aeroportos (foi proposto ao longo deste texto a possibilidade dos aeroportos de Santa Maria e das Flores serem controlados em simultâneo), os equipamentos realmente instalados, ou mesmo os custos reais associados com esta solução.

Outro aspeto interessante envolve a análise do processo de decisão tomado, desde a altura da proposta à implementação, e os passos envolvidos em tal processo.

Bibliografia

- [1] S. R. Kelleher, «FAA ‘Lacks A Plan’ For Air Traffic Control Shortage, Per Government Report», *Forbes*. Acedido: 9 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/suzannerowankelleher/2023/06/26/faa-lacks-a-plan-for-air-traffic-control-shortage-per-government-report/>
- [2] G. Wallace, «Airline executives raise alarm that air traffic controller shortage will continue disrupting flights for years», *CNN*. Acedido: 9 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://edition.cnn.com/travel/air-traffic-controller-shortage-airline-executives-alarmed/index.html>
- [3] W. Pan, Y. Luo, S. Han, e L. Zhong, «Summary of reliability analysis methods of remote tower system», em *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021. doi: 10.1088/1755-1315/693/1/012062.
- [4] SESAR Joint Venture, «Smart ATM: Remote Tower». Acedido: 25 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.sesarju.eu/RTS>
- [5] H. Opower e J. Jakobi, «Design Study for a Virtual Work Station for Aerodrome Air Traffic Service Officers», em *Transportation Research Procedia*, 2022, pp. 109–116. doi: 10.1016/j.trpro.2022.12.012.
- [6] F. Reuschling e J. Jakobi, «Remote AFIS: development and validation of low-cost remote tower concepts for uncontrolled aerodromes», *CEAS Aeronaut J*, vol. 13, n. 4, pp. 1067–1083, 2022, doi: 10.1007/s13272-022-00613-2.
- [7] M. Cordeil, T. Dwyer, e C. Hurter, «Immersive solutions for future air traffic control and management», em *Companion Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces: Nature Meets Interactive Surfaces, ISS 2016*, 2016, pp. 25–31. doi: 10.1145/3009939.3009944.
- [8] International Airport Review, «A look back on London City’s digital ATC tower one year on», *International Airport Review*. Acedido: 24 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.internationalairportreview.com/news/176317/a-look-back-on-london-citys-digital-atc-tower-one-year-on/>

- [9] A. Korniienko, J. Vagner, e P. Korba, «Remote Tower: Assessment of Implementation Options in Slovak Civil Airports», em *New Trends in Civil Aviation*, 2022, pp. 185–190. doi: 10.23919/NTCA55899.2022.9934698.
- [10] Z. Yongli, Y. Zhengning, e Z. Liang, «Analysis of Remote Tower System», em *Proceedings of 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology, ICCASIT 2020*, 2020, pp. 128–133. doi: 10.1109/ICCASIT50869.2020.9368521.
- [11] Paul P. Jovanis e F.D. Hobbs, «Air Traffic Control», Britannica. Acedido: 29 de Maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/traffic-control/Air-traffic-control>
- [12] FAA, «Air Traffic Control», FAA. Acedido: 29 de Maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.faa.gov/about/history/photo_album/air_traffic_control
- [13] Union Sindical de Controladores Aéreos, «History of Air Traffic Control». Acedido: 2 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.usca.es/en/profession/history-of-air-traffic-control/>
- [14] FAA, «Archie League, Winter, 1929», FAA. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/images/history/1929-archie-league-winter.jpg>
- [15] Smithsonian, «Control Building at Cleveland Airport», Smithsonian. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/si-2000-6114jpg>
- [16] Wikipedia, «Air Traffic Control», Wikipedia. Acedido: 31 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_control
- [17] M. I. Skolnik, «History of radar», Britannica. Acedido: 8 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/radar/Advances-during-World-War-II>
- [18] Smithsonian, «Ground Control Approach». Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/14276hjpg>

- [19] T. D. Crouch, R. E. Bilstein, e W. J. Boyne, «History of Flight», Britannica. Acedido: 31 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/history-of-flight>
- [20] FAA, «Automation ATC ENRT74», FAA. Acedido: 4 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/images/history/automation-atc/Enrt74.jpg>
- [21] NATCA - National Air Traffic Controllers Association, «A History of Air Traffic Control», *NATCA - National Air Traffic Controllers Association*. NATCA - National Air Traffic Controllers Association, Washington D.C., 2019. Acedido: 31 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.natca.org/wp-content/uploads/2019/12/NATCA_ATC_History.pdf
- [22] bernswaelz, «Tower, Aviation, Airport», Pixabay. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://pixabay.com/photos/tower-aviation-airport-1379715/>
- [23] Paul Beauchamp, «Inside the Edinburgh Tower Visual Control Room», NATS. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://nats.aero/blog/2014/01/tower-tours-edinburgh-iconic-tower-view/>
- [24] Airport Technology, «Air traffic management and control systems for the aviation industry», Airport Technology. Acedido: 31 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.airport-technology.com/buyers-guide/air-traffic-management-control-systems/>
- [25] FAA, «Technology», FAA. Acedido: 4 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/technology
- [26] Airport Technology, «Air traffic management and control systems for the aviation industry», Airport Technology. Acedido: 4 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.airport-technology.com/buyers-guide/air-traffic-management-control-systems/>
- [27] G. Martín, «JO 7210.78 FAA Contract Tower (FCT) New Start and Replacement Tower Process», Jul. 2018. Acedido: 4 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em:

https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/JO_7210.78_Change_1_Only.pdf

- [28] Kongsberg Gruppen, «KONGSBERG Remote Towers - The unique solution», Outubro de 2022. Acedido: 20 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.kongsberg.com/globalassets/kongsberg-defence--aerospace/2.-what-we-do/1.3-defence--security/remote-weapon-systems/kongsbergprt_oct21_crop-marks.pdf
- [29] DFS Aviation Services, «View of the new remote tower at Saarbrücken Airport with a 360-degree camera and two pan-tilt-zoom (PTZ) cameras.» Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://dfs-as.aero/en/remote-tower-feasibility-study-commissioned/>
- [30] EASA, «Remotely Provided Air Traffic Service for Single Aerodrome VALR», 2011. Acedido: 3 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/solution/Sol71%203_Single_Airport_Remote_Tower_VALR%20\(1_0\).pdf.p5y4nyt.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/solution/Sol71%203_Single_Airport_Remote_Tower_VALR%20(1_0).pdf.p5y4nyt.pdf)
- [31] FAA, «Remote Tower Systems (RTS)». [Em linha]. Disponível em: https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/non_federal/remote_tower_systems
- [32] FAA, «Remote Tower (RT) Systems Minimum Functional and Performance Requirements for Non-federal Applications», Fev. 2023.
- [33] FAA, «Remote Tower Systems - Concept of Operations (ConOps)», Abr. 2020.
- [34] FAA, «Remote Tower System Pilot Program - Operational Visual Requirements», Jan. 2023.
- [35] EASA, «Guidance Material on remote aerodrome air traffic services», Mar. 2023.
- [36] EASA, «Guidance Material on the Implementation of the Remote Tower Concept for Single Mode of Operation», Jul. 2015.
- [37] B. Josefsson, J. Jakobi, A. Papenfuss, T. Polishchuk, C. Schmidt, e L. Sedov, «Identification of complexity factors for remote towers», em *SESAR Innovation Days*, 2018.

- [38] HungaroControl, «Multiple Remote Tower successful validation», HungaroControl. Acedido: 7 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://en.hungarocontrol.hu/press-room/news/Successful_first_SESAR_2020_Multiple_Remote_Tower_validation_for_three_airports
- [39] T. Chee Hong e A. S. Mendolia, «Remotely Operated Aerodrome Control at Changi Airport: A Human-in-the-Loop Simulation Assessment», em *AIAA Aviation 2019 Forum*, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Jun. 2019. doi: 10.2514/6.2019-3183.
- [40] C. Moehlenbrink e A. Papenfuss, «ATC-monitoring when one controller operates two airports: Research for remote tower centres», em *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2011, pp. 76–80. doi: 10.1177/1071181311551014.
- [41] SKYbrary, «Remote Tower Service», SKYbrary. Acedido: 12 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/articles/remote-tower-service>
- [42] SESAR Joint Undertaking, «Remote tower for multiple airports», SESAR Joint Undertaking. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sesarju.eu%2Fprojects%2Fremotetower&psig=AOvVaw2giTb5k3g_I2gULWWn9L3b&ust=1689712487739000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBEQjRxaqFwoTCIDyodbLloADFQAAAAAdAAAAABAI
- [43] SAAB AB, *Saab r-TWRTM handbook*, 1.^a ed., vol. 1. SAAB AB, 2023. Acedido: 11 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.saab.com/globalassets/products/ips/saab-digital-air-traffic-solutions/r-twr-handbook-2023.pdf>
- [44] Frequentis, «Frequentis: Remote Towers». Acedido: 26 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2019-06/RVTO>
- [45] Nick Zazulia, «Frequentis’ remote virtual tower setup in the company’s new Innovation Center in Columbia, Maryland.», *Aviation Today*. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em:

<https://www.aviationtoday.com/2019/03/14/remote-virtual-tower-u-s-air-traffic-control/>

- [46] SAAB AB, «Saab Digital Air Traffic Solutions», SAAB AB. Acedido: 11 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.saab.com/sites/saab-digital-air-traffic-solutions>
- [47] SAAB AB, «Electronic Flight Strips (EFS)», SAAB AB. Acedido: 4 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.saab.com/products/electronic-flight-strips-EFS>
- [48] FREQUENTIS, «Remote Digital Tower». Acedido: 20 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.frequentis.com/en/air-traffic-management/tower/remote-digital-tower>
- [49] DLR, «Multiple Remote Tower». Acedido: 18 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.dlr.de/fl/Portaldata/14/Resources/dokumente/veroeffentlichungen/MRTO_EN_web.pdf
- [50] M. Gawade e Y. Zhang, *Synthesis of remote air traffic control system and air traffic controllers' perceptions*, vol. 2600. 2016. doi: 10.3141/2600-06.
- [51] Wikipédia, «Aviation light signals», Wikipédia. Acedido: 26 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Aviation_light_signals
- [52] S. Young, «Ground control out, remote control in at London City Airport», Reuters. Acedido: 24 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/uk/ground-control-out-remote-control-london-city-airport-2021-04-29/>
- [53] SAAB AB, «Saab's Technology Makes London City Airport First Major UK Operator of Remote Air Traffic Control Tower», SAAB AB. Acedido: 24 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.saab.com/newsroom/press-releases/2021/saabs-technology-makes-london-city-airport-first-major-uk-operator-of-remote-air-traffic-control-tower>

- [54] NATS, «London City is first major airport controlled by remote digital tower», NATS . Acedido: 24 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.nats.aero/news/london-city-is-first-major-airport-controlled-by-remote-digital-tower/>
- [55] SAAB AB, «Company In Brief», SAAB AB. Acedido: 2 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.saab.com/about/company-in-brief>
- [56] O. J. D. Barrowclough, S. Briseid, G. Muntingh, e T. Viksand, «Real-Time Processing of High-Resolution Video and 3D Model-Based Tracking for Remote Towers», *SN Comput Sci*, vol. 1, n. 5, 2020, doi: 10.1007/s42979-020-00304-x.
- [57] A. Papenfuss, F. Reuschling, J. Jakobi, T. Rambau, E. Michaelsen, e N. Scherer-Negenborn, «Designing a fusion of visible and infra-red camera streams for remote tower operations», em *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 2020. doi: 10.1109/AERO47225.2020.9172645.
- [58] Group Thales, «Remote Tower». Acedido: 26 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.thalesgroup.com/en/remote-tower>
- [59] FREQUENTIS DFS AEROSENSE, *Remote Digital Tower - Advanced remote sensing*, 1.^a ed., vol. 1. 2019. Acedido: 12 de Junho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.frequentis.com/sites/default/files/support/2020-01/48_AERO_RDT_1119_5.pdf
- [60] FAA, «Paper Flight Strips Currently in Use», FAA. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/technology/tfdm/efs
- [61] S. Fukushima, «Electronic flight progress strip prototype for En route ATC», *IEEE Trans Aerosp Electron Syst*, vol. 38, n. 1, pp. 119–127, 2002, doi: 10.1109/7.993233.
- [62] FAA, «Potential EFS display», FAA. Acedido: 17 de Julho de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/air_traffic/technology/tfdm/efs/efs2c1.png
- [63] ICAO - International Civil Aviation Organization, «REMOTE DIGITAL AERODROME AIR TRAFFIC SERVICES», 41, Set. 2022.

- [64] EASA, «Easy Access Rules for Guidance Material on Remote Aerodrome Air Traffic Services», Jul. 2020.
- [65] Canso, «Remote tower feasibility study commissioned for Braunschweig Wolfsburg and Emden airports in Germany», Canso. Acedido: 2 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://canso.org/remote-tower-feasibility-study-commissioned-for-braunschweig-wolfsburg-and-emden-airports-in-germany/>
- [66] ATC Network, «DFS Group to build Remote Tower Centre for two German airports in partnership with the Frequentis Group», ATC Network. Acedido: 2 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.atc-network.com/atc-news/dfs-deutsche-flugsicherung-gmbh/dfs-group-to-build-remote-tower-centre-for-two-german-airports-in-partnership-with-the-frequentis-group>
- [67] International Airport Review, «World's largest digital tower centre opens in Norway», International Airport Review. Acedido: 15 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.internationalairportreview.com/news/177250/worlds-largest-digital-tower-centre-opens-in-norway/>
- [68] Avinor Air Navigation Services, «Remote Towers». Acedido: 25 de Abril de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://avinor.no/en/avinor-air-navigations-services/services/remote-towers/>
- [69] A. Baker, «London City Airport Digital Control Tower. », Simple Flying. Acedido: 24 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://static1.simpleflyingimages.com/wordpress/wp-content/uploads/2021/04/Digital_Tower_03.jpg?q=50&fit=contain&w=943&h=&dpr=1.5
- [70] BYAÇORES, «Mapa dos Açores - 9 Ilhas do Arquipélago dos Açores», *BYAÇORES*. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fbyacores.com%2Fmapa-dos-acoresh&psig=AOvVawoJc2JxUX_M4wcOsuJyzz3W&ust=1702641429608000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCIDx-97vjoMDFQAAAAAdAAAAABAD

- [71] visit Portugal, «Santa Maria, a ilha do sol», Turismo de Portugal. Acedido: 5 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.visitportugal.com/pt-pt/content/santa-maria-ilha-sol>
- [72] Wikipédia, «Ilha de Santa Maria», Wikipédia. Acedido: 5 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ilha_de_Santa_Maria
- [73] Wikipédia, «Açores», Wikipédia. Acedido: 16 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/A%C3%A7ores>
- [74] visit Portugal, «Faial, ilha azul e cosmopolita», Turismo de Portugal. Acedido: 5 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.visitportugal.com/pt-pt/node/73818>
- [75] visit Portugal, «Ilha das Flores», Turismo de Portugal. Acedido: 14 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.visitportugal.com/pt-pt/destinos/acoresh/73821>
- [76] Wikipédia, «Ilha das Flores», Wikipédia. Acedido: 14 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ilha_das_Flores_\(A%C3%A7ores\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ilha_das_Flores_(A%C3%A7ores))
- [77] Wikipédia, «Ilha de São Miguel», Wikipédia. Acedido: 22 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ilha_de_S%C3%A3o_Miguel#
- [78] visit Portugal, «São Miguel, a ilha verde», Turismo de Portugal. Acedido: 22 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.visitportugal.com/pt-pt/content/sao-miguel-a-ilha-verde>
- [79] Governo dos Açores, «Aeroportos», Governo dos Açores. Acedido: 5 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://transportes.azores.gov.pt/index.php/transportes/transportes-aereos/aeroportos>
- [80] Wikipédia, «Aeroporto João Paulo II», Wikipédia. Acedido: 5 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_Jo%C3%A3o_Paulo_II

- [81] Wikipédia, «Aeroporto de Santa Maria», Wikipédia. Acedido: 5 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_de_Santa_Maria_\(A%C3%A7ores\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_de_Santa_Maria_(A%C3%A7ores))
- [82] José Augusto Leite, «Aeroporto de Santa Maria», Restos de Coleção. Acedido: 16 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://restosdecoleccion.blogspot.com/2013/11/aeroporto-de-santa-maria-nos-acoeres.html>
- [83] O Guia, «Aeroporto de Santa Maria», guiadacidade.pt. Acedido: 16 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.guiadacidade.pt/pt/poi-aeroporto-de-santa-maria-18576>
- [84] SREA - Serviço Regional de Estatística dos Açores, «Passageiros Embarcados, Desembarcados, em Transito, por Ilha, Tipo de Voo, Ano e Mês», SREA - Serviço Regional de Estatística dos Açores. Acedido: 25 de Outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://srea.azores.gov.pt/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2fRelatoriosVarios%2fTransportes-A%C3%A9reos&Ilha=Faial>
- [85] O Guia, «Aeroporto da Horta», oguidacidade.pt. Acedido: 16 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.guiadacidade.pt/pt/poi-aeroporto-da-horta-18879>
- [86] Wikipédia, «Aeroporto da Horta», Wikipédia. Acedido: 5 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_da_Horta
- [87] Wikipédia, «Aeroporto das Flores», Wikipédia. Acedido: 14 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aeroporto_das_Flores
- [88] E. Peixoto, «Voos Charter para os Açores: Génese e desenvolvimento (Parte VI)», Vista Aérea. Acedido: 28 de Novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://vistaarea.wordpress.com/2017/01/13/voos-charter-para-os-acoeres-genese-e-desenvolvimento-parte-vi/>
- [89] infopédia - Dicionários Porto Editora, «Aeroporto de Ponta Delgada», Porto Editora. Acedido: 16 de Janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$aeroporto-de-ponta-delgada](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$aeroporto-de-ponta-delgada)

- [90] P. Kearney e W.-C. Li, «Multiple remote tower for Single European Sky: The evolution from initial operational concept to regulatory approved implementation», *Transp Res Part A Policy Pract*, vol. 116, pp. 15–30, 2018, doi: 10.1016/j.tra.2018.06.005.
- [91] B. Josefsson, T. Polishchuk, V. Polishchuk, e C. Schmidt, «Scheduling air traffic controllers at the remote tower center», em *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference - Proceedings*, 2017. doi: 10.1109/DASC.2017.8102018.
- [92] T. A. Granberg, P. Axelsson, J. Petersson, T. Polishchuk, V. Polishchuk, e C. Schmidt, «Configuration and Planning of the Remote Tower Modules in a Remote Tower Center», 2016. [Em linha]. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14562848>
- [93] R. Pérez Fernández, «WHAT TO CONSIDER WHEN IMPLEMENTING REMOTE CONTROL TOWERS? COLOMBIA CASE STUDY», *GIS Odyssey Journal*, vol. 2, n. 2, pp. 147–157, Dez. 2022, doi: 10.57599/gisoj.2022.2.2.147.
- [94] P. Kearney, W.-C. Li, J. Zhang, G. Braithwaite, e L. Wang, «Human performance assessment of a single air traffic controller conducting multiple remote tower operations», *Hum Factors Ergon Manuf*, vol. 30, n. 2, pp. 114–123, 2020, doi: 10.1002/hfm.20827.
- [95] ANA - Aeroporto de Santa Maria, «Horário da Aerogare», ANA Aeroportos de Portugal. Acedido: 8 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.aeroportosantamaria.pt/pt/sma/guia-do-passageiro/o-que-preciso-de-saber/horario-da-aerogare>
- [96] ANA - Aeroporto da Horta, «Horário da Aerogare», ANA Aeroportos de Portugal. Acedido: 9 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.aeroportohorta.pt/pt/hor/guia-do-passageiro/o-que-preciso-de-saber/horario-da-aerogare>
- [97] ANA - Aeroporto das Flores, «Horário da Aerogare», ANA Aeroportos de Portugal. Acedido: 10 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.aeroportoFlores.pt/pt/flw/guia-do-passageiro/o-que-preciso-de-saber/horario-da-aerogare>

- [98] ANA - Aeroporto de Ponta Delgada, «Horário da Aerogare», ANA Aeroportos de Portugal. Acedido: 11 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.aeroportoportadelponta.pt/pt/pdl/guia-do-passageiro/o-que-preciso-de-saber/horario-da-aerogare>
- [99] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements March 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 13 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9068/9392b60f-e24e-4886-b72d-4518350d71ae/4848>
- [100] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements February 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 13 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9067/e17c950d-1e4f-4f5c-9f8f-af778ba39c17/4684>
- [101] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements January 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 13 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9045/cde8047a-8a12-4f6f-ba25-da65776a21f8/4549>
- [102] UK Civil Aviation Authority, «UK airport data 2022», UK Civil Aviation Authority. Acedido: 13 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/data-and-analysis/uk-aviation-market/airports/uk-airport-data/uk-airport-data-2022/>
- [103] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements 2022 - Table 3.1», 2023. Acedido: 13 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9116/47a460b2-0592-4ef7-b24b-aa5e27ccfce4/5623>
- [104] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements May 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9070/47d4f858-9581-43d1-9ee5-9aebfaf3c83e/5356>
- [105] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements June 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9071/a04a91e1-d8c5-4824-bo78-f976bfa31443/5272>

- [106] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements July 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9072/050ba310-b91e-484f-9272-c723250eec0c/5289>
- [107] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements August 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9073/292c0735-b3c6-446b-8809-76dfc2654acf/5329>
- [108] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements September 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9074/2ecbod42-d319-4d47-abc8-bd09110e398b/5411>
- [109] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements October 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9075/32e34274-9690-46e4-8878-0117dff5ed8/5492>
- [110] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements November 2022 - Table 3», 2023. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9076/9da4976f-b286-4d70-acb4-e9813edb7766/5545>
- [111] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements December 2022 - Table 3», 2023. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9077/31632962-d7b6-4df4-a5fd-6df78e65d88c/5581>
- [112] UK Civil Aviation Authority, «Aircraft Movements April 2022 - Table 3», 2022. Acedido: 14 de Dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.caa.co.uk/Documents/Download/9069/0b581d71-873a-4402-a625-cc000b5bc1c9/5004>

Anexos

A.1 Equipamentos a instalar, pela SAAB AB

Apresenta-se abaixo uma lista de equipamentos a instalar na TCR do aeroporto. Tal como é apresentado, os equipamentos escolhidos dependem do tipo de missão. Também é importante afirmar que esta lista além do referido, depende do fabricante e do cliente.

Tabela A.1: Lista de equipamentos propostos pela SAAB AB [43]

Caraterística	Aeroportos						
	Baixo	Regional	Complexos (Grandes Dimensões)	Ramp- Apron	Híbrido	Militar	Implementável (Militar)
Box and Follow	In	In	In	In	In	In	In
Lightning Protection	In	In	In	In	In	In	In
Centre-compliant architecture – up to 24 airports	In	In	In	In	In	In	In
SAAB Visual Presentation interaction software	In	In	In	In	In	In	In
MEP 30-360 câmaras	In	In	In	In	In	In	In
Camera mast 24 m	In	Op	Op	Op	Op	Op	
Camera mast 30 m	Op	In	In	In	In	In	
Camera mast – other heights	Op	Op	Op	Op	Op	Op	
Signal Light Gun (SLG)	Op	In	In	Op	Op	In	Op
PTZ Standard	In	In	Op	In	In	Op	
PTZ IR	Op	Op	In	Op	Op	In	

PTZ gap-filler cameras	Op	Op	Op	In	In	Op	Op
RTM Standard module	Op	Op	In	In		Op	Op
RTM compact 5-8	In	In	Op	Op	Op	In	In
RTM Light 2-4	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op
Airport System Adaptation Unit (ASAU)	Op	In	In	Op	Op	Op	
Legal record and play	Op	In	In	Op	Op	In	Op
Technical supervisory position	Op	In	In	In	In	In	
Operational supervisory position	Op	Op	In	Op	Op	In	
Integrated tower working position	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op
EFS ADS, FDP	Op	Op	Op		Op	Op	Op
Multiple Aerodrome Control (MAC)	Op	Op				Op	Op
PTZ tracking	Op	Op	In	Op	Op	In	Op
r-TWR Integrated Training and Simulation (ITS)	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op
MET AWOS package	Op	Op	Op	Op	Op	Op	In
UTM integration	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op
Aircraft Last Look Check (ALLC)						Op	Op

Giraffe 1X – multi-purpose radar	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op
Saab TactiCall VCS – MAC ready	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op
QOMS – Centre planning tool	Op	Op	Op			Op	

Legenda: In: Incluído; Op: Opcional

A.2 Número de movimentos

Tabela A.2: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2019

2019	Órgão	AER SMA	AER PON	AER HOR	AER FLO
Janeiro	IFR	228	1 298	294	62
	VFR	46	28	11	32
	Total	274	1 326	305	94
Fevereiro	IFR	197	1 138	277	54
	VFR	22	21	10	28
	Total	219	1 159	287	82
Março	IFR	194	1 349	315	71
	VFR	24	38	10	35
	Total	218	1 387	325	106
Abril	IFR	223	1 765	390	120
	VFR	26	23	9	28
	Total	249	1 788	399	148
Maio	IFR	219	1 884	413	128
	VFR	46	25	11	32
	Total	265	1 909	424	160
Junho	IFR	234	2 186	487	177
	VFR	43	32	23	29
	Total	277	2 218	510	206
Julho	IFR	264	2 432	548	219
	VFR	51	36	42	43
	Total	315	2 468	590	262
Agosto	IFR	255	2 474	529	217
	VFR	26	31	25	31
	Total	281	2 505	554	248
Setembro	IFR	244	2 167	487	190
	VFR	12	32	10	28
	Total	256	2 199	497	218
Outubro	IFR	190	1 640	388	119
	VFR	10	27	18	27
	Total	200	1 667	406	146
Novembro	IFR	174	1 268	276	64
	VFR	17	35	18	32
	Total	191	1 303	294	96
Dezembro	IFR	210	1 231	269	51
	VFR	16	33	18	26
	Total	226	1 264	287	77
TOTAL 2019	IFR	2 632	20 832	4 673	1 472
	VFR	339	361	205	371

	TOTAL	2 971	21 193	4 878	1 843
--	--------------	--------------	---------------	--------------	--------------

Tabela A.3: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2020

2020	Orgão	AER SMA	AER PON	AER HOR	AER FLO
Janeiro	IFR	236	1 257	293	62
	VFR	12	26	9	24
	Total	248	1 283	302	86
Fevereiro	IFR	182	1 203	261	58
	VFR	10	33	18	24
	Total	192	1 236	279	82
Março	IFR	174	848	192	50
	VFR	12	32	12	20
	Total	186	880	204	70
Abril	IFR	76	325	84	37
	VFR	8	25	14	17
	Total	84	350	98	54
Maió	IFR	90	382	84	37
	VFR	6	39	16	13
	Total	96	421	100	50
Junho	IFR	134	499	170	53
	VFR	8	29	29	31
	Total	142	528	199	84
Julho	IFR	212	1 419	416	138
	VFR	20	35	21	32
	Total	232	1 454	437	170
Agosto	IFR	220	1 708	426	160
	VFR	12	16	20	24
	Total	232	1 724	446	184
Setembro	IFR	198	1 496	399	142
	VFR	6	16	30	30
	Total	204	1 512	429	172
Outubro	IFR	170	1 328	367	113
	VFR	20	23	17	34
	Total	190	1 351	384	147
Novembro	IFR	167	935	263	59
	VFR	4	23	14	27
	Total	171	958	277	86
Dezembro	IFR	207	895	251	53
	VFR	6	34	18	23
	Total	213	929	269	76
TOTAL 2020	IFR	2 066	12 295	3 206	962

	VFR	124	331	218	299
	TOTAL	2 190	12 626	3 424	1 261

Tabela A.4: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2021

2021	Orgão	AER SMA	AER PON	AER HOR	AER FLO
Janeiro	IFR	174	923	239	46
	VFR	2	20	14	31
	Total	176	943	253	77
Fevereiro	IFR	130	725	221	35
	VFR	4	12	10	21
	Total	134	737	231	56
Março	IFR	143	858	280	66
	VFR	8	32	16	30
	Total	151	890	296	96
Abril	IFR	205	1 152	346	82
	VFR	11	30	13	28
	Total	216	1 182	359	110
Maió	IFR	180	1 228	396	98
	VFR	20	41	22	41
	Total	200	1 269	418	139
Junho	IFR	244	1 670	434	144
	VFR	32	49	69	30
	Total	276	1 719	503	174
Julho	IFR	284	2 133	488	190
	VFR	8	20	11	32
	Total	292	2 153	499	222
Agosto	IFR	302	2 309	557	222
	VFR	16	30	5	33
	Total	318	2 339	562	255
Setembro	IFR	221	1 978	468	174
	VFR	12	63	23	28
	Total	233	2 041	491	202
Outubro	IFR	219	1 653	398	127
	VFR	8	39	26	29
	Total	227	1 692	424	156
Novembro	IFR	154	1 196	294	80
	VFR	5	20	6	30
	Total	159	1 216	300	110
Dezembro	IFR	213	1 287	298	68
	VFR	6	40	6	24
	Total	219	1 327	304	92

TOTAL 2021	IFR	2 469	17 112	4 419	1 332
	VFR	132	396	221	357
	TOTAL	2 601	17 508	4 640	1 689

Tabela A.5: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2022

2022	Orgão	AER SMA	AER PON	AER HOR	AER FLO
Janeiro	IFR	198	1 248	307	85
	VFR	17	29	19	31
	Total	215	1 277	326	116
Fevereiro	IFR	182	1 075	260	71
	VFR	13	38	24	29
	Total	195	1 113	284	100
Março	IFR	204	1 391	331	90
	VFR	12	55	16	27
	Total	216	1 446	347	117
Abril	IFR	202	1 944	439	140
	VFR	13	35	16	28
	Total	215	1 979	455	168
Maió	IFR	223	2 072	427	158
	VFR	14	26	17	26
	Total	237	2 098	444	184
Junho	IFR	232	2 371	505	193
	VFR	22	79	20	34
	Total	254	2 450	525	227
Julho	IFR	368	2 826	652	246
	VFR	22	48	16	24
	Total	390	2 874	668	270
Agosto	IFR	380	2 867	639	252
	VFR	25	32	24	32
	Total	405	2 899	663	284
Setembro	IFR	315	2 567	605	225
	VFR	18	27	51	27
	Total	333	2 594	656	252
Outubro	IFR	199	2 007	423	148
	VFR	29	40	13	31
	Total	228	2 047	436	179
Novembro	IFR	173	1 364	294	77
	VFR	19	30	12	29
	Total	192	1 394	306	106
Dezembro	IFR	177	1 512	297	74
	VFR	16	44	14	15

	Total	193	1 556	311	89
TOTAL 2022	IFR	2 853	23 244	5 179	1 759
	VFR	220	483	242	333
	TOTAL	3 073	23 727	5 421	2 092

Tabela A.6: Número de movimentos para os vários aeroportos estudados, em 2023

2023	Orgão	AER SMA	AER PON	AER HOR	AER FLO
Janeiro	IFR	170	1 506	345	96
	VFR	9	21	11	22
	Total	179	1 527	356	118
Fevereiro	IFR	171	1 351	280	76
	VFR	13	32	11	26
	Total	184	1 383	291	102
Março	IFR	202	1 649	376	82
	VFR	10	34	12	10
	Total	212	1 683	388	92
Abril	IFR	210	2 063	462	168
	VFR	10	30	22	18
	Total	220	2 093	484	186
Maió	IFR	261	2 268	490	198
	VFR	12	22	2	4
	Total	273	2 290	492	202
Junho	IFR	329	2 657	591	255
	VFR	16	41	26	10
	Total	345	2 698	617	265
Julho	IFR	353	2 936	647	284
	VFR	19	29	17	13
	Total	372	2 965	664	297
Agosto	IFR	376	3 012	660	290
	VFR	25	45	30	12
	Total	401	3 057	690	302
Setembro	IFR	346	2 718	610	265
	VFR	21	35	8	6
	Total	367	2 753	618	271
Outubro	IFR	212	1 999	450	160
	VFR	26	37	16	4
	Total	238	2 036	466	164
Novembro	IFR				
	VFR				
	Total	0	0	0	0
Dezembro	IFR				

Torres Remotas de Tráfego Aéreo: Uma Aplicação em Portugal

	VFR				
	Total	0	0	0	0
TOTAL 2023	IFR	2 630	22 159	4 911	1 874
	VFR	161	326	155	125
	TOTAL	2 791	22 485	5 066	1 999

A.3 Artigo submetido ao JAIRM e abstracts submetidos às conferências RIDITA'2024 e ATRS'2024

Abstract do artigo submetido no JAIRM (Journal of Airline and Airport Management)

Remote Air Traffic Control Towers: An Application in Portugal⁵

Purpose: Remote control towers are the latest evolution in air traffic control at airport level. These towers replace traditional air traffic control towers, moving the airport's air traffic controllers to a remote location called a remote control center. This concept was introduced with the main aim of combating the shortage of air traffic controllers, as well as making it possible to provide several airports with control that, until then, they didn't have or were at risk of losing, due to the costs associated with this service. This makes it important to study this solution in Portugal, as there are many airports where having runway control may not be economically viable. The study will focus on a project by NAV Portugal, which is about to implement this solution on some islands in the Azores archipelago.

Design/methodology/approach: Having identified the number of movements per month at a few chosen airports, the operational viability was studied according to the number of movements per hour, to ensure that a number of restrictions were met.

Findings: Even including the region's main airport, from the point of view of analyzing the number of movements, the installation of a remote control tower is feasible. There is also a substantial economic gain from this new solution, both in terms of implementation and operations.

Originality/value: Remote control towers are a new air traffic control solution, making it possible to extend this service to countless aerodromes that may be in the process of losing this service for economic reasons, or may no longer be controlled by an air traffic controller.

⁵ Miguel António Pires Martins; Jorge Miguel dos Reis Silva; Carlos Alves

Keywords: Remote Control Tower; Air Traffic Control; Feasibility; Operational; Economic; Movements.

Abstract submetido ao RIDITA'2024

Remote Air Traffic Control Towers: The Azores Case

Miguel Martins¹, Jorge Silva², Carlos Alves³

¹*Universidade da Beira Interior, Aerospace Science Department, Convento de Santo António, 6201- 001 Covilhã, Portugal, miguel.martins@ubi.pt*

²*Universidade da Beira Interior, Aerospace Science Department, Convento de Santo António, 6201- 001 Covilhã, Portugal,*

CiTUA, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal, jmrs@ubi.pt

³*Diretor de Engenharia, NAV Portugal, carlos.alves@nav.pt*

Abstract

The remote control towers are a recent concept to support the service provision of air traffic at the airport. Given the assumption that this new framework can address the shortage of air traffic controllers (ATCs), it is recommended to evaluate the implementation of this solution in Portugal.

The viability study of this solution, in the Azores region, was conducted with the analysis of the number of movements, to assure the feasibility to safely adopt it at 4 airports. This number was normalized by the number of days of the month, so that it is possible to verify if the ATCs are not being overworked with this new solution.

This study lead to the conclusion that implementation of this solution in the Azores archipelago was feasible, from operational perspective, where there was an improvement in the allocation of human resources to each shift. Maintaining the number of movements, the 4 selected airports (where is included the largest of the region, the airport of Ponta Delgada) will be able to be controlled remotely.

This paper point out to create a framework of study to be implemented in all national airports, from which it will be possible to verify if the airdrome is able to receive this solution. Also, this study will allow, in a further investigation, be the basis for the multiple control with only 1 ATC.

Keywords

Remote Control Towers; Air Traffic Control; Operational Feasibility

Abstract submetido ao ATRS'2024

Remote Control Towers: An Application in Portugal

Miguel Martins¹, Jorge Silva², Carlos Alves³

¹*Universidade da Beira Interior, Aerospace Science Department, Convento de Santo António, 6201- 001 Covilhã, Portugal, miguel.martins@ubi.pt*

²*Universidade da Beira Interior, Aerospace Science Department, Convento de Santo António, 6201- 001 Covilhã, Portugal, CiTUA, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal, jmrs@ubi.pt*

³*Diretor de Engenharia, NAV Portugal, carlos.alves@nav.pt*

Abstract: The remote control towers are a recent concept to support the service provision of air traffic at the airport. Given the assumption that this new framework can address the shortage of air traffic controllers (ATCs), it is recommended to evaluate the implementation of this solution in Portugal.

The viability study of this solution, in the Azores region, was conducted with the analysis of the number of movements, to assure the feasibility to safely adopt it at 4 airports. This study also includes a brief economic analysis, with estimated values found in the literature.

This study lead to the conclusion that implementation of this solution in the Azores archipelago was feasible, from operational perspective, where there was an improvement in the allocation of human resources to each shift, as well as from economic analysis, where the costs related to remote control towers were lower than the conventional solution.

From the conclusion it can be stated that study is of particular interest, taking into account the benefits of the deployment of remote control towers in Portugal. Several Portuguese airdromes has any ATS and with this concept with low costs could have with an huge increase on the safety.

The feasibility study of this solution in Portugal (economic and operational) is of the utmost importance, as confirming the advantages of this solution in the Azores that easily can be easily applied on others aerodromes of the country.

Keywords: Remote Control Tower; Air Traffic Control; Feasibility; Operational; Economic; Movements.
