



**Principais Critérios Geométricos no Dimensionamento Aeroportuário  
Caso de Estudo: Ampliação do Caminho de Circulação “F”  
no Aeroporto Francisco Sá Carneiro**

**Tiago João Santos da Costa Lucas**  
(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção de grau Mestre em Engenharia Civil na  
Área de Especialização de Vias de Comunicação e Transportes

**Orientadores:**

Eng<sup>a</sup> Luísa Ferreira Cardoso Teles Fortes, Especialista (IPL)

Eng<sup>a</sup> Maria Luísa dos Remédios Canhão Pereira, Diretora de Projeto, SENER-ENGIVIA, S.A.

**Júri:**

Presidente: Eng<sup>o</sup> Paulo José de Matos Martins, Doutor

Vogais:

Eng<sup>o</sup> Henrique Manuel Borges Miranda, Doutor

Eng<sup>a</sup> Luísa Ferreira Cardoso Teles Fortes, Especialista (IPL)

**Dezembro de 2018**



## AGRADECIMENTOS

Estas palavras de agradecimento não transmitem seguramente o total sentimento de gratidão e de prazer por ter partilhado este caminho com todos aqueles que me ajudaram de certa forma a concretizar este objetivo.

O meu maior agradecimento vai para os meus pais, foram eles que me acompanharam, acreditaram e motivaram em todos os momentos deste longo percurso académico, fazendo-me sempre acreditar e nunca desistir a cada obstáculo nesta etapa da minha vida.

A toda a minha família, pelo carinho demonstrado, e pelas simples palavras de apoio, muitas vezes transmitidas, que fortemente me motivaram ao longo desta etapa e do presente relatório.

Às minhas orientadoras, Eng<sup>a</sup> Luísa Teles Fortes e Eng<sup>a</sup> Luísa Canhão, a minha gratidão por toda a dedicação, incentivo, conselhos e orientação prestados durante o estágio e a realização do Trabalho Final de Mestrado, bem como por me mostrarem este novo mundo da Engenharia.

À Maria, namorada e parceira nesta e em muitas aventuras, por ter partilhado cada momento deste percurso a meu lado sempre com uma palavra de força e um sorriso, nunca esquecerei os momentos de compreensão, companheirismo e carinho na conquista deste objetivo.

Aos meus companheiros neste longo percurso que de colegas passaram a amigos para o amanhã Bruno, Nuno e Sofia, não esquecerei cada dia desta aventura. Sem a vossa ajuda, força e amizade este percurso não teria sido memorável.

Aos engenheiros responsáveis pelo mestrado de vias da comunicação e transportes, o meu sincero agradecimento por toda a partilha de conhecimento e experiências do dia a dia de um engenheiro durante estes dois anos e acima de tudo por partilharem toda a sua paixão pela área.

Por último, um muito obrigado ao Engenheiro Nuno Relvas pelo apoio prestado, e a toda a equipa da SENER pela oportunidade e forma como me acolheu ao longo do tempo de estágio, fornecendo sempre toda a disponibilidade, ajuda e ensinamentos nesta agradável experiência.



---

## RESUMO

O presente trabalho tem como âmbito o estudo dos critérios gerais de dimensionamento de uma infraestrutura aeroportuária, em particular na pista e caminhos de circulação, abordando a maneira como a mesma é dimensionada face aos seus condicionamentos. O estudo realizado foi dirigido para as normas de conceção geométrica, para a aplicação das mesmas e respetivas restrições, sendo apresentados os principais aspetos a ter em consideração na elaboração de projetos aeroportuários.

A realização deste Trabalho Final de Mestrado permitiu reunir os principais critérios aplicados nesta área das infraestruturas e dos transportes, sendo efetuada uma análise crítica das normas e metodologias aplicadas para a execução de uma pista aeroportuária, para que seja possível selecionar os melhores critérios de conceção, face às condicionantes existentes e às exigências aplicadas a um projeto desta natureza.

Complementarmente foi realizado um Caso de Estudo, com o objetivo de aplicar as normas e critérios a um caso real de uma infraestrutura aeroportuária, tendo este por base a ampliação do Caminho de Circulação “F” do Aeroporto Francisco Sá Carneiro. Esta aplicação de conceitos só foi possível com a colaboração no projeto durante os quatro meses de estágio na empresa SENER-ENGIVIA, Consultores de Engenharia, S.A.

Com a abordagem deste tema concluiu-se que a normativa existente na língua portuguesa é pouca e de difícil acesso, recorrendo-se habitualmente ao normativo internacional, que por vezes é de difícil interpretação. É também de realçar que a informação existente é dispersa, e por vezes contraditória, dado que ao se comparar documentos em português e outros internacionais, é possível encontrar diferenças em certos parâmetros, não sendo devidamente justificado a razão para tal ou qual o parâmetro a adotar.

Concluindo-se com o estudo ser relevante a elaboração de um documento com esta informação, para que seja uniformizado um só documento nacional ao qual se possa recorrer, mesmo que adotado das normas internacionais, para facilitar a compreensão dos diferentes intervenientes, como é exemplo os projetistas da área na realização de pistas aeroportuárias.

**Palavras chave:** Infraestruturas aeroportuárias, Aeroporto, Critérios geométricos, Pista e Caminho de Circulação



## ABSTRACT

The presented paper focuses on the general geometry criteria of an airport's infrastructure, particularly on the runway and taxiway, assessing its sizing aspects regarding the faced constraints. The research work was directed towards the geometric design standards, their application and sizing restrictions, including the main aspects to consider when working on airport related projects.

The development of the Master's Final Thesis, allowed for the collection of the main criteria on this field of infrastructures and transportation, followed by a critical analysis of the standards and methodology applied on the execution of a airport runway, in order to select the most relevant conceptual criteria, given the existing constraints and the demands associated to such a project.

In addition to the paper a case study was created with the goal of applying the standards and criteria to a real airport infrastructure project, the enlargement of the taxiway "F" of the Francisco de Sá Carneiro airport, in Oporto. The implementation of concepts was only made possible due to the collaboration on the mention project through a 4 month internship at SENER-ENGIVIA, Consultores de Engenharia, S.A.

With this approach it was possible to conclude that the existing standards available in Portuguese are very scarce and not accessible, which leads to the use of international standards, often difficult to interpret. It is also to be noted that the information is often contradictory, with various differences found when comparing Portuguese written documents with international documents in some parameters, with no corroboration on which parameter to adopt.

In conclusion, the study showed the importance of elaborating a national document with all the information uniformized to be used a search base for standards, even if they are adopted from international standards, to facilitate the comprehension of all the actors, as is the case of the designers of the airport strips

**Keywords:** Airport Infrastructure, Airport, Geometric design, Runway and Taxiway



## ÍNDICE GERAL

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	Enquadramento do tema .....	1
1.2	Objetivo e metodologia .....	2
1.3	Estrutura do trabalho .....	3
<b>2</b>	<b>ESTÁGIO E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b> .....	<b>5</b>
2.1	A Empresa e a sua história.....	5
2.2	Divisão de infraestruturas e transportes .....	7
2.3	Síntese das atividades desenvolvidas.....	8
<b>3</b>	<b>ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DO TRANSPORTE AÉREO</b> .....	<b>11</b>
3.1	Evolução do transporte aéreo.....	11
3.2	Transporte aéreo em Portugal.....	15
3.3	Organizações aeronáuticas .....	20
<b>4</b>	<b>CRITÉRIOS GEOMÉTRICOS NO DIMENSIONAMENTO AEROPORTUÁRIO</b> .....	<b>23</b>
4.1	Infraestrutura aeroportuária .....	23
4.1.1	Localização da infraestrutura .....	25
4.1.2	Lado ar .....	25
4.2	Pista aeroportuária.....	26
4.2.1	Orientação da pista .....	28
4.2.2	Distâncias declaradas de pista.....	32
4.2.3	Disposição espacial das pistas .....	35
4.2.4	Código de referência para aeródromos .....	38
4.2.5	Tipo de aproximação à pista .....	40
4.2.6	Caraterísticas geométricas da pista (RWY).....	40
4.2.7	Caraterísticas geométricas de caminhos de circulação (TWY) .....	54
<b>5</b>	<b>CASO DE ESTUDO: AMPLIAÇÃO DO CAMINHO DE CIRCULAÇÃO “F” DO AEROPORTO FRANCISCO SÁ CARNEIRO (AFSC)</b> .....	<b>69</b>
5.1	Enquadramento geral .....	69
5.2	Caraterização da infraestrutura .....	74
5.2.1	Caraterísticas geométricas da Pista 17 – 35 .....	75
5.2.2	Caraterísticas geométricas dos caminhos de circulação existentes.....	76
5.3	Apresentação do projeto.....	76
5.4	Geometria de traçado .....	78
5.4.1	Aeronaves de referência .....	79
5.4.2	Perfil transversal Tipo.....	80
5.4.3	Caminho de Circulação “F” .....	81

5.4.4	RET .....	84
5.4.5	Ligação Norte da RET .....	87
5.4.6	Bypass .....	89
5.4.7	Cálculo das sobrelarguras .....	90
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
6.1	Síntese do trabalho .....	93
6.2	Principais conclusões.....	93
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A** – Geometria de traçado do projeto de execução – Peças desenhadas

**ANEXO B** – Cálculo da diretriz e rasante

**ANEXO C** – Cálculo da localização ótima e da curva de saída de um RET

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1 Distribuição geográfica grupo SENER.....	6
Figura 2.2 Setores de influência.....	6
Figura 2.3 Áreas de influência divisão infraestruturas e transportes.....	7
Figura 3.1 Dirigível LZ-4.....	12
Figura 3.2 Flyer I.....	13
Figura 3.3 Boeing 247 e Douglas DC-3.....	13
Figura 3.4 Boeing 747.....	14
Figura 3.5 Concorde.....	15
Figura 3.6 Airbus A38.....	15
Figura 3.7 Planta Aeroporto da Portela.....	17
Figura 3.8 Vista aérea do Aeroporto de Pedras Rubras nos primeiros anos.....	18
Figura 4.1 Constituintes de um aeroporto.....	24
Figura 4.2 Vista aérea dos sistemas de iluminação e sinalização de uma pista.....	27
Figura 4.3 Efeito dos ventos nas operações da aeronave.....	28
Figura 4.4 Orientação magnética da pista.....	30
Figura 4.5 Disposição das pistas Aeroporto de Dallas-Forth Worth, EUA.....	31
Figura 4.6 Distância disponível para a corrida de decolagem.....	32
Figura 4.7 Distância disponível para decolagem.....	32
Figura 4.8 Distância disponível para aceleração – paragem.....	33
Figura 4.9 Distância de aterragem disponível.....	33
Figura 4.10 Distâncias declaradas para operações da esquerda para a direita.....	33
Figura 4.11 Exemplo de pista com distâncias declaradas diferentes.....	34
Figura 4.12 Aeroporto Cristiano Ronaldo, Arquipélago da Madeira.....	35
Figura 4.13 Conjunto de pistas paralelas.....	35
Figura 4.14 Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson-Atlanta, Geórgia, EUA.....	36
Figura 4.15 Aeroporto internacional de Brisbane, Austrália.....	37
Figura 4.16 Aeroporto Humberto Delgado, Lisboa, Portugal.....	37
Figura 4.17 Comprimento de pista de referência do avião.....	38
Figura 4.18 Dimensões gerais de um avião.....	39
Figura 4.19 Influência da inclinação da pista na operação de aeronaves.....	42
Figura 4.20 Distância entre variações de inclinação.....	46
Figura 4.21 Inclinação transversal da pista.....	47
Figura 4.22 Área livre de obstáculos (CWY).....	49
Figura 4.23 Área de paragem (SWY).....	49

Figura 4.24 Soleira deslocada " <i>Displaced Threshold</i> " .....	50
Figura 4.25 Aplicação de uma faixa da pista para um pista de aproximação por precisão.....	52
Figura 4.26 Zona de faixa e RESA.....	54
Figura 4.27 Método dos 3 passos .....	59
Figura 4.28 Caminho de circulação de saída rápida (RET) .....	61
Figura 4.29 Trajetória de uma aeronave em curva .....	64
Figura 4.30 Zona de faixa ("Strip") de um caminho de circulação .....	65
Figura 4.31 Baía de espera para o número de código 3 e 4 .....	66
Figura 4.32 Exemplos de entrada de caminho de circulação duplo .....	67
Figura 4.33 Exemplo de entradas duplas em pista .....	67
Figura 5.1 Pista do Aeroporto de Pedras Rubras .....	70
Figura 5.2 Localização do AFSC .....	71
Figura 5.3 Área de influência do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.....	72
Figura 5.4 Componentes do lado terra e lado ar do AFSC .....	74
Figura 5.5 Características físicas da Pista 17-35 do AFSC .....	75
Figura 5.6 [A] situação atual, [B] situação futura.....	77
Figura 5.7 Aeronaves de referência .....	80
Figura 5.8 Perfil transversal tipo dos novos traçados aeronáuticos.....	81
Figura 5.9 Distâncias entre os eixos do CCF, pista e CP .....	82
Figura 5.10 Diretriz do Novo Caminho de Circulação "F" .....	83
Figura 5.11 Localização Planimétrica da Diretriz do RET .....	85
Figura 5.12 Pormenor da Diretriz do RET .....	86
Figura 5.13 Diretriz da Ligação Norte da RET .....	88
Figura 5.14 Diretriz do Bypass .....	89
Figura 5.15 Movimento de saída da Pista 17-35 do Boeing 777-300 para o RET.....	91
Figura 5.16 Movimento de saída da Pista 17-35 do Boeing 747-400 para o RET.....	92

**ÍNDICE TABELAS**

Tabela 3.1 Principais documentos normativos no dimensionamento aeroportuário .....	21
Tabela 4.1 Exemplo de tabela com distâncias declaradas de uma pista .....	34
Tabela 4.2 Código de referência de aeródromos.....	39
Tabela 4.3 Exemplos de código de referência atribuídos a aviões comerciais .....	39
Tabela 4.4 Valores atmosféricos padrão .....	43
Tabela 4.5 Largura da pista .....	45
Tabela 4.6 Larguras recomendadas para bermas de pista (RWY) .....	48
Tabela 4.7 Margem mínima de segurança entre o trem de aterragem–berma num TWY.....	55
Tabela 4.8 Largura mínima caminho de circulação .....	56
Tabela 4.9 Largura combinada entre TWY e berma.....	57
Tabela 4.10 Distância mínima entre TWY e outros elementos do lado ar .....	57
Tabela 4.11 Grupo de aeronaves e velocidade correspondente .....	58
Tabela 4.12 Tabela de relação entre velocidade e raios de curvas .....	63
Tabela 4.13 Distância mínima entre a linha central / baía de espera.....	67
Tabela 5.1 Tráfego comercial Aeroporto AFSC ano de 2017 .....	73
Tabela 5.2 Orientação da Pista17-35 do AFSC.....	75
Tabela 5.3 Características físicas da Pista 17-35 do AFSC.....	76
Tabela 5.4 Características físicas dos caminhos de circulação existentes .....	76
Tabela 5.5 Características das aeronaves de referência do projeto .....	80



**SIGLAS E ABREVIATURAS**

**ANAC** – Autoridade Nacional da Aviação Civil

**ACI** – Airports Council International

**AFSC** – Aeroporto Francisco Sá Carneiro

**ARFF** – Air Rescue and Fire Fighting

**ASDA** – Distância disponível para aceleração-paragem (Accelerate-Stop Distance Available)

**AVA** – Abrigo de Veículos de Aeroporto

**CCF** – Caminho de Circulação “F”

**CIA** – Circular de Informação Aeronáutica

**CP** – Caminho Periférico

**CWY** – Área livre de obstáculos (Clearway)

**DH** – Altura de decisão (Decision Height)

**EASA** – European Aviation Safety Agency

**E.U.A** – Estados Unidos da América

**H** – Altitude do aeroporto

**IATA** – International Air Transport Association

**ICAO** – International Civil Aviation Organization

**LDA** – Distância de aterragem disponível (Landing Distance Available)

**LndI** – Comprimento de pista necessário para descolagem ao nível do mar

**OTP** – Ponto ótimo de paragem da aeronave

**OTS** – Segmento ótimo de paragem

**RESA** – Área de segurança na extremidade da pista (Runway End Safety Area)

**RET** – Caminho de circulação de saída rápida (Rapid Exit Taxiway)

**RVR** – Alcance Visual da Pista (Runway Visual Range)

**RWY** – Pista (Runway)

**SLCI** – Serviço de Luta Contra Incêndios;

**SWY** – Área de paragem (Stopway)

**T** – Temperatura de referência do aeroporto

**TKL** – Comprimento de pista necessário para a decolagem ao nível do mar

**TP** – Temperatura nas condições atmosféricas padrão para a altitude do aeroporto

**TODA** – Distância disponível para decolagem (Take Off Distance Available)

**TORA** – Distância disponível para a corrida de decolagem (Take Off Run Available)

**TWY** – Caminho de circulação (Taxiway)

**V<sub>ex</sub>** – Velocidade operacional de saída

**V<sub>th</sub>** – Velocidade de aproximação

**V<sub>wind</sub>** – Velocidade do vento de proa

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento do tema

O presente Trabalho Final de Mestrado do curso de Engenharia Civil, na área de especialização de Vias de Comunicação e Transportes, refere-se aos principais critérios aplicados no dimensionamento de uma pista aeroportuária.

O estudo de um tema tão específico da área das infraestruturas e transporte teve por ponto inicial um estágio realizado na Divisão de Infraestruturas e Transportes, na empresa SENER-ENGIVIA, Consultores de Engenharia, S.A., onde foi possível colaborar num projeto desta natureza. A colaboração num projeto aeroportuário tornou possível a realização de um estudo aprofundado sobre o tema, que culminou na elaboração do presente documento.

O estágio, acima referido, decorreu nas instalações da SENER-ENGIVIA em Lisboa. Com uma duração de quatro meses, o estágio iniciou-se a 18 de dezembro de 2017 e término a 20 de abril de 2018.

O Trabalho Final de Mestrado centra-se nos principais critérios geométricos de dimensionamento Aeroportuário, onde se realizará uma descrição das principais normas que suportam este tipo de projetos, apresentando um Caso de Estudo para uma abordagem mais concreta da temática envolvida.

Com a abordagem do tema pretende-se contribuir para a elaboração de um manual que permita de maneira fácil e direta aplicar as normas e recomendações fornecidas pelas entidades responsáveis da área. Visto que a nível nacional não existe um manual do género que estabeleça normas e metodologias para a elaboração de um projeto de uma pista aeroportuária.

A informação existente é dispersa e de difícil acesso, levando a que se recorra aos manuais fornecidos pelas entidades internacionais, estes muitas vezes com extensa informação que leva o leitor a dispersar inúmeras vezes do foco estabelecido para a sua pesquisa.

O presente estudo pretende estabelecer um percurso para que o leitor possa compreender de uma maneira geral a aplicação das normas e metodologias deste tipo de projetos, estudando desde a importância da escolha da sua localização bem como a sequência de processos de seleção de parâmetros até se estabelecer um perfil transversal que permita a segurança da operação das aeronaves. Este estudo é realizado tanto para a

pista aeroportuária como para os caminhos de circulação e outros componentes que se encontram numa infraestrutura deste género.

Com o Caso de Estudo pretende-se dar a conhecer a metodologia aplicada na ampliação de um caminho de circulação, sendo o Caminho de Circulação “F” do Aeroporto Francisco Sá Carneiro o caso real abordado, ao nível da execução do projeto, apresentando os diferentes passos realizados em cada um dos novos traçados, com recurso ao especificado pela *European Aviation Safety Agency* (EASA) e com o apoio do Anexo 14 da *International Civil Aviation Organization* (ICAO).

A ampliação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro enquadra-se na atual realidade aeroportuária, aumentando não só o número de movimentos de aeronaves por hora bem como o número de passageiros por ano, com um impacto direto na economia regional.

## 1.2 Objetivo e metodologia

O Trabalho Final de Mestrado, tem como principais objetivos a descrição das normas e apresentação de metodologias com base nos critérios de dimensionamento aeroportuário, a descrição das atividades realizadas ao longo do período de estágio na empresa SENER-ENGIVIA, dos métodos aplicados e dos conhecimentos adquiridos.

O documento tem como principal objetivo dar um primeiro passo na criação de um manual onde se reúna e unifique todas as normas que se aplicam no dimensionamento aeroportuário, fazendo a adaptação das normas internacionais para a língua portuguesa.

A motivação da escolha de um estágio curricular baseou-se na possibilidade de adquirir novos conhecimentos e experiência, num ambiente diferente sendo fundamentalmente destacar os nos seguintes objetivos gerais:

- Aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico;
- Fazer parte integrante das equipas de realização de projetos de engenharia nas diversas especialidades da área;
- Aquisição de novos conhecimentos através do contacto direto com equipas experientes na área de especialização;
- Integração nos quadros de uma empresa, com a finalidade de ganhar experiência profissional;
- Aprofundar o conhecimento sobre a elaboração de um projeto, desde a fase de concurso até ao desenvolvimento do projeto de execução, incluindo a fase de assistência técnica à obra.

O Caso de Estudo abordado surge no contexto do estágio curricular, sendo este de enorme importância para a conclusão dos objetivos estabelecidos para o estudo, é com base neste que é possível demonstrar e analisar as diversas metodologias aplicadas num projeto desta natureza:

- Revisão bibliográfica dos critérios geométricos utilizados no dimensionamento aeroportuário;
- Aplicação dos conhecimentos adquiridos na realização de um projeto de natureza aeroportuária, através do estudo de um caso prático.

No que concerne à metodologia adotada, para se atingirem os objetivos propostos, pode ser sintetizada da seguinte forma:

- Acompanhamento e apoio na elaboração de projetos na área de especialização aeroportuária, através da análise da geometria de traçado definida e realização de medições das diversas especialidades intervenientes no projeto;
- Revisão bibliográfica das normas e outros documentos associados, para um conhecimento mais aprofundado sobre a aplicação das mesmas;
- Análise e estudo de projetos aeroportuários realizados anteriormente pela empresa, para conhecimento dos métodos utilizados;
- Análise dos critérios aplicados ao estudo geométrico da pista a ampliar do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho é composto por seis capítulos principais, cujo conteúdo e objetivo se descreve resumidamente.

Capítulo 1, “Introdução” tem o objetivo de enquadrar o tema a abordar de um modo geral, sendo também apresentados os objetivos a atingir com a realização do estudo, a metodologia utilizada e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2, “O estágio e as atividades desenvolvidas” - pretende apresentar a empresa SENER-ENGIVIA, realizando uma breve introdução à sua história e à área de atuação, interligando-a com o propósito do estágio. São ainda descritas as atividades realizadas ao longo do estágio curricular.

Capítulo 3, “Enquadramento histórico do transporte aéreo” abordará o transporte aéreo a nível global, caracterizando a evolução do mesmo e introduzindo-o no panorama nacional.

Relata, ainda, uma breve apresentação das agências que regem a área em causa e fornece uma tabela resumo com os principais documentos e manuais publicados por estas.

Capítulo 4, “Critérios geométricos no dimensionamento aeroportuário” é neste capítulo que são descritos os fundamentos de suporte ao desenvolvimento do Trabalho Final de Mestrado. Tem o intuito de, sucintamente, apresentar a explicação das normas e recomendações aplicadas na elaboração de um projeto de uma infraestrutura aeroportuária, em particular, a pista de um aeroporto, caminhos de circulação e outros constituintes.

Capítulo 5, “Caso de Estudo: Ampliação do Caminho de Circulação “F” do Aeroporto Francisco Sá Carneiro” - é onde se caracteriza o projeto, com base nas normas apresentadas no Capítulo 4. É também neste capítulo que se realiza a apresentação de cada metodologia utilizada para a realização do projeto, bem como os comentários sobre as opções tomadas durante a realização do mesmo.

Capítulo 6, “Conclusão” - sendo o último capítulo do trabalho, é nele que se apresentam as principais conclusões, no que se refere às características gerais do dimensionamento aeroportuário, com particular ênfase para o Caso de Estudo, bem como a apreciação das mais valias obtidas na realização do estágio.

## 2 ESTÁGIO E ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

A realização de um estágio possibilita, entre outros aspetos, um primeiro contacto com realidade do mundo do trabalho e com a atividade laboral, sendo muitas vezes necessário proceder à alteração de hábitos e à adaptação aos métodos de trabalho da empresa. Este permite fazer a ligação entre o mundo académico e o empresarial, constituindo uma enorme oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos e desenvolver novos, através das informações recebidas ao longo do estágio.

O estágio na Divisão de Infraestruturas e Transportes da SENER-ENGIVIA tornou possível a realização do Trabalho Final de Mestrado no âmbito das Infraestruturas Aeroportuárias, proporcionando também a oportunidade de integração num grupo de trabalho, colocando à prova capacidades e apetência para o trabalho em equipa.

### 2.1 A Empresa e a sua história

A SENER – Ingeniería y Sistemas, S.A. foi fundada a 15 de junho de 1956, em Bilbao, pelo Engenheiro Naval e empresário Enrique de Sendagorta, sendo esta a primeira empresa espanhola de engenharia registada como tal. Nos primeiros anos de existência atuava apenas na execução de projetos de Engenharia Naval.

Na década de 60 ocorre a expansão para a área industrial, obras marítimas, setor petroquímico e engenharia civil, e é nesta fase que se dá a abertura de um segundo escritório em Espanha, na cidade de Madrid. É também nesta altura que se concretiza o seu primeiro contrato internacional, uma torre de lançamento de foguetões na cidade de Kiruna, na Suécia, dando, assim, o primeiro passo no setor Aeroespacial, onde ainda hoje continua a ser uma referência a nível Mundial.

Na década de 90, ocorre a expansão da marca, com a abertura de mais três escritórios: Lisboa (1991), Barcelona (1993) e Valência (1998).

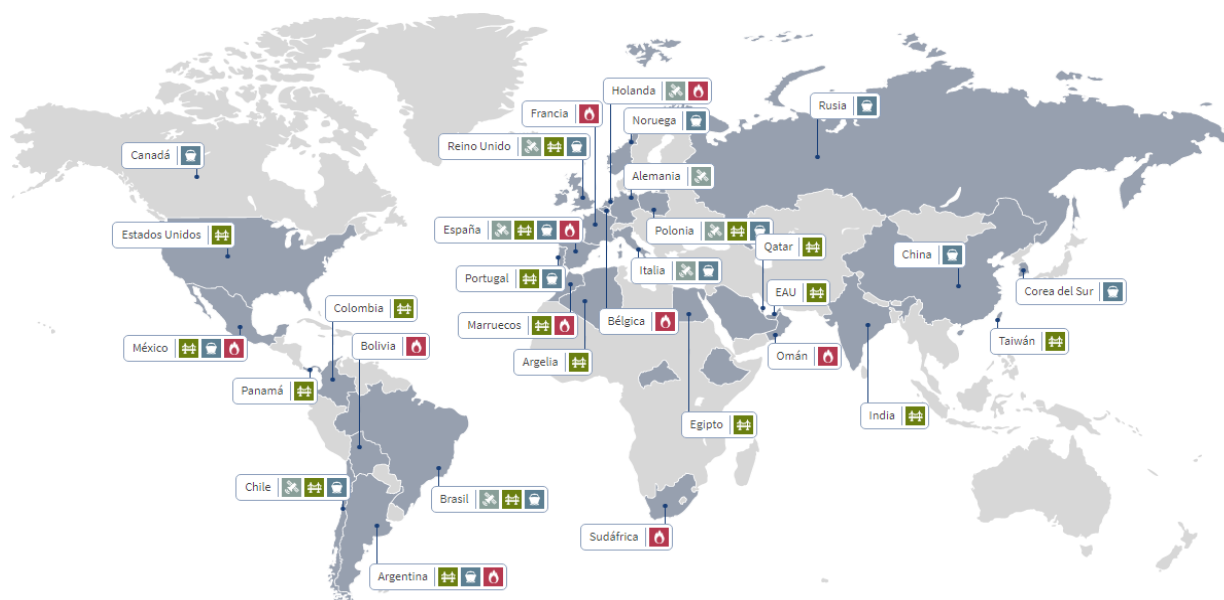
O escritório de Lisboa foi o primeiro passo para a expansão da empresa fora do país, sendo que, no início dos anos 2000, a internacionalização é uma realidade com a abertura de escritórios em três continentes diferentes: Americano (Argentina e Estados Unidos), Asiático (Japão) e Africano (Argélia).

Durante o ano de 2009, respondendo a uma estratégia de mercado, com o objetivo de aumentar a sua influência e capacidade de atuação em Portugal, na área das vias de comunicação e transportes, realiza a aquisição de uma das empresas de referência em

Portugal nesta área, a ENGVIA - Consultores de Engenharia, S.A., empresa com participação ativa em quase todos os projetos de Autoestradas realizadas em Portugal entre 1990 e 2010.

Em 2011 é efetuada a compra da totalidade do capital da ENGVIA e dois anos depois, em 2013, surge a SENER-ENGVIA, através da partilha de conhecimento e experiências de ambos os lados. A SENER-ENGVIA torna-se então numa empresa de engenharia com objetivo de se afirmar no mercado português, nas suas diversas áreas de influência (SENER, 2018).

Atualmente, a SENER é considerada a maior empresa privada de engenharia espanhola e uma das mais influentes do mundo, contando com escritórios espalhados por quatro continentes, como se ilustra na Figura 2.1.



**Figura 2.1** Distribuição geográfica grupo SENER (SENER, 2018)

Atualmente, a SENER agrupa as suas próprias atividades de Engenharia e Construção, distinguindo-se pela inovação, qualidade e independência que impõe aos seus projetos, sendo reconhecida internacionalmente em quatro grandes setores: Aeroespacial, Infraestruturas e Transportes, Energia, Petróleo e Gás e Naval, como ilustra a Figura 2.2.



**Figura 2.2** Setores de influência (adaptado de SENER, 2018)

## 2.2 Divisão de infraestruturas e transportes

A Divisão de Infraestruturas e Transportes da SENER dispõe de um elevado conhecimento e experiência em engenharia de infraestruturas e transportes aliados às mais avançadas tecnologias de cada área em que atua, podendo ser destacadas as seguintes áreas de influência na Figura 2.3.



**Figura 2.3** Áreas de influência divisão infraestruturas e transportes ( adaptado de SENER, 2018)

Ao nível de serviços prestados, a SENER providencia uma vasta gama, desde o planeamento inicial da infraestrutura até à sua manutenção e operação ao longo do seu ciclo de vida. Destacam-se quatro áreas no ciclo de vida de uma infraestrutura:

- Planeamento;
- Projeto;
- Construção;
- Operação e a Manutenção.

Na SENER é possível encontrar uma diversidade de especialistas nas várias disciplinas que compõem o sector de infraestruturas e transportes, sendo possível encontrar as seguintes áreas específicas:

- Infraestruturas Rodoviárias;
- Infraestruturas Ferroviárias;
- Infraestruturas Aeroportuárias;
- Sistemas de Transportes Urbanos.

## 2.3 Síntese das atividades desenvolvidas

No decorrer dos quatro meses de estágio curricular foi possível realizar diversas atividades em projetos nacionais e internacionais, que proporcionaram uma aprendizagem contínua das diversas áreas do projeto de infraestruturas.

Neste âmbito, destaca-se a participação em quatro projetos, bastante distintos, no que se refere ao seu método de realização, à interação das várias especialidades, bem como à compreensão de normas e legislação aplicáveis.

Complementarmente a consulta e o estudo de projetos anteriormente realizados na empresa, para familiarização com a metodologia e a verificação de aplicação de critérios específicos, foi uma constante durante todo o período de estágio.

Enumeram-se seguidamente os Projetos referidos anteriormente, assim como a descrição das principais atividades elaboradas nesse âmbito.

### ***Reformulação do projeto de ampliação do Caminho de Circulação “F” no Aeroporto Francisco Sá Carneiro, alteração de Code F para Code E***

Este projeto refere-se à reformulação do projeto de execução anteriormente realizado pela empresa SENER-ENGIVIA, no âmbito da ampliação do Caminho de Circulação “F”, relativa à alteração de *Code F* para *Code E*, tema abordado no subcapítulo 4.2.4.

Esta alteração de código tem por base a redução da largura do caminho de circulação inicialmente projetado para o aeroporto, que havia sido concebido para possibilitar a circulação do avião Airbus A380 e que atualmente se pretende alterar, reduzindo a ocupação do caminho de circulação e possibilitando o aumento dos movimentos por hora previstos com o anterior projeto.

Ao longo do período de estágio, foi realizado uma pesquisa bibliográfica relativa aos documentos normativos e recomendações da especialidade sobre as melhores práticas a implementar na realização de um projeto desta natureza, destacando-se a consulta das normas e recomendações fornecidas pela *International Civil Aviation Organization (ICAO)*, através do Anexo 14, seus manuais complementares e as especificações da *European Aviation Safety Agency (EASA)* nomeadamente o documento “*Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design*”.

Numa primeira fase, após o estudo das normas e recomendações mais relevantes, procedeu-se a uma análise crítica dos novos traçados geométricos do projeto, dando-se

especial atenção à sua diretriz e perfil longitudinal, com a finalidade de avaliar se todos os cálculos e desenhos respeitavam as recomendações normativas.

Posteriormente, procedeu-se à realização das devidas correções ao projeto de geometria de traçado, mais concretamente às peças desenhadas associadas e às tabelas de cálculo.

Por último, foram realizadas as medições dos projetos de pavimentação, terraplenagem, sinalização, drenagem e demolições, tendo por base o caderno de encargos fornecido.

### **Outras atividades realizadas na empresa:**

Para além do projeto aeronáutico referido anteriormente, é de salientar que foram desenvolvidas outras atividades durante o estágio, sendo de destacar três projetos rodoviários onde houve oportunidade de colaborar em ações de formação.

#### ➤ **Projetos Rodoviários**

##### *Projeto de duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da rodovia BR-381/Minas Gerais*

- Análise de Normas de traçado associadas ao projeto;
- Medições dos projetos de terraplenagem e de drenagem.

##### *Projeto de alargamento e beneficiação para 2x4 vias, nó e portagens, Sublanço Águas Santas/Ermesinde, na A4- Autoestrada Porto/Amarante*

- Análise de Normas associadas a cada especialidade;
- Análise do projeto do Sublanço Águas Santas / Ermesinde;
- Participação na execução do projeto de guardas de segurança e delineadores;
- Medições dos projetos de sinalização, demolição, drenagem, e guardas de segurança, segundo os critérios estabelecidos no caderno de encargos fornecido;
- Participação nas medições dos projetos de terraplenagem e pavimentação.

##### *“Red de Autopistas y Rutas Seguras PPP – Corredor Vial B y SUR”, na Argentina*

- Avaliação das peças do anteprojeto para os Corredores B e SUR – análise crítica das estimativas de quantidades da sinalização rodoviária;
- Identificação dos nós rodoviários a analisar;
- Medições dos anteprojeto de sinalização e iluminação para os Corredores B e SUR.

➤ **Ações de formação:**

Para além das atividades associadas aos projetos já referidos, a fim de conhecer as atividades desenvolvidas pela SENER-ENGIVIA, procedeu-se à realização de um conjunto de atividades que proporcionaram um maior conhecimento da realidade da empresa.

Destaca-se a participação em ações de formação sobre os procedimentos de qualidade e segurança no trabalho, realizadas durante os primeiros dias de estágio, proporcionando o conhecimento do sistema de gestão integrada de qualidade, segurança e ambiente da empresa.

Realça-se, ainda, a introdução de um programa de cálculo automático de traçado, designado por *ISTRAM ISPOL* (programa utilizado pela empresa), através da realização de ações de formação ao longo do estágio e posterior aplicação através de exemplos fornecidos.

Este programa é um *software* de cálculo automático que é utilizado no desenvolvimento do traçado de infraestruturas aeroportuárias, ferroviárias e rodoviárias, assim como na medição dos vários trabalhos considerados.

No âmbito da conceção do traçado geométrico o programa tem por base o cálculo da diretriz, da rasante e dos perfis transversais respetivos da infraestrutura a projetar, funcionando de maneira muito intuitiva, pressupondo a definição de alguns parâmetros que caracterizam as linhas de cálculo que se pretendem definir (no caso da diretriz, por exemplo, as coordenadas de pontos de início e fim de alinhamentos retos, rumos, coordenadas de pontos de tangência, raios das curvas circulares, entre outros, são alguns dos elementos que se tornam necessários definir à partida).

Para além dos aspetos referidos, uma das mais-valias deste programa são as listagens de cálculo que são geradas após a definição do traçado, como é o caso de listagem de pontos cotados, ou qualquer outra medição que se queira realizar.

### 3 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO DO TRANSPORTE AÉREO

O transporte aéreo tal como o conhecemos hoje em dia esteve sempre mais ligado à evolução das aeronaves do que à evolução das restantes vertentes que o compõem. Os aeroportos não são exceção e a evolução da pista tem vindo desde os primeiros tempos a acompanhar o ritmo evolutivo das aeronaves, sendo esta um dos seus pontos-chave para as opções de projeto tomadas na sua conceção.

O meio de transporte sempre foi de extrema necessidade para o homem e ao longo dos tempos, a aviação tornou-se numa das indústrias mais influenciadoras, tendo o transporte aéreo de pessoas e mercadorias aberto novos horizontes e oportunidades. Encurtando distâncias, tem conduzido ao progresso económico a nível internacional e nacional, conectando pessoas, países e culturas, proporcionando um acesso mais fácil e rápido a novos mercados e atraindo pessoas e comércio para zonas do globo até então desconhecidas para muitos. Trouxe também alianças e criou laços entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento.

Desde o seu aparecimento, quer em ligações nacionais, como em ligações internacionais, o transporte aéreo tem sido um dos meios de transporte que apresenta maior evolução, tendo obrigado a que as respetivas infraestruturas de apoio acompanhassem o seu crescimento, exigências e necessidades tanto das aeronaves como dos passageiros.

#### 3.1 Evolução do transporte aéreo

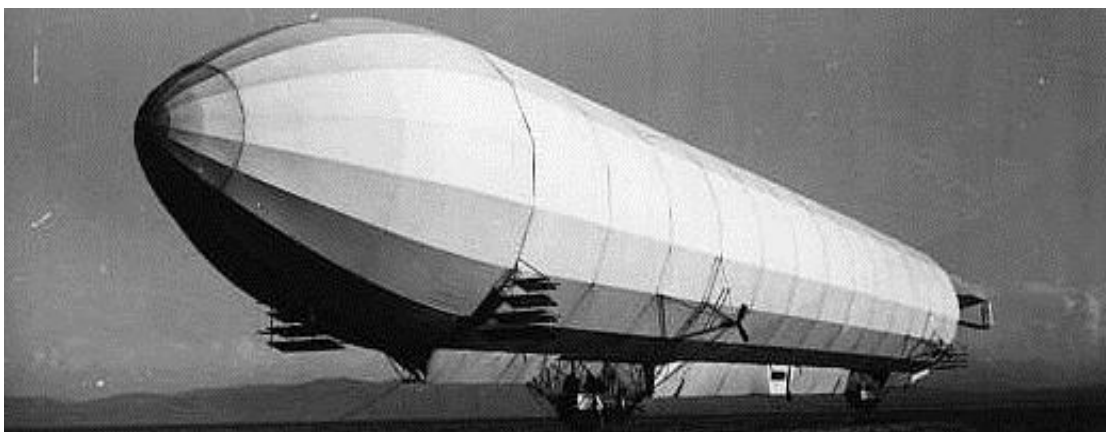
A história do transporte aéreo remonta a centenas de anos atrás, com Leonardo Da Vinci no Século XV, a mostrar ao mundo os primeiros esquemas e desenhos de máquinas voadoras. Para além desta situação, a história dá-nos conta de outros projetos que foram feitos por outros pioneiros na conquista do espaço aéreo.

Mais tarde em 1783, os irmãos Montgolfier, realizaram em Lyon-França o primeiro voo de um balão de ar quente, tendo conseguido atingir uma altura de 1830 metros, num percurso de 1600 metros, durante 10 minutos no ar.

Simultaneamente, no mesmo ano, Jacques Charles em Paris-França, desenvolvia e demonstrava a ascensão de balões de hidrogénio, que rapidamente substituiu o balão de ar quente. Este fez um voo em que conseguiu percorrer mais de 36 quilómetros, permanecendo no ar mais de duas horas. A partir deste momento, o voo com balões tornou-se comum por toda a Europa (Boyd, 2009).

Após várias experiências, em 1852, surge o primeiro dirigível, chamado *Hippodrome*, os dirigíveis marcavam a diferença dos balões de ar quente e dos de gás, por terem um motor a vapor que diminuía a dependência à velocidade do ar. Os dirigíveis foram sofrendo uma evolução ao longo do tempo, tendo em 1901, Alberto Santos-Dumont, realizado o que ainda hoje é considerado o primeiro voo bem-sucedido. Com o seu dirigível de motor a gasolina, Dumont, contornou a Torre Eiffel, realizando o primeiro circuito pré-estabelecido (Eduardo et al., 2015).

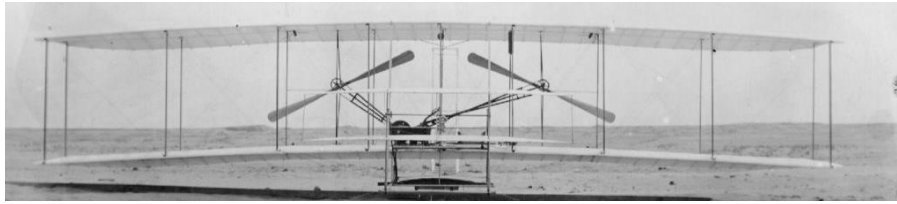
Nos primeiros anos do Século XIX é de realçar o contributo de Von Zeppelin Ferdinand para a evolução do transporte aéreo, tendo construído ao longo da sua vida mais de 100 dirigíveis. Até 1914, os seus dirigíveis, transportaram cerca de 37 mil passageiros e realizaram perto de 1600 voos. A Figura 3.1 apresenta um dos dirigíveis mais famosos do Conde Zeppelin (Eduardo et al., 2015).



**Figura 3.1** Dirigível LZ-4 (Swopes, 2018)

Uma vez que, nesta altura, os voos já não se limitavam às fronteiras terrestres estabelecidas por cada país e o percurso de balões e dirigíveis não podia ser totalmente controlado, foram dados os primeiros passos entre alguns estados para a criação das primeiras legislações, através de acordos bilaterais ou mesmo multilaterais.

No decorrer da época da evolução dos dirigíveis, verificaram-se também outros avanços no transporte aéreo, através do desenvolvimento dos planadores. Em 1903, após inúmeros testes com planadores, os irmãos Wright na Carolina do Norte - Estados Unidos da América (E.U.A.), começam a construir o *Flyer I*, apresentado na Figura 3.2, avião que a 17 de dezembro desse ano, com um motor de doze cavalos por eles concebido, viria a ficar na história como o primeiro voo controlado com propulsão, com uma distância percorrida de 37 metros e duração de 12 segundos. Um dos sonhos do homem estava concretizado, dava-se início à era do avião (Eduardo et al., 2015).



**Figura 3.2** Flyer I (McDaniel, 2010)

A 1 de janeiro de 1914 dá-se mais um feito histórico neste caso para a aviação comercial, pois o voo realizado entre São Petersburgo e Tampa, na Florida - E.U.A., marca o início da regular aviação comercial de passageiros (Iatrou, 2014).

A 1.ª Guerra Mundial (com início em 1914), levou a um grande avanço tecnológico, impulsionando a aviação para um nível ainda nunca visto na altura. Durante os quatro anos de guerra foram produzidas mais de duzentas mil aeronaves.

Em 1918, após o final da 1.ª Grande Guerra a aviação tinha evoluído para um patamar sem precedentes e o desenvolvimento de grandes bombardeiros demonstrou que o avião poderia ser utilizado para um transporte comercial de carga e correio mais rápido e eficaz. A indústria do transporte aéreo entrava então na era do pós-guerra, em que os aviões anteriormente usados na guerra eram adquiridos pelos correios e utilizados para entrega de correio e mercadoria, criando as primeiras rotas aéreas de correio regular doméstico (Coelho et al., 2015).

Nesta altura começaram a aparecer as grandes empresas da aviação, e por todo o mundo começaram a surgir novas linhas aéreas, em 1933, a *Boeing* lança o 247, o primeiro avião comercial do mundo, este e o *Douglas DC-3* (1936) tornaram-se símbolos deste período, podendo estes ser observados respetivamente na Figura 3.3 (Coelho et al., 2015).



**Figura 3.3** Boeing 247 e Douglas DC-3 (DuBay, 2015)

O ano de 1939 marca o início da 2.ª Guerra Mundial, nesta altura as principais potências mundiais já utilizavam aviões com asas de fuselagem de metal, capazes de ultrapassar os 500 quilómetros por hora (km/h), torna-se imprescindível conduzindo a um fabrico em massa de aviões, o que levou a que este meio de transporte sofresse um enorme avanço tecnológico.

Após a 2.<sup>a</sup> Guerra Mundial, todos os envolvidos no transporte aéreo saíram beneficiados, seja em termos financeiros, operacionais, mas acima de tudo em avanços tecnológicos. A utilização de novas metodologias foram aplicadas, equipamentos cada vez mais sofisticados geram o aparecimento de organizações mundiais que regulavam a indústria da aviação, crescendo a regulação tanto a nível nacional como mundial.

É nestes primeiros anos que os britânicos desenvolvem o primeiro avião a jato da aviação comercial, o *Havilland Comet*, ficando este ligado à história por diversos acidentes. Anos mais tarde devido à sua fraca resistência material na cabine pressurizada, estes aviões foram substituídos pelo *Boeing 707* e pelo *Douglas DC-8*, que foram os verdadeiros impulsionadores da época de viagens de aviões a jato.

Segundo dados da ICAO, os números de passageiros após a 2.<sup>a</sup> Guerra Mundial duplicou, chegando a um valor na ordem dos setenta e oito milhões em 1956, marcando esta altura do pós-guerra pela maior expansão alguma vez vista na aviação comercial.

Os aeroportos, entre o final da 2.<sup>a</sup> Guerra Mundial e até à década de 70, eram baseados nas antigas instalações militares que ficaram desaproveitadas depois da guerra. Nesta altura, os aeroportos estavam dependentes das companhias aéreas de bandeira e do governo estatal.

Em 1970, a *Boeing* lança o 747, que pode ser observado na Figura 3.4, que viria a tornar as viagens aéreas acessíveis a milhões de pessoas, devido à sua grande dimensão, tendo sido considerado o maior avião de passageiros do mundo até 2005, ano em que a concorrente *Airbus* faz o primeiro voo do seu A380.



**Figura 3.4** Boeing 747 (Arliners, 2012)

Em 1966 é realizado o primeiro voo do *Concorde*, Figura 3.5, projetado e construído por um consórcio franco-britânico, sobretudo para realizar viagens transatlânticas, ligando Paris a Nova Iorque em duas horas. No entanto, um acidente em 2000, veio reforçar a ideia dos grandes riscos presentes com a localização de um aeroporto junto a grandes cidades e estes foram retirados de circulação (Coelho et al., 2015).



**Figura 3.5** Concorde (Concordesst, 2008)

Em 2005, a *Airbus* lança o A380 (Figura 3.6), que veio provocar a necessidade de introduzir novas inovações tecnológicas nos diversos domínios da aviação comercial. Este caracteriza-se por ser um avião de grandes dimensões, com 560 toneladas de peso máximo à decolagem, e uma largura de eixos muito superior aos restantes aviões, levando a enormes alterações das infraestruturas com o fim de o receberem.



**Figura 3.6** Airbus A380 (Airbus S.A.S, 2005)

O aparecimento deste e de outros aviões com a mesma ou maior envergadura, levou a que se tornassem inadequados os aeroportos antiquados que não haviam acompanhado a modernização a nível global.

No que toca aos estudos revelados pelas entidades, tanto nacionais como internacionais competentes da área, o futuro parece ser risonho para o transporte aéreo, as companhias e os aeroportos que tiverem maior capacidade de adaptação, sairão beneficiadas e destacar-se-ão da concorrência, uma vez que o crescimento do transporte aéreo a nível global é uma realidade que veio para se manter.

### **3.2 Transporte aéreo em Portugal**

A aviação em Portugal apesar de algumas tentativas no passado, só começa realmente a ter alguma evolução no início do Século XX, com o primeiro voo em espaço aéreo nacional realizado pelo francês Armand Zopfel, no Hipódromo de Belém em 1909, tendo este local sido considerado a primeira pista para aviões nacional. Nesse mesmo ano surge o Aero clube de Portugal e Oscar blank torna-se o primeiro piloto português a obter o brevet internacional n.º 8 (Ramos, 2016).

Três anos mais tarde, em 1912, Alberto Sanches de Castro torna-se no primeiro português a voar em espaço aéreo nacional, num *Voisin-Antoinette*, que se tornou no primeiro avião adquirido a chegar a Portugal.

Neste ano, dá-se também o arranque da aviação militar portuguesa, oficializada apenas dois anos mais tarde em 1914, com a criação de uma escola militar aeronáutica que se viria a instalar em 1916 em Vila Nova da Rainha, esta a primeira escola de aviação a nível nacional.

No ano de 1918 é criado o parque material aeronáutico em Alverca, que foi durante anos o campo internacional de aterragem, servindo as companhias que nesta época realizavam voos para a capital portuguesa, é desativado anos mais tarde devido à inauguração do Aeroporto Internacional de Lisboa (Babo, 2018).

A primeira ligação aérea entre Lisboa e o Funchal na ilha da Madeira, realizou-se em 1921 através de um hidroavião da Aviação Naval Portuguesa, que saiu da doca do Bom Sucesso em Lisboa. Entre a tripulação estavam o Capitão de guerra Gago Coutinho e o Capitão-tenente Sacadura Cabral. Se bem que a ligação regular aérea entre estas duas cidades através de hidroaviões só ocorreu no ano de 1949, a partir do Aeroporto Marítimo de Cabo Ruivo (Rodrigues, 2016).

Com o final da 1.<sup>a</sup> Guerra Mundial a aviação portuguesa continuou o seu crescimento em dois ramos independentes, a aviação naval e do exército. Em 1922, Gago Coutinho e Sacadura Cabral entram para a história da aviação nacional e internacional, realizando a travessia aérea do Atlântico Sul, ligando Lisboa ao Rio de Janeiro, utilizando um Hidroavião de nome "*Farey 3*", na qual utilizaram pela primeira vez novos meios científicos para navegação noturna em grande distância. Foi durante esta viagem que Sacadura Cabral testou um sextante desenhado por si, capaz de assegurar uma navegação precisa mesmo em viagens aéreas (ncultura, 2017).

O transporte aéreo continuou a sua evolução e em 1930 é inaugurada a base das Lajes na ilha Terceira, nos Açores. Esta foi pensada como um ponto intermédio de assistência a aeronaves que faziam a travessia do Atlântico. A pista foi inicialmente projetada com 600 metros de comprimento e 70 metros de largura, inicialmente de terra batida e só uns anos mais tarde foi pavimentada. Hoje em dia é um dos principais aeroportos de voos comerciais que serve o Arquipélago dos Açores(Mendes, 2016).

A pressão internacional e a falta de resposta para responder aos voos internacionais e nacionais, fazia-se sentir cada vez mais, uma vez que os campos militares estavam a tornar - se insuficientes e inadequados.

No ano de 1938 inicia-se então a construção do Aeroporto Marítimo de Cabo Ruivo, à beira do rio Tejo, onde hoje se situa o Parque das Nações e o Aeroporto da Portela, localizado na Portela de Sacavém, na altura um descampado nas imediações da cidade de Lisboa. O projeto incluía duas pistas pavimentadas com 1000 e 1200 metros, com resistência para os movimentos de aeronaves até 20 toneladas, como pode ser observado na Figura 3.7, prevendo a ampliação do comprimento das pistas para 2000 metros (Melo, 2017a).



**Figura 3.7** Planta Aeroporto da Portela (Câmara Municipal de Lisboa, 2008)

As plataformas e as pistas ficaram prontas em 1941, no entanto o aeroporto só abre ao tráfego aéreo a 15 de outubro de 1942 e é oficialmente inaugurado em 1943. Entre o ano da inauguração e os anos seguintes várias companhias fizeram testes de rotas a partir do Aeroporto da Portela, sendo a sua primeira rota regular internacional inaugurada já depois de terminada a 2ª Guerra Mundial, em 1946.

A conclusão da obra do Aeroporto Marítimo de Cabo Ruivo dá-se após a inauguração do Aeroporto da Portela, sendo composto por um cais flutuante de 30 metros e por um prolongamento de uma ponte de 161 metros, o que possibilitava a acostagem dos hidroaviões em três sentidos. Este foi planeado e desenvolvido pela Companhia Aérea *Pan American*, para servir de base à sua operação transatlântica, servindo de escala para os passageiros que queriam entrar na Europa (Melo, 2017b).

Para ligar com rapidez o Aeroporto Marítimo ao novo Aeroporto da Portela foi construída uma via rápida que ligava os dois aeroportos, chamada Avenida Entre-Aeroportos, hoje em dia conhecida como Avenida de Berlim. Os passageiros amarravam em Cabo Ruivo e apanhavam um veículo que fazia a ligação entre os dois aeroportos (Melo, 2017b).

A já referida Companhia Aérea *Pan American* usa o Aeroporto Marítimo até 1945 e durante a 2.ª Guerra Mundial o aeroporto é utilizado como rota para a fuga de refugiados da Europa central.

Neste mesmo ano é concluído o Aeroporto relvado de Pedras Rubras (Figura 3.8), situado na Maia, no distrito do Porto, anos mais tarde denominado por Aeroporto Francisco Sá Carneiro, sendo os seus primeiros serviços aéreos realizados entre Porto e Lisboa pela companhia aérea portuguesa C.T.A., fundada para esse efeito (Amaral, 2005).



**Figura 3.8** Vista aérea do Aeroporto de Pedras Rubras nos primeiros anos (António, 2015)

O grande aumento da importância dos voos de tráfego aéreo terrestre e o término da era do transporte aéreo com recurso a hidroaviões levou ao fim dos voos com escala em Cabo Ruivo, levando ao fecho do aeroporto em 1950 (Ferreira, 2016).

No ano de 1960 Portugal ganha um novo aeroporto, este na ilha de Porto Santo, no Arquipélago da Madeira, tendo sido a sua rota inicial Porto Santo-Lisboa. O novo aeroporto estava equipado por uma pista pavimentada de 2000 metros de extensão e 45 metros de largura (Rodrigues, 2016).

Em 1964 dá-se a inauguração do Aeroporto da Madeira, com uma pista de 1600 metros de extensão, localizada entre os concelhos de Santa Cruz e Machico, sendo considerada ainda hoje como uma das pistas mais perigosas em termos de aproximação e aterragem. Este fato levou a que a pista tenha sido aumentada para 1800 metros em 1986 e no ano 2000 para os 2781 metros, podendo receber aviões como *Boeing 747* (Rodrigues, 2016).

Um ano mais tarde, é a vez de o Algarve receber um aeroporto, localizado em Faro a sua inauguração ocorre, em 1965, dispunha de uma pista com 2400 metros, com potencialidade para ser prolongada para 3000 metros, constituía uma alternativa ao Aeroporto de Lisboa uma vez que tinha capacidade de receber qualquer tipo de avião na época servindo de alternativa ao Aeroporto de Lisboa. Atualmente e após enormes remodelações o Aeroporto de Faro dispõe de uma pista com 2490 metros de comprimento e 45 metros de largura (Viegas, 2015).

Nos finais da década de 60, já o Aeroporto de Lisboa figurava entre os aeroportos de 1.<sup>a</sup> classe e tinha sofrido diversas remodelações em relação às suas pistas, de forma a se adaptar à constante evolução tecnológica e tamanho das aeronaves. Nesta altura, já era servido por duas pistas cruzadas, ambas em pavimento betuminoso (a Pista 3/21 com 3450 metros com opção de extensão até 3800 com inclinação de 1.5% e a Pista 17/35 com 2400 metros), novos caminhos de circulação, plataformas de estacionamento ampliadas, dois terminais civis (T1 e T2), de forma a poder corresponder ao novo gigante dos ares o *Boeing 707*, de 130 toneladas e capacidade para cento e cinquenta pessoas. Disponha ainda de um terminal de carga e um militar (AT1 – Aeródromo de Trânsito nº 1) mais conhecido com o nome de Aeroporto Figo Maduro. O aeroporto passa então a ocupar uma área de 300 hectares (Leite, 2013a).

Em 10 de agosto de 1969 dá-se a inauguração do novo Aeroporto de Ponta Delgada, ficando este conhecido como Aeroporto do Nordelo, possuía uma pista com cerca de 1700 metros de comprimento. Atualmente conhecido como Aeroporto João Paulo II dispõe de uma pista com 2525 metros (Porto Editora, 2003-2018a).

Em 1978 é criada a Empresa Pública ANA – Aeroportos e Navegação Aérea, iniciativa que veio dar um novo rumo ao desenvolvimento das infraestruturas aeroportuárias nacionais e também do tráfego aéreo (ANA, 1999).

A aviação em território nacional continuou e nos primeiros anos do Século XXI novas remodelações foram iniciadas e melhorias de equipamento foram realizadas de forma contínua nos aeroportos nacionais, sobretudo na Portela, onde já naquela altura se esperava que após o ano 2010 fosse atingido o valor de doze milhões de passageiros.

Em 1992 o Aeroporto da Portela após terminadas as remodelações, passa a ter capacidade para receber oito milhões de pessoas, mais três milhões que no ano anterior. Remodelações que também ocorreram ao longo dos anos neste e nos outros aeroportos nacionais, tendo como objetivo acompanhar a evolução do meio.

Mais recentemente em 2011 é inaugurado o Aeroporto Internacional de Beja, localizado no Alentejo a poucos quilómetros da cidade de Beja, tinha como objetivo principal a operação nele de companhias aéreas de baixo custo, servir a zona do Algarve e da Costa Vicentina, dinamizando toda aquela região, a duas horas de Lisboa. A infraestrutura tem duas pistas a principal 3450 metros de comprimento e 60 metros de largura e uma secundária com 2951 metros de comprimento e 30 de largura. Nos dias de hoje muito se tem discutido sobre a

utilidade deste aeroporto, pois atualmente apenas recebe voos charter sazonais e aeronaves em situação de estacionamento ou manutenção.

O Aeroporto de Beja é atualmente, a par dos Aeroportos das Lajes e Lisboa (com algumas condicionantes), um dos únicos aeroportos capaz de receber o novo gigante dos ares, o Airbus A380, que necessita de características específicas de pista para poder aterrar devido à sua envergadura. A 23 de julho de 2018 torna-se o primeiro aeroporto nacional a receber este modelo de aeronave (Veiga, 2018).

Atualmente muito se discute sobre a evolução dos aeroportos em Portugal, havendo mesmo diversos estudos relativos aos aeroportos nacionais. No que se refere ao Aeroporto da Portela, designado hoje como Aeroporto Humberto Delgado, tem sido amplamente debatido sobre a sua saturação e necessidade de construção de uma nova infraestrutura aeroportuária que sirva a cidade de Lisboa, constatando-se hoje que por motivos de restrições de espaço, este aeroporto se encontra no limite do seu crescimento.

Este tema foi recentemente retomado em termos nacionais, tendo em conta a construção de novo aeroporto na margem sul do rio Tejo, num território amplo e plano, capaz de responder ao longo dos anos às ampliações exigidas pela evolução tecnológica e tamanho dos aviões, que não tenha condicionantes de expansão devido a congestionamento urbano, como o que ocorre junto ao Aeroporto Humberto Delgado.

### **3.3 Organizações aeronáuticas**

A aviação é a área dos transportes mais controlada do planeta, pelo que existem inúmeras organizações que representam tanto setores, como infraestruturas e até países. Sendo que com influência a nível nacional podem-se destacar quatro organizações.

Uma das organizações mais influentes a nível global é a *International Civil Aviation Organization* (ICAO), que lidera os assuntos da aviação civil internacional, com o objetivo de desenvolver os princípios e técnicas do transporte aéreo e promover o seu planeamento e desenvolvimento.

Desde a sua formação esta Organização tem tido como principal função alcançar a normalização das operações de forma a garantir a segurança, regularidade e eficiência dos serviços de transporte aéreos. A normalização é realizada através da constante criação, aplicação, revisão e atualização do documento normativo constituído por dezoito Anexos. Sendo de salientar o Anexo 14 (ICAO, 2016) correspondente ao projeto e operações de aeródromos, na realização do presente Trabalho Final de Mestrado.

Outra Organização que se deve destacar é a *Airports Council International (ACI)*, que representa os interesses dos aeroportos perante os governos e organizações internacionais como a ICAO, desenvolve padrões, políticas e recomendações para o projeto, construção e operação de aeroportos a nível global (Skybrary.aero, 2016).

A nível Europeu destaca-se *European Aviation Safety Agency (EASA)*, que representa a União Europeia em matéria de segurança da aviação, tendo por missão promover as mais elevadas normas comuns de segurança, proteção ambiental, regulamentação de segurança em aeroportos e sistemas de tráfego aéreo no setor da aviação civil.

Em Portugal a autoridade máxima para aplicação da regulamentação aérea é a Autoridade Nacional da Aviação Civil (ANAC), com jurisdição sobre todo o espaço aéreo do Estado Português com competência e responsabilidade para a emissão, continuação, modificação, suspensão ou revogação de certificados e de todas as atividades aeronáuticas a nível nacional.

É de referir que os principais documentos normativos referentes aos critérios de dimensionamento aeroportuário publicados por estas organizações e seguidos no nosso país são os que se apresentam na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** Principais documentos normativos no dimensionamento aeroportuário

Organização	Área de intervenção	Documento	Tema
ICAO	Mundial	<i>Annex14 – Vol.1 Aerodrome Design and Operations</i>	Projeto e operações de aeródromos
		<i>Aerodrome Design Manual – Part 1 Runways</i>	Critérios de dimensionamento de pistas aeroportuárias
		<i>Aerodrome Design Manual – Part 2 Taxiways, Aprons and Holding Bays</i>	Critérios de dimensionamento de Caminhos de circulação, áreas de espera e estacionamento de aeronaves.
EASA	Europa	<i>CS-ADR-DSN Issue 4 – Aerodromes Design</i>	Projeto de aeródromos
ANAC	Nacional	Decreto-Lei n.º 186/2007 de 2007	Construção, certificação, exploração e operação de aeródromos nacionais
		Regulamento n.º 508/2012 de 2012	Determinação do código de referência aeroportuário
		Circular de informação aeronáutica (CIA) N.º: 33/13	Extensão inicial da pista
		Circular de informação aeronáutica (CIA) N.º: 36/13	Distâncias declaradas da pista
		Glossário da Aviação Civil	Conceitos e definições aeroportuárias



## 4 CRITÉRIOS GEOMÉTRICOS NO DIMENSIONAMENTO AEROPORTUÁRIO

Tendo por base os objetivos propostos para o Trabalho Final de Mestrado, torna-se necessário um estudo criterioso das normas que regem o dimensionamento de uma pista aeroportuária.

Deste modo, pretende-se aprofundar os conhecimentos relativos às metodologias a adotar durante a elaboração de um projeto deste tipo e os possíveis constituintes de uma infraestrutura aeroportuária, bem como as recomendações a considerar na realização dos traçados geométricos, perfis longitudinais e perfis transversais a estes associados.

### 4.1 Infraestrutura aeroportuária

Este subcapítulo procura fazer de forma clara e concisa o enquadramento da infraestrutura aeroportuária, apresentando os vários componentes de um aeroporto e dando maior ênfase à localização dos componentes diretamente associados às aeronaves.

Um aeroporto é uma infraestrutura com a função de servir aeronaves, passageiros, carga e veículos. Cada um destes usuários é servido por diferentes componentes do aeroporto. Estes componentes são tipicamente divididos em duas categorias, lado ar (“*airside*”) e lado terra (“*landside*”).

O lado ar (“*airside*”) de um aeroporto é planeado e gerido para acomodar os movimentos das aeronaves dentro do aeroporto, tão bem quanto no ar. Os componentes do lado ar de um aeroporto são igualmente considerados como parte do espaço aéreo local e do aeroporto.

Entende-se como espaço aéreo (“*airspace*”) a área da superfície que rodeia o aeroporto, onde as aeronaves realizam manobras após a decolagem, antes da aterragem ou mesmo na passagem de um avião a caminho de outro aeroporto.

Os componentes do lado terra (“*landside*”) de um aeroporto são planeados e geridos para acomodar os movimentos dos veículos, passageiros e cargas, incluindo todas as áreas do aeroporto que não pertençam ao lado ar. Estes componentes são categorizados para servir as necessidades dos seus usuários.

O terminal de passageiros de um aeroporto é o coração do lado terra desta infraestrutura. É planeado e gerido de maneira a facilitar os movimentos dos passageiros e das suas bagagens, do lado terra para a aeronave situada no lado ar.

Os acessos terrestres de um aeroporto têm a função de acomodar os movimentos dos veículos em torno do aeroporto e área metropolitana, bem como entre os vários edifícios existentes na propriedade do aeroporto.

Não importa o tamanho do aeroporto e a sua categoria, todos estes constituintes acima referidos são essenciais ao correto funcionamento desta infraestrutura, realizando o mais adequado movimento de pessoas das áreas metropolitanas até ao transporte aéreo.

Os componentes desta infraestrutura são planeados de modo a permitir o fluxo apropriado de componente para componente até ao seu destino final de acordo com o tipo de aeronave e quantidade de passageiros/carga que utilizam. A Figura 4.1 ilustra o escoamento típico entre os diversos constituintes de um aeroporto (Wells & Young, 2004).

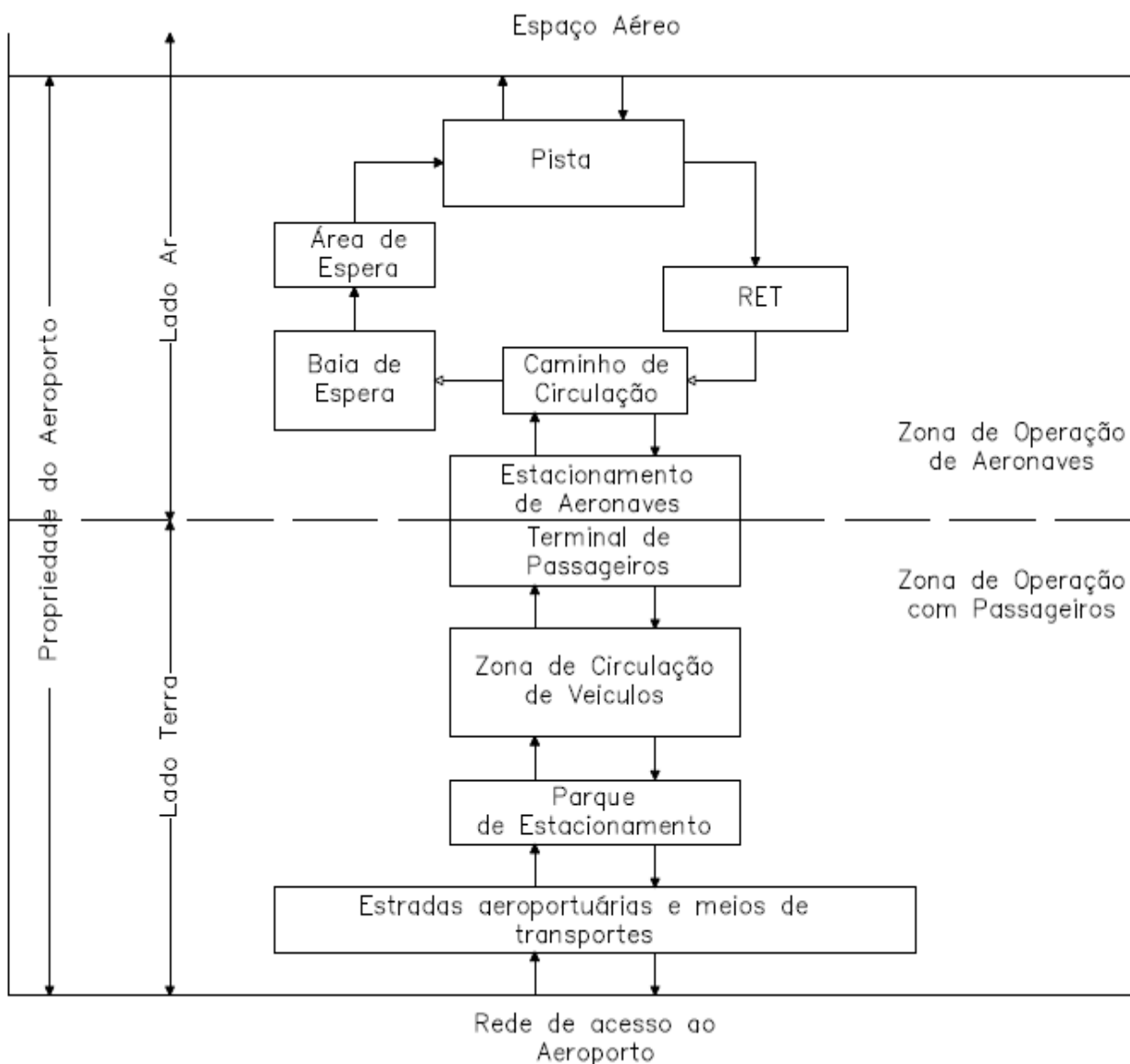


Figura 4.1 Constituintes de um aeroporto (adaptado de Wells & Young, 2004)

#### **4.1.1 Localização da infraestrutura**

A localização de uma Infraestrutura aeroportuária é um aspeto fundamental para o seu funcionamento e crescimento sustentável. Tanto o número de passageiros, como a facilidade de operação e manutenção da infraestrutura são maioritariamente condicionadas pela sua localização geográfica.

A proximidade dos grandes centros urbanos, é sem dúvida um fator decisivo para a atratividade de passageiros, quer seja por turismo, trabalho ou residência, visto que um aeroporto só pode funcionar e subsistir de maneira sustentável se se verificar um volume de passageiros que o justifique.

Outro aspeto a ter em atenção, são os acessos ao aeroporto. A garantia de ligações fáceis e rápidas aos grandes centros urbanos, através de meios de transporte públicos, como comboio, metro, autocarro entre outros é determinante no escoamento ou na atração do volume de passageiros.

No entanto, a proximidade a uma grande cidade poderá ter como condicionante o crescimento da própria infraestrutura aeroportuária a longo prazo. Um aeroporto quando é projetado deve ter em vista expansões futuras, para poder fazer face ao crescimento tanto do volume de passageiros como de movimentos de aeronaves a longo prazo. Estas expansões podem envolver desde a construção de mais pistas e de caminhos de circulação, até à ampliação de terminais e de outros componentes do aeroporto.

Além dos fatores físicos e de espaço ocupado, é necessário ter em linha de conta os fatores de segurança relacionados com o voo das aeronaves, sendo a proximidade a grandes edifícios e outras infraestruturas de grande envergadura interditas nas imediações da pista, para não interferir no trajeto aéreo das aeronaves (Pinheiro, 2015).

Deve-se, ainda, considerar-se outros fatores de ordem geográfica, importantes tanto no projeto da infraestrutura como na operação, sendo de referir a temperatura, a altitude, os ventos predominantes e relevo do terreno, entre outros.

#### **4.1.2 Lado ar**

O lado ar de um aeroporto contém as áreas que permitem a realização dos movimentos das aeronaves e dos veículos terrestres de apoio em segurança, bem como os edifícios adjacentes, ou parte deles cujo acesso é restrito e controlado.

Esta parte do aeroporto é planeada, dimensionada e gerida segundo regras específicas que permitam acomodar o volume e tipo de aeronaves para que este foi concebido (Wells & Young, 2004).

Apesar de ser evidente que o planeamento, dimensionamento e gestão de um pequeno aeroporto é muito diferente comparativamente com o de grandes aeroportos internacionais, verifica-se que, em termos de infraestruturas, muitos dos principais princípios de funcionamento quando planeados e geridos são idênticos.

Os componentes mais proeminentes que constituem este lado da infraestrutura aeroportuária, são as pistas, os caminhos de circulação, as áreas de estacionamento de aviões, os auxílios à navegação, o sistema de iluminação, a sinalização e as marcas no pavimento.

Existem ainda, para fins de segurança e assistência às aeronaves zonas como o “*Air Rescue and Fire Fighting*” (ARFF), as estações para descongelar aeronaves e as zonas de abastecimento de aeronaves.

Os aeroportos mais pequenos são simples no que se refere aos seus componentes, apresentando uma única pista, com um pequeno número de marcas, sem caminhos de circulação e com uma pequena área de estacionamento para aeronaves.

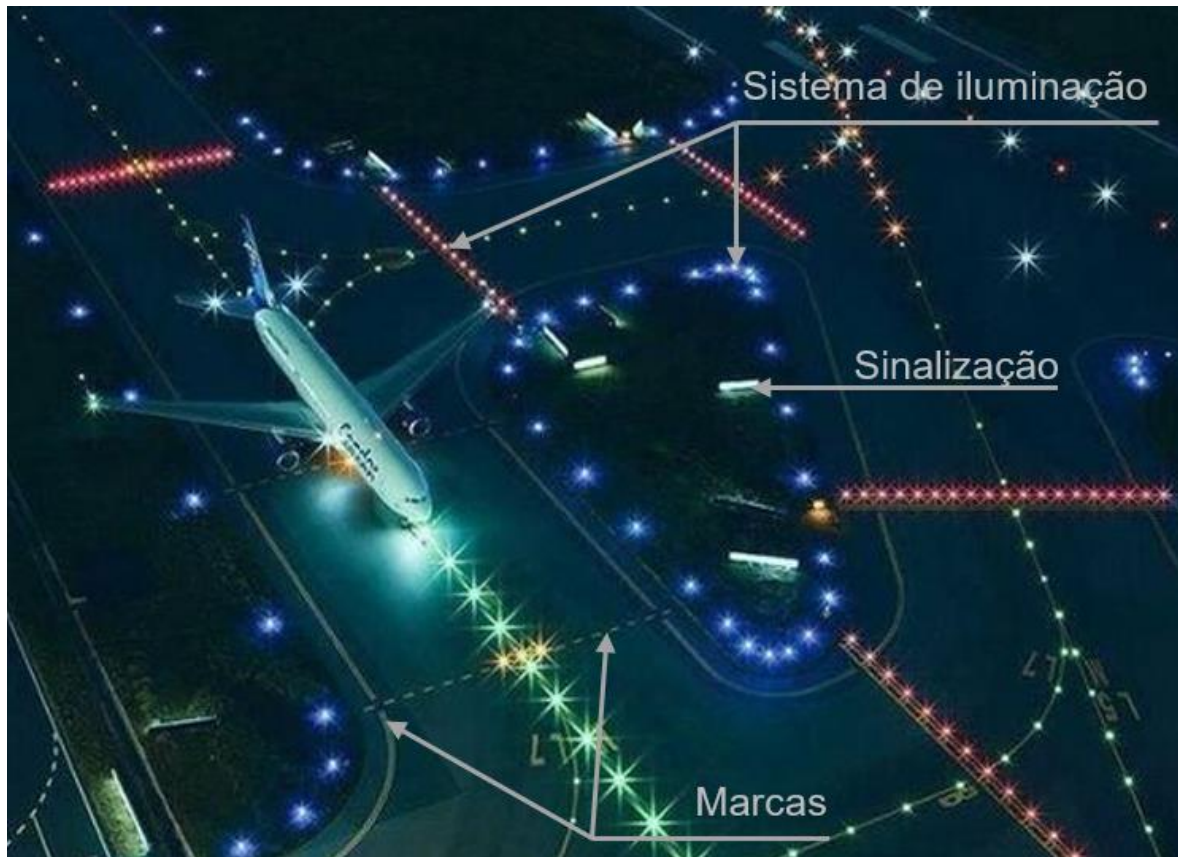
## 4.2 Pista aeroportuária

Este subcapítulo tem por base a abordagem dos diversos tipos de pistas aeroportuárias e as suas especificações, assim como a importância da orientação numa pista e o seu código de referência aeroportuário, atribuído pela ICAO.

As pistas constituem importantes elementos da infraestrutura aeroportuária, pois é nelas que aterram e descolam todos os aviões que sustentam a funcionalidade de um aeroporto. Dessa forma, é absolutamente necessário ter em conta diversos fatores no momento do planeamento do projeto, assim como na respetiva construção.

Numa infraestrutura aeroportuária, as regulamentações de planeamento, dimensionamento e gestão de um sistema de pistas são das mais abrangentes e rigorosas. Por exemplo, antes da concessão de uma pista, é necessário seguir rigorosas orientações no planeamento e dimensionamento da mesma, ao nível dos critérios de comprimento, largura, orientação, configuração, inclinação e na espessura do pavimento a aplicar, como também nas imediações das pistas, assegurando a inexistência de obstruções na zona, para uma segura operação das aeronaves.

As operações nas pistas são facilitadas por sistemas de iluminação, marcas e sinalização associada, que proporcionam guias direcionais para os movimentos das aeronaves, como a decolagem, a aterragem e os componentes associados à pista (caso do caminho de circulação e das áreas de estacionamento), como se pode observar na Figura 4.2.



**Figura 4.2** Vista aérea dos sistemas de iluminação e sinalização de uma pista (Wheeler, 2014)

O dimensionamento e operação de uma pista e dos seus componentes é determinado em grande parte pela aeronave crítica (subcapítulo 4.2.4) que se pretende que utilize a pista, pelo fluxo de operações por hora e pela orientação dos ventos predominantes nesse local.

Um aeroporto com um fluxo menor de operações de aeronaves por hora exige um menor número de pistas em comparação com um aeroporto com um maior número de operações por hora.

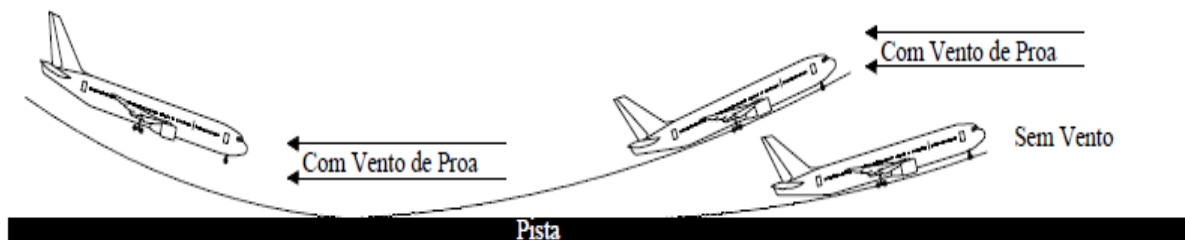
A orientação da pista depende, por sua vez dos ventos predominantes da área, sendo esta a direção mais segura para uma aeronave aterrizar, mesmo quando os aeroportos têm mais do que uma pista.

### 4.2.1 Orientação da pista

A orientação de uma pista é definida em função do norte magnético e depende de inúmeros fatores tais como o vento, a procura, a área disponível para construção, topografia do terreno e a área a sobrevoar, entre outros.

Desde os primeiros tempos da aviação que a orientação do vento é um dos pontos – chave. Durante a aterragem e descolagem as aeronaves de asa fixa dependem do fluxo de ar sobre as asas para conseguir voar.

É dada primazia à direção do vento pelo facto de ser mais apropriado uma aeronave descolar e pousar com o vento a soprar de proa (“*Headwind*”), ou seja com o vento a soprar de frente para a aeronave. Tal é importante durante a fase de descolagem pois permite ao avião sustentar-se no ar com menos velocidade em relação ao solo (diminuindo a distância de descolagem e aumentando o ângulo de subida da aeronave) e durante a fase de aterragem pois, tal como na fase de descolagem, permite que o avião se sustente no ar com menor velocidade ao solo e diminui a distância necessária para aterrar, como se observa na Figura 4.3. Do ponto vista da infraestrutura, esta orientação permite ter uma pista menor.



**Figura 4.3** Efeito dos ventos nas operações da aeronave (adaptado de EBS, 2015)

A pista principal (“*primary runway*”) de qualquer aeroporto é sempre orientada na direção dos ventos predominantes mesmo em aeroportos com mais pistas, permitindo deste modo que a aeronave sempre que possível aterre e descole contra o vento (Bellasio, 2014).

Quando o vento sopra no mesmo sentido da aeronave (“*Tail Wind*”), provoca um desempenho decrescente na operação. No caso da descolagem, a distância de corrida aumenta e tanto o peso máximo permitido para a aeronave descolar (em determinadas pistas), como a temperatura de operação têm que ser reduzidos.

No caso da aterragem com este sentido do vento, a distância de paragem aumentará significativamente devido à maior velocidade em relação ao solo, afetando a velocidade no toque do trem de aterragem e aumentando a taxa de descida, levando a que a não

compensação deste fator possa causar instabilidade na aterragem, aumentando o risco de em aterragens longas, ocorrer uma saída de pista.

O vento de cauda (“*Tailwind*”) leva à necessidade de um maior comprimento de pista tanto para a aterragem como para a descolagem, devendo a pista ser corrigida para um comprimento compatível com este.

Quando o vento sopra diretamente na perpendicular (“*Crosswind*”) a manobra de descolagem e de aterragem é perigosa, sendo que a sensibilidade a estes ventos se verifica com maior intensidade em aeronaves de pequena dimensão.

Como consequência deste fato os aeroportos localizados em áreas onde os ventos sopram em diversas direções são dimensionadas com mais do que uma pista, sendo cada uma delas direcionada para um dos ventos predominantes. Este tipo de pista é conhecido como pista de vento cruzado (Wells & Young, 2004).

A orientação das pistas deve ser projetada de forma a que o coeficiente de utilização do aeródromo não seja inferior a 95 % de utilização pelos aviões para os quais foi projetado, em função dos ventos (ICAO, 2016).

Quando não é possível identificar a direção dos ventos predominantes que viabilizem esse nível de operacionalidade, deve ser implantada mais do que uma pista em diferentes direções, alinhadas com os ventos predominantes.

Segundo a ICAO (ICAO, 2016), não se devem realizar operações de aterragem e descolagem, se os ventos transversais atingirem uma velocidade superior a:

- 37 km/h (20 knots), para aviões cujo comprimento de referência de pista seja superior ou igual a 1500 metros;
- 24 km/h (13 knots), para aviões cujo comprimento de pista de referência esteja entre 1200 metros até 1500 metros (não incluído);
- 19 km/h (10 knots), para comprimentos de pista inferiores a 1200 metros.

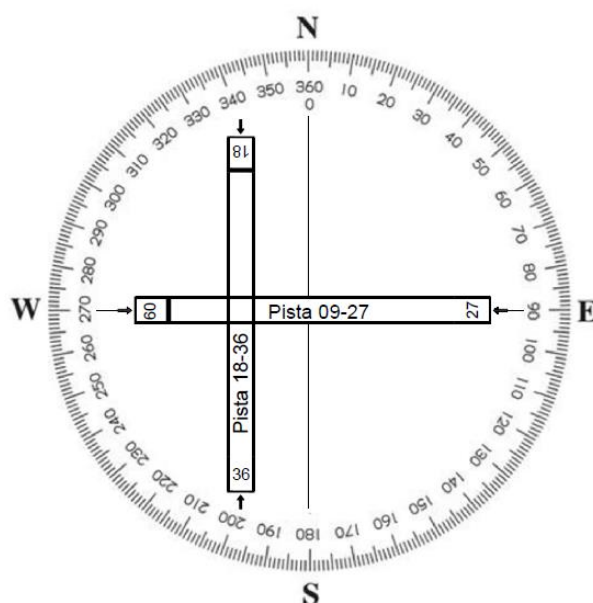
Como cada avião tem as suas características próprias de lidar com o vento, deve ser estudado o tipo de frota de aviões a considerar no estudo da influência do vento na orientação da pista.

Quando o vento não é determinante na escolha de uma orientação, deve olhar-se de uma perspectiva económica e realizar um estudo topográfico do terreno, analisando os seus declives com o fim de evitar volumes elevados de movimentações de terras.

Caso não exista influência do vento nem movimentos de terra significativos, deve procurar-se implantar a pista de forma a ficar orientada com as rotas aéreas existentes, para que seja evitado o sobrevoo de zonas densamente povoadas.

A aterragem e descolagem de um avião, assim como todas as direções seguidas por uma aeronave, são definidas segundo o Norte magnético, ou seja, são realizadas seguindo a orientação de uma bússola, como se pode observar na Figura 4.4.

As pistas aeroportuárias são orientadas de acordo com os números da bússola, sendo a sua direção indicada por um número de enormes dimensões visível do ar, composto por dois dígitos. Cada pista é composta por um número diferente em cada extremidade, indicando a orientação de cada sentido da pista, caso esta permita movimentos nos dois sentidos.



**Figura 4.4** Orientação magnética da pista (adaptado de 3DR, 2014)

Sendo a numeração da pista composta por dois dígitos e a orientação da bússola enquadrada entre  $0^\circ$  e  $360^\circ$ , por regra retira-se o último dígito. Caso este seja superior a 5, é arredondado, à dezena, para o valor superior. Caso contrário, é arredondado, à dezena, para o valor inferior.

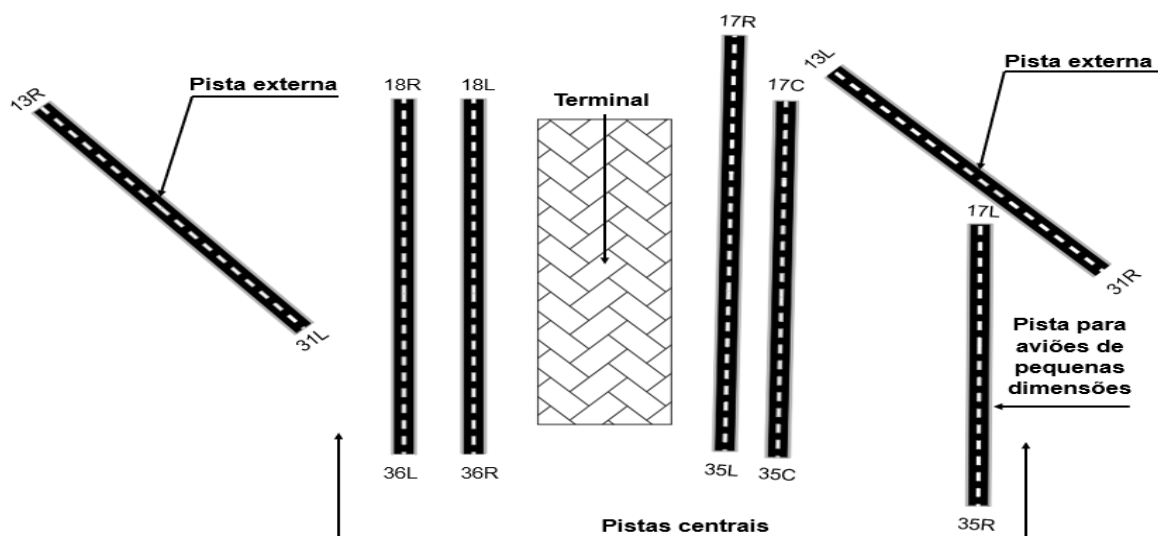
Exemplificando, no caso de a pista ter uma orientação de  $175^\circ$ , o número 5 é retirado e o valor final é arredondado para um valor a baixo, ficando a orientação da pista inscrita em 17, por outro lado, caso a orientação seja de  $176^\circ$ , arredonda-se ao valor a cima, ficando a orientação da pista inscrita em 18. Para valores abaixo de  $100^\circ$ , como, por exemplo,  $83^\circ$ , retira-se o segundo dígito e acrescenta-se um 0 à esquerda, ficando na pista inscrito o valor 08.

Na Figura 4.4 é possível observar que uma das extremidades está voltada para Este, (a 90 °), enquanto a outra extremidade está voltada para Oeste (a 270 °). A orientação desta pista seria então referida de Este para Oeste como “Pista 09-27”.

Quando existe mais do que uma pista com a mesma orientação, cada uma delas é enumerada consoante o lado em que se encontra, sendo colocado uma letra “L” quando se encontra posicionada à esquerda, “C” quando se encontra no centro e “R” quando a pista se encontra posicionada à direita. É possível observar esta situação na Figura 4.5, onde se ilustra a título de exemplo a disposição das pistas do Aeroporto de *Dallas-Forth Worth*, nos Estados Unidos da América, em que os ventos prevalentes na área sopram muito diretamente do sul ou do norte, sendo o mais comum soprar do sul, excetuando alguns dias nos meses de inverno.

A conjugação de pistas funciona com as duas pistas principais centrais a servirem para descolagem (Pista 18L-36R e Pista 17R-35L) enquanto as duas externas servem para aterragem (Pista 18R-36L e Pista 17C-35C), podendo ambas ser utilizadas para os dois tipos de operação caso seja necessário, a Pista 17L-35R no lado este é praticamente reservada para receber aviões de pequenas dimensões, sendo estas as cinco pistas principais deste aeroporto.

Sobrando as duas pistas mais extremas do aeroporto, consideradas pistas alternativas (Pista 13R-31L e Pista 13L-31R), utilizadas somente quando os ventos sopram fortemente dos quadrantes inferior esquerdo ou superior direito, ou quando os ventos estão calmos e o aeroporto se encontra em sobrelotação e precisa de otimizar operações, enviando aviões de pequenas dimensões para essas pistas.



**Figura 4.5** Disposição das pistas Aeroporto de Dallas-Forth Worth, EUA (adaptado de Boltent, 2012)

### 4.2.2 Distâncias declaradas de pista

As distâncias declaradas em aeroportos são mecanismos nos quais cada um dos comprimentos do pavimento de pista é identificado para uso nas operações dos aviões.

As distâncias referidas devem ser calculadas em metros arredondados, a fim de servirem o transporte aéreo comercial internacional. Para cada direção da pista de aterragem e descolagem as distâncias calculadas englobam:

- **Distância disponível para a corrida de descolagem (“Take-Off Run Available”, TORA)** – comprimento de pista declarado disponível e adequado para o percurso no solo na descolagem de um avião, sendo que a TORA pode ser observada na Figura 4.6.

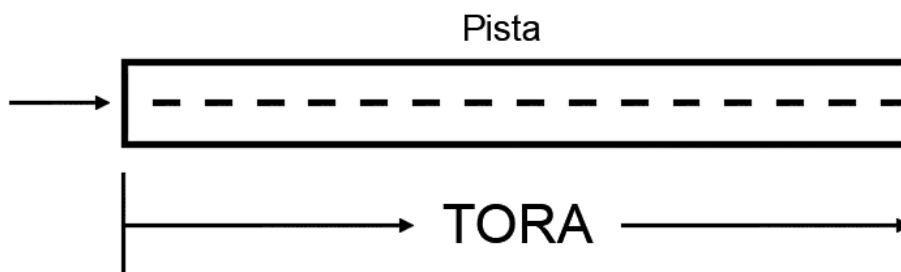


Figura 4.6 Distância disponível para a corrida de descolagem (adaptado de ICAO, 2015)

- **Distância disponível para descolagem (“Take-Off Distance Available”, TODA)** – comprimento de pista de descolagem disponível, acrescido do comprimento da área livre de obstáculos caso exista. Esta distância é ilustrada na Figura 4.7.

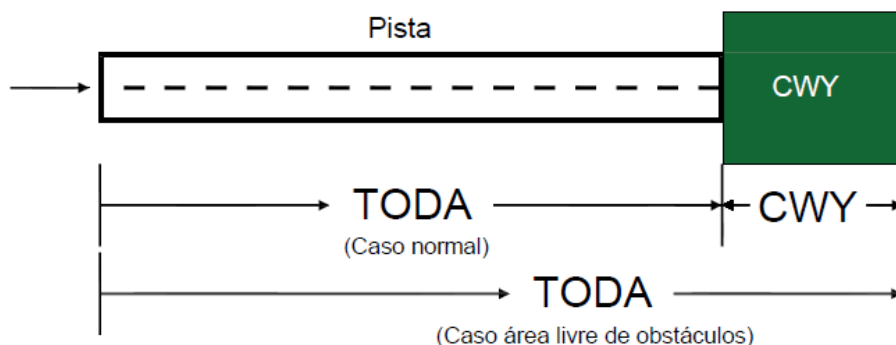


Figura 4.7 Distância disponível para descolagem (adaptado de ICAO, 2015)

- **Distância disponível para aceleração – paragem (“Accelerate-Stop Distance Available”, ASDA)** – comprimento disponível para a corrida de descolagem, acrescido do comprimento da área de paragem caso exista. Esta distância é ilustrada na Figura 4.8.

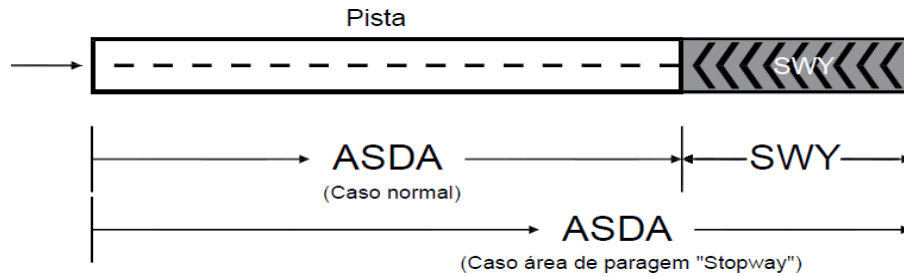


Figura 4.8 Distância disponível para aceleração – paragem (adaptado de ICAO, 2015)

- **Distância de aterragem disponível (“Landing Distance Available”, LDA) –** comprimento de pista declarado como disponível e adequado para a corrida de aterragem de um avião. Esta distância é ilustrada na Figura 4.9.

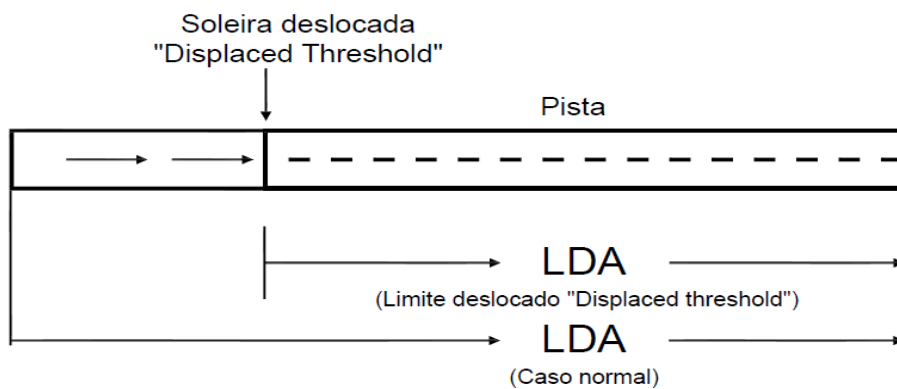


Figura 4.9 Distância de aterragem disponível (adaptado de ICAO, 2015)

A Figura 4.10 apresenta as distâncias declaradas para cada tipo de conjugação dos componentes de pistas e distância correspondentes, sendo que a pista ilustrada com o número um representa a composição mais simples existente e a pista número seis a mais complexa.

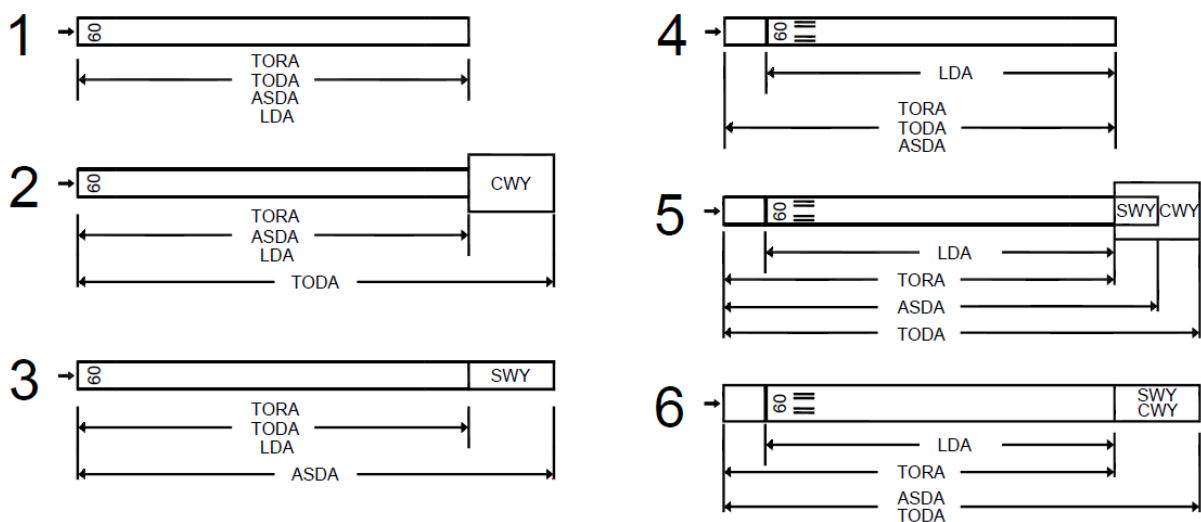


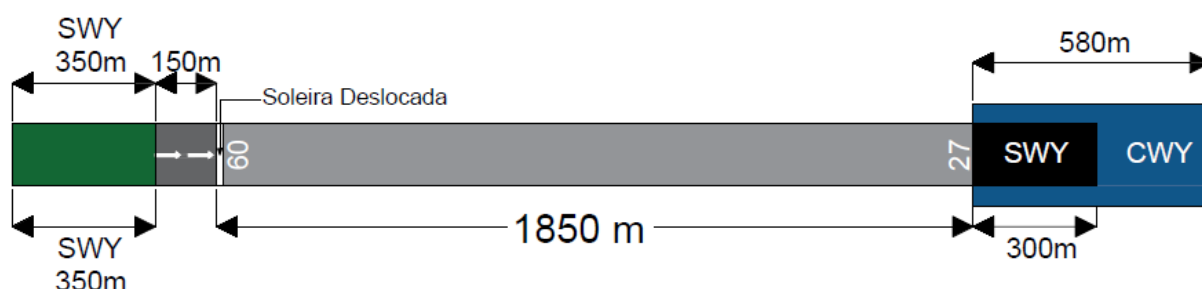
Figura 4.10 Distâncias declaradas para operações da esquerda para a direita (ICAO, 2016)

As distâncias declaradas são calculadas para cada um dos sentidos da pista de aterragem e descolagem.

Quando uma pista de aterragem e descolagem não contém uma área de paragem (SWY), nem uma área livre de obstáculos (CWY) e o seu limite não é deslocado da extremidade da pista (mas sim localizado na extremidade da mesma), as quatro distâncias declaradas são iguais ao comprimento da pista, sendo esta a tipologia de pista mais simples em aeroportos (ICAO, 2016).

Quando uma pista de aterragem e descolagem contém uma área livre de obstáculos (CWY), a extensão da TODA é o somatório da pista com essa mesma zona. Em caso de existência de uma zona de paragem, a extensão da ASDA é o somatório da extensão da pista com a área de paragem.

A Figura 4.11 apresenta a composição de uma pista de aterragem e descolagem dotada de uma área de paragem (SWY), de uma área livre de obstáculos (CWY) e ainda de uma soleira deslocada. A existência de mais do que um desses componentes da pista leva à existência de diferentes extensões nas quatro distâncias declaradas. No entanto, o cálculo das mesmas segue uma metodologia idêntica à referida anteriormente.



**Figura 4.11** Exemplo de pista com distâncias declaradas diferentes (adaptado de ICAO, 2015)

A Tabela 4.1 ilustra o formato normalmente sugerido para fornecer a informação sobre as distâncias declaradas. No caso de uma pista só poder ser utilizada num sentido para aterrar e noutro para descolar, ou na eventualidade de não poder efetuar qualquer das operações, devido a uma proibição de operacionalidade, então estas situações aparecem mencionadas na tabela com um “NU”, abreviatura de “não utilizável” (ICAO, 2016).

**Tabela 4.1** Exemplo de tabela com distâncias declaradas de uma pista (ICAO, 2004)

Pista	TORA (m)	ASDA (m)	TODA (m)	LDA (m)
09	2000	2300	2580	1850
27	2000	2350	2350	2000
17	NU	NU	NU	1800
35	1800	1800	1800	NU

### 4.2.3 Disposição espacial das pistas

As diversas pistas de um aeroporto adotam, por norma, quatro diferentes disposições espaciais, sendo estas designadas por pista única, pistas paralelas, pistas em V aberto e pistas concorrentes:

#### ➤ Pista única

Disposição mais simples de uma pista. Como o próprio nome indica, existe uma só pista, e esta deve estar orientada de forma a maximizar o seu fator de utilização, permitindo que os aviões descolem preferencialmente no sentido contrário ao do vento. A Figura 4.12 ilustra a pista do Aeroporto da Ilha da Madeira como um exemplo deste tipo de pista.



Figura 4.12 Aeroporto Cristiano Ronaldo, Arquipélago da Madeira (Madeira P. Guide, 2017)

#### ➤ Pistas paralelas

A utilização desta disposição possibilita a implementação de 4 tipos de configurações distintas. As três primeiras distinguem-se pela distância intermédia entre pistas, sendo denominadas paralelas aproximadas (*“close parallels”*), paralelas intermédias (*“intermediate parallel”*) e paralelas distantes (*“far parallel”*).

A quarta disposição apresenta uma configuração na qual se consideram dois conjuntos de paralelas (*“Dual-lines runways”*), sendo a distância intermédia entre elas considerada aos pares em vez da distância de cada pista individual, como se pode observar pela Figura 4.13.

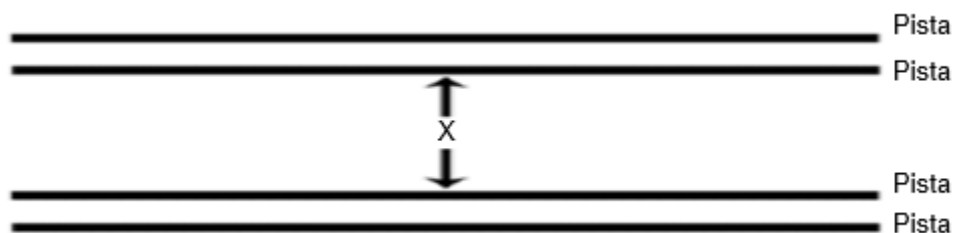


Figura 4.13 Conjunto de pistas paralelas (ICAO, 2016)

A distância mínima entre os centros das duas pistas paralelas, quando estas não são para operações simultâneas, é de:

- 210 metros, quando o código de referência é 3 ou 4;
- 150 metros, quando o código de referência é 2;
- 120 metros, quando o código de referência é 1 (código de referência abordado no subcapítulo 4.2.4).

Quando as pistas paralelas são pensadas com a intenção de funcionarem em simultâneo a distância mínima entre os centros das duas pistas é de:

- 1035 metros, para aterragens em pistas paralelas independentes (operações de aterragem e descolagem em simultâneo, os mínimos de separação de vigilância de aeronaves não são aplicados);
- 915 metros, para aterragens em pistas paralelas dependentes (Operações de aterragem e descolagem em simultâneo, os mínimos de separação de vigilância de aeronaves são aplicados);
- 760 metros, para descolagens em pistas paralelas independentes
- 760 metros, para operações em pistas paralelas segregadas (operações simultâneas, em que uma das pistas é usada exclusivamente para aterragens e outra para descolagem).

O terminal e outras áreas operacionais podem ser colocados entre as pistas paralelas, para minimizar as operações em pistas ativas e de forma a otimizar a utilização das áreas existentes entre as mesmas. Nestes casos são necessárias distâncias de separação maiores do que as recomendadas no Anexo 14 (ICAO, 2016). Na Figura 4.14 é possível observar a situação anteriormente mencionada.



**Figura 4.14** Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson-Atlanta, Geórgia, EUA (Victor, 2006)

➤ **Pistas em V aberto (“Open-V”)**

Esta disposição espacial de pista apresenta uma configuração em que as pistas se encontram colocadas em direções divergentes sem nunca se intersectarem, tomando assim a forma de um V aberto.

Esta é uma configuração aplicada quando o aeroporto é implementado numa zona onde quase não existe nenhum vento dominante, permitindo o uso em simultâneo das duas pistas, ou, caso não seja possível desprezar o efeito do vento dominante, permitindo o uso de uma das pistas em detrimento da outra quando esta se encontra inutilizável. A Figura 4.15 ilustra um exemplo de um aeroporto onde esta configuração é aplicada (Pinheiro, 2015).



**Figura 4.15** Aeroporto internacional de Brisbane, Austrália (The Courier mail, 2013)

➤ **Pistas concorrentes**

Esta disposição espacial de pista é aplicada em zonas onde os ventos predominantes existem em mais do que uma direção durante o ano.

O local de interseção das pistas pode localizar-se perto das zonas indicadas para início das operações em situações de não emergência (Pinheiro, 2015). A Figura 4.16 ilustra um exemplo de um aeroporto onde esta configuração é aplicada.



**Figura 4.16** Aeroporto Humberto Delgado, Lisboa, Portugal (Jetphotos, 2014)

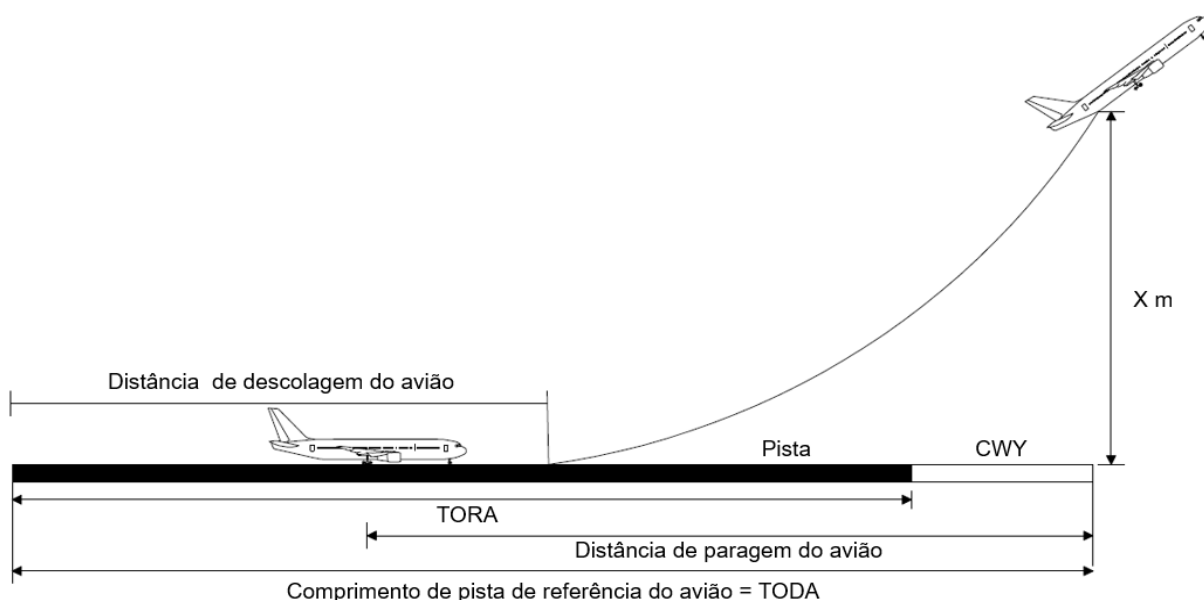
#### 4.2.4 Código de referência para aeródromos

A localização de uma pista de um aeroporto é um fator decisivo para o seu funcionamento, mas um dos primeiros passos para se realizar o respetivo dimensionamento corresponde à decisão sobre o código de referência aeroportuário que pretendemos para a infraestrutura a projetar. Esse código estará sempre interligado com o maior avião a operar no aeroporto, sendo este considerado o avião crítico, cujas características físicas sejam as mais exigentes para a utilização de uma determinada infraestrutura aeroportuária.

O código de referência tem por objetivo fornecer um método simples de inter-relação entre as numerosas especificações referentes às características dos aeródromos, para que se possam definir as instalações adequadas aos aviões previstos operar no aeródromo (ICAO, 2016).

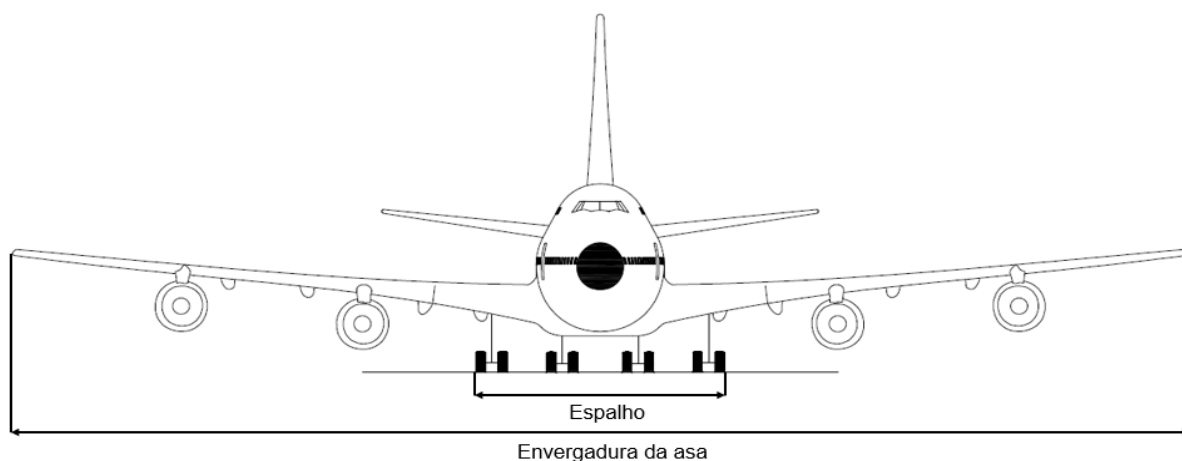
Este código é definido por dois elementos (Elemento 1 e Elemento 2) que estão diretamente relacionados com o desempenho do avião e as suas dimensões.

O Elemento 1 é um número que se baseia no comprimento de pista de referência do avião, ilustrado na Figura 4.17, sendo este o comprimento mínimo de pista requerido para um dado avião descolar com peso máximo, para o qual foi certificado, em condições atmosféricas normais e declive zero.



**Figura 4.17** Comprimento de pista de referência do avião (adaptado de Aviation Dictionary, 2014)

O Elemento 2 é uma letra baseada na envergadura da asa e no espalho (distância entre os limites laterais exteriores das rodas do trem principal) do avião (*“Wheel Span”*). As dimensões gerais de um avião podem ser observadas na Figura 4.18.



**Figura 4.18** Dimensões gerais de um avião (Boeing, 2017)

O código de referência é atribuído através da Tabela 4.2, conjugando os Elementos 1 e 2, correspondentes ao maior avião que se pretende receber em determinado aeroporto (avião crítico).

**Tabela 4.2** Código de referência de aeródromos (ICAO, 2016)

Elemento 1 do código			Elemento 2 do código	
Número de Código	Comprimento de pista de referência do avião	Código de Letra	Envergadura da asa	Espalho
1	Menos de 800 m	A	Até mas não incluindo 15 m	Até mas não incluindo 4,5 m
2	De 800 m até mas não incluindo 1200 m	B	De 15 m até mas não incluindo 24 m	De 4,5 m até mas não incluindo 6 m
3	De 1200 m até mas não incluindo 1800 m	C	De 24 m até mas não incluindo 36 m	De 6 m até mas não incluindo 9 m
4	1800 m e mais	D	De 36 m até mas não incluindo 52 m	De 9 m até mas não incluindo 14 m
		E	De 52 m até mas não incluindo 65 m	De 9 m até mas não incluindo 14 m
		F	De 65 m até mas não incluindo 80 m	De 14 m até mas não incluindo 16 m

Na Tabela 4.3 é possível observar alguns tipos de aviões e a sua classificação representativa por número de código.

**Tabela 4.3** Exemplos de código de referência atribuídos a aviões comerciais (ICAO, 2004)

Modelo	Número de código	Comprimento de pista de referência do avião (m)	Envergadura da asa (m)	Espalho (m)
Boeing B737-400	4C	2550	28.9	6.4 m
Boeing B757-300	4D	2400	38.1	8.6 m
Boeing B747-400	4E	3048	64.9	12.6 m
Boeing B777-300	4E	3140	60.9	12.9 m
Airbus A380	4F	3350	79.8	15.0 m

#### 4.2.5 Tipo de aproximação à pista

As pistas de uma infraestrutura aeroportuária são divididas em dois tipos consoante o seu tipo de aproximação, um tipo denominado “pista não instrumentos”, que se definem como sendo uma pista destinada a operações de aeronaves que utilizam procedimentos de aproximação visual (ICAO, 2015).

Outro tipo de pista em termos de aproximação é a “pista por instrumentos”, ou seja, caracteriza-se por ser uma pista destinada à operação de aeronaves que utilizam procedimentos de aproximação por instrumentos, equipadas com sinalização visual e eletrónica, com distâncias mínimas de aterragem que necessitam de aprovação, sendo que pode haver mais que uma pista instrumentada nos aeroportos.

Os vários tipos de pistas de aproximação são:

**1) Pista de aproximação de não-precisão:** uma pista de aproximação por instrumentos provida de ajudas visuais e de uma ajuda não visual que fornecem, no mínimo, orientação direcional adequada para a aproximação direta;

**2) Pista de aproximação de precisão, categoria I:** uma pista por instrumentos provida de ajudas visuais e não visuais destinadas a operações com uma altura de decisão (DH) não inferior a 60 metros e com uma visibilidade não inferior a 800 metros ou um alcance visual da pista (RVR) não inferior a 550 metros;

**3) Pista de aproximação de precisão, categoria II:** uma pista por instrumentos provida de ajudas visuais e não visuais destinadas a operações com uma DH inferior a 60 metros, mas não inferior a 30 metros, e um RVR não inferior a 300 metros;

**4) Pista de aproximação de precisão, categoria III:** uma pista por instrumentos provida de ajudas visuais e não visuais para a superfície e ao longo da pista, e (ANAC, 2015):

- a) Prevista para operações com uma DH inferior a 30 metros, ou sem altura de decisão e com um RVR não inferior a 175 metros;
- b) Prevista para operações com uma DH inferior a 15 metros, ou sem altura de decisão e com um RVR inferior a 175 metros, mas não inferior a 50 metros;
- c) Prevista para operações sem DH e sem limitações de RVR.

#### 4.2.6 Características geométricas da pista (RWY)

As características geométricas da pista têm por base as especificações contidas no Anexo 14 da ICAO (ICAO, 2016) com o apoio das recomendações do documento

“*Aerodrome Design Manual-Part 1 Runways*” (ICAO, 2004), sendo este último um manual complementar ao Anexo 14, que se refere exclusivamente a metodologias de projeto para a pista de aterragem e descolagem.

Neste subcapítulo são abordados os diversos elementos que compõem a geometria de uma pista aeroportuária, seguindo o processo de seleção dos diversos parâmetros que a constituem, realçando a tipologia da pista, comprimento, características transversais e longitudinais, bem como todas as áreas envolvidas à mesma.

As pistas podem ser divididas em dois tipos: as primárias e as secundárias.

No primeiro caso, o comprimento da pista deve estar de acordo com o exigido pelo avião crítico a operar na pista e não ter comprimento inferior aos resultados obtidos nas correções realizadas devido aos condicionantes da zona.

No segundo caso, as pistas secundárias devem ser dimensionadas da mesma forma que as primárias, tendo em atenção o tipo de avião para o qual está a ser dimensionada, com o fim de obter uma utilização nunca inferior a 95 %.

➤ **Comprimento da pista**

O comprimento a implementar numa pista aeroportuária é decidido após um estudo prévio dos diversos fatores que podem afetar a sua operação, sendo de destacar os seguintes:

- Características de desempenho e operação da aeronave crítica a receber;
- Condições climáticas, essencialmente ventos predominantes à superfície e temperatura de referência;
- Características da pista, como inclinação longitudinal e condições da superfície
- Fatores de localização, como a elevação do aeroporto (que afeta a pressão barométrica) e restrições topográficas.

A operação mais condicionante que uma aeronave realiza é a descolagem, sendo necessário um estudo sobre o avião crítico, recorrendo ao seu manual de voo, para que a pista possa corresponder às limitações que a mesma impõe.

A aterragem, ao contrário da descolagem, não representa uma operação tão condicionante. No entanto, como para a descolagem, é importante consultar os gráficos de desempenho na aterragem do avião crítico, para garantir que os requisitos de comprimento de pista se verificam.

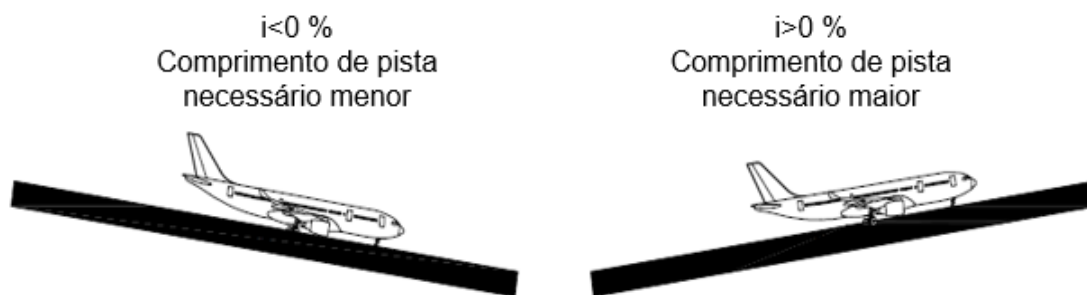
O vento é algo que influencia o cálculo do comprimento de pista. Quanto maior for o vento de proa numa determinada pista, menor é o comprimento exigido para a aeronave descolar e aterrar. Pelo contrário, ventos de cauda e vento zero são casos que necessitam de pistas maiores para as suas operações, como abordado no subcapítulo 4.2.1.

A altitude na zona do aeroporto é igualmente um ponto de relevância para a operação de um avião. Quanto maior a altura acima do mar menor é a pressão e densidade do ar, fatores estes que provocam o aumento do tempo necessário para o avião atingir a velocidade de descolagem, provocando o aumento do comprimento da pista.

Por outro lado, a altitude também afeta a operação de aterragem. Em maiores altitudes as velocidades de aterragem são maiores, pois a menor densidade do ar, provoca a redução da resistência aerodinâmica que ajuda a desacelerar o avião durante a operação, causando a necessidade de correção no comprimento da pista.

A temperatura também é um fator a ter em conta no cálculo do comprimento da pista. Quanto maior for a temperatura maior será o comprimento necessário, porque temperaturas mais elevadas criam menores densidades de ar afetando o desempenho do avião nas suas operações.

O efeito da inclinação longitudinal da pista afeta a operação da aeronave. Um avião que efetue uma descolagem com uma inclinação longitudinal positiva, ou seja, que efetue uma descolagem em rampa, necessita de maior comprimento de pista do que um outro que realize a mesma operação noutra pista com inclinação longitudinal negativa ou de nível (inclinação 0%), como se observa na Figura 4.19.



**Figura 4.19** Influência da inclinação da pista na operação de aeronaves

O comprimento de pista de um aeroporto pode ainda ser afetado por limites de propriedades ou características topográficas específicas (proximidade a montanhas, mar ou vales íngremes, por exemplo).

Quando não existe um manual de voo apropriado referente ao avião crítico é necessário recorrer a fatores gerais de altitude, temperatura e inclinação para o cálculo das correções de comprimento de pista.

O primeiro passo para essa correção é selecionar um comprimento base para a pista que corresponda aos requisitos operacionais da aeronave crítica. Este comprimento é escolhido para fins de planeamento, correspondendo ao necessário para a decolagem ou aterragem sob condições atmosféricas padrão, altitude 0, vento 0 e inclinação da pista 0.

A extensão da pista selecionada deve sofrer um incremento de 7 % por cada 300 metros de altitude e deve ser aumentada 1 % por cada grau centígrado que a temperatura de referência do aeródromo exceda a temperatura padrão. A Tabela 4.4 fornece valores padrão para a realização deste cálculo (ICAO, 2004).

**Tabela 4.4** Valores atmosféricos padrão (ICAO, 2004)

<b>Altitude (m)</b>	<b>Temperatura padrão (°C)</b>	<b>Pressão atmosférica padrão (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
0	15.000	1.23
500	11.750	1.17
1000	8.500	1.11
1500	5.250	1.06
2000	2.000	1.01
2500	-1.250	0.96
3000	-4.500	0.91
3500	-7.750	0.86
4000	-10.980	0.82
4500	-14.230	0.78
5000	-17.470	0.74
5500	-20.720	0.7
6000	-23.960	0.66

No entanto, quando se verifica um excesso de 35 % no comprimento devido à correção, esta deve ser realizada através de um estudo mais específico, sendo necessário recorrer a valores reais calculados no local.

Quando o comprimento necessário para a decolagem de uma aeronave é superior a 900 metros, esse deverá ter um incremento de 10 % por cada 1 % de inclinação da pista, bem como em caso de elevada temperatura e humidade na zona do aeroporto.

Para a aplicação da correção do comprimento da pista deve-se recolher a seguinte informação:

- Comprimento de pista necessário para a aterragem ao nível do mar, nas condições atmosféricas padrão (LndL);
- Comprimento de pista necessário para a descolagem ao nível do mar; nas condições atmosféricas padrão (TKL);
- Altitude do aeroporto (H);
- Temperatura de referência do aeroporto (T);
- Temperatura nas condições atmosféricas padrão para a altitude do aeroporto (Tabela 4.4) (TP);
- Inclinação longitudinal da pista (i).

As correções para a pista realizam-se da seguinte forma, escolhendo o comprimento mais desfavorável obtido para as condições calculadas (ICAO, 2004).

1- Correção para o comprimento necessário na descolagem (LH, LHT, LHTi):

- Correção do comprimento de pista para a descolagem devido à altitude (LH)

$$LH = \left[ TKL \times 0.07 \times \frac{H}{300} \right] + TKL [m] \quad (4.1)$$

- Correção do comprimento de pista para a descolagem devido à altitude e temperatura (LHT)

$$LHT = [LH \times (T - TP) \times 0.01] + LH [m] \quad (4.2)$$

- Correção do comprimento de pista para a descolagem devido à altitude, temperatura e inclinação (LHTi)

$$LHTi = [LHT \times i \times 0.10] + LHT [m] \quad (4.3)$$

2- Correção para o comprimento necessário na aterragem:

$$LLnd = \left[ LndL \times 0.07 \times \frac{H}{300} \right] + LndL [m] \quad (4.4)$$

➤ Largura da pista

A largura da pista, é projetada consoante as características da envolvente e o tipo de aviões que a própria vai receber, sendo os seguintes os fatores preponderantes na sua seleção (ICAO, 2016):

- Desvio do avião do centro da pista;
- Condições dos ventos cruzados;
- Contaminação da superfície da pista;
- Depósitos de borracha;

- Velocidade utilizada na aproximação;
- Visibilidade;
- Fator humano.

A Tabela 4.5 representa o mínimo considerado necessário para assegurar a segurança das operações consoante o código de referência aeroportuário adotado para a pista.

**Tabela 4.5** Largura da pista (ICAO, 2004)

Número de código	Código de letra					
	A	B	C	D	E	F
1	18 m	18 m	23 m	---	---	---
2	23 m	23 m	30 m	---	---	---
3	30 m	30 m	30 m	45 m	---	---
4	---	---	45 m	45 m	45 m	60 m

➤ **Inclinação longitudinal da pista**

A inclinação longitudinal (razão entre o resultado da diferença das cotas máxima e mínima ao longo da pista e o comprimento da mesma), não deve exceder (ICAO, 2016):

- 1 % quando o número do código for 3 ou 4;
- 2 % quando o número do código for 1 ou 2.

Os trainéis que compõem longitudinalmente a pista não devem exceder a inclinação absoluta de:

- 1.25 % quando o número de código é 4, com exceção do primeiro e último quarto de pista, que não devem exceder 0.8 %;
- 1.5 % quando o número de código for 3, com exceção do primeiro e último quarto de pista, que não devem exceder 0.8 %;
- 2.0 % quando o número de código for 1 ou 2.

O principal objetivo destas recomendações é evitar trainéis extensos com inclinações acentuadas que seriam prejudiciais ao desempenho do avião, principalmente durante a descolagem.

A restrição imposta aos últimos quartos da pista tem a finalidade de evitar grandes inclinações durante a aterragem. Para pistas em que a operação de aterragem se realiza nos dois sentidos esta aplica-se em ambos os lados da mesma.

Caso seja impossível evitar a variação de inclinações em trainéis consecutivos, esta não deve exceder:

- 1.5 % quando o número de código for 3 ou 4;
- 2.0 % quando o número de código for 1 ou 2.

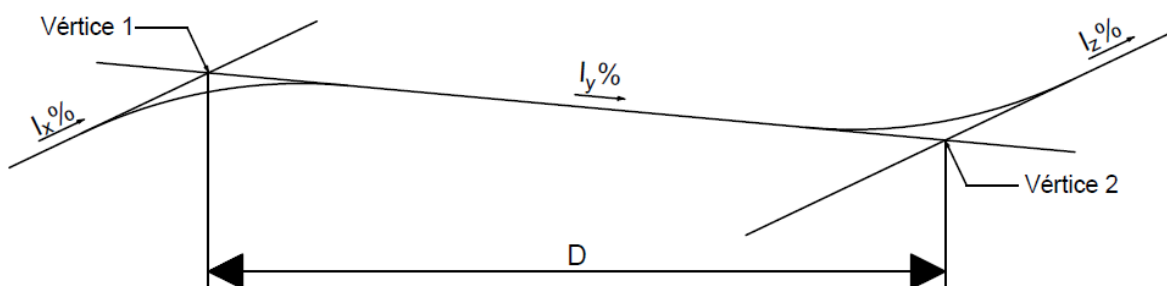
A transição de inclinação de trainéis consecutivos deve ser efetuada por intermédio de curvas com um grau de variação que não exceda (ICAO, 2016):

- 0.1 % a cada 30 metros (raio mínimo de curvatura 30000 metros), quando o número de código for 4;
- 0.2 % a cada 30 metros (raio mínimo de curvatura 15000 metros), quando o número de código for 3;
- 0.4 % a cada 30 metros (raio mínimo de curvatura 7500 metros), quando o número de código for 1 ou 2.

Esta variação de inclinação constante tem a finalidade de evitar que o avião seja exposto a grandes esforços, devido a ondulações resultantes da variação brusca de inclinação ao longo da superfície da pista.

A distância entre pontos de mudanças de inclinação sucessivas, ilustrada na Figura 4.20 com a letra D, deve ser maior que 45 metros ou maior do que a soma dos valores absolutos das mudanças de inclinação correspondente a cada trainel, multiplicada por um dos seguintes fatores (ICAO, 2016):

- 30000 metros quando o número de código for 4;
- 15000 metros quando o número de código for 3;
- 5000 metros quando o número de código for 1 ou 2.



**Figura 4.20** Distância entre variações de inclinação (adaptado de ICAO, 2004)

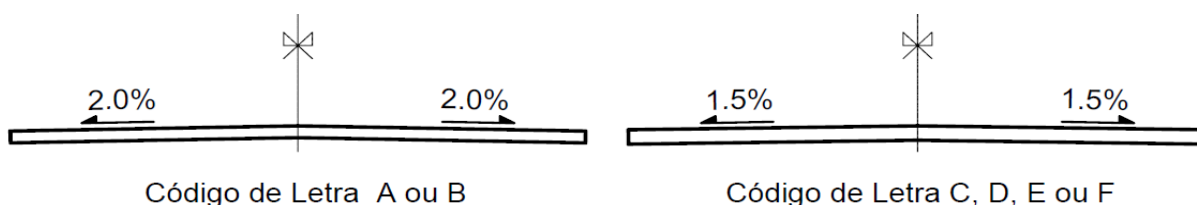
A distância entre duas variações consecutivas de inclinação mínima calcula-se através da equação 4.5:

$$D = \text{Fator referente ao código} \times [|Ix - Iy| + |Iy - Iz|] [m] \quad (4.5)$$

A recomendação referente à distância mínima entre duas inclinações diferentes tem a finalidade de evitar que o avião sofra grandes variações no seu percurso, que possam vir a afetar a sua estrutura, além de tentar minimizar o desconforto dos passageiros durante as operações do avião (ICAO, 2016).

➤ **Inclinação transversal da pista**

Para facilitar o rápido escoamento das águas pluviais é recomendado que a superfície da pista seja convexa, com declives transversais simétricos em relação ao eixo da mesma, que não devem exceder os valores ilustrados na Figura 4.21.



**Figura 4.21** Inclinação transversal da pista

O declive transversal deve ser igual em toda a pista, salvo em zonas excepcionais (junto às interseções com outras pistas ou caminhos de circulação), onde pode existir a necessidade de uma transição suave e inclinações mais reduzidas.

Recomenda-se, também, que as inclinações sejam reduzidas até 1,0 % em zonas de fraca pluviosidade.

As regras estabelecidas para a inclinação transversal de uma pista de aterragem têm o objetivo de garantir o escoamento eficiente das águas pluviais, evitando assim a possibilidade de ocorrência de aquaplanagens. Estas inclinações não são muito acentuadas, de modo a não afetar os movimentos dos aviões.

➤ **Berma da pista**

As bermas são a superfície da pista que serve de transição entre o pavimento rígido e a superfície adjacente, tendo como função reduzir o risco de dano do avião devido a levantamento de objetos estranhos presentes na extremidade da pista, proteger o solo contra a erosão e acomodar aeronaves em caso de eventuais desvios, permitindo um retorno em segurança para a pista.

Estas são recomendadas para pistas com o código de letra D, E ou F, com largura de pista entre 45 e 60 metros, e têm como finalidade criar uma superfície lateral para que quando um avião saia da pista não passe logo para a zona não pavimentada. A Tabela 4.6 apresenta as larguras recomendadas para cada código de letra.

A inclinação longitudinal deve ser igual à da pista e a inclinação transversal não deve exceder os 2.5 %.

A berma deve estender-se ao longo da pista simetricamente em ambos os lados, para que o somatório da largura da pista com a berma não seja inferior a 60 metros para pistas com código de letra D e E, nem inferior a 75 m para código de letra F.

**Tabela 4.6** Larguras recomendadas para bermas de pista (RWY) (adaptado de ICAO, 2004)

	Código de letra		
	D	E	F
Largura da RWY (Tabela 4.5)	45 m	45 m	60 m
Largura de cada berma	7.5 m	7.5 m	7.5 m
Largura combinada entre berma e RWY	60 m	60 m	75 m

➤ **Área livre de obstáculos (CLEARWAY - CWY)**

A área livre de obstáculos (CWY) caracteriza-se por ser uma área no solo ou sobre a água, que se encontra sob o controlo das autoridades aeroportuárias. Localiza-se mais precisamente no final da pista, ou seja após a zona disponível para a corrida de descolagem (TORA) estando incluída na distância disponível para descolagem (TODA), como se pode observar na Figura 4.7. Esta define-se por ser uma área preparada para que o avião realize a sua subida inicial de descolagem de forma segura até uma altura específica, estando completamente desimpedida de obstáculos.

O comprimento da área livre de obstáculos não deve exceder 50 % da distância de corrida de descolagem (TORA) definida para a pista e a sua largura não deve ter uma extensão inferior a 75 m a partir da linha central da pista em ambos os lados.

A inclinação a aplicar nestas zonas deve ter uma inclinação positiva superior a 1.25 % em relação ao plano inferior, que se caracteriza por ser perpendicular ao plano vertical que contém a linha central da pista e passa por um ponto localizado nessa linha mesmo no final da TORA, como se pode observar na Figura 4.22.

São considerados obstáculos e previamente removidos todos os objetos situados nesta área que possam ser considerados como um perigo para a aeronave na sua operação.



**Figura 4.22** Área livre de obstáculos (CWY) (Aircraft Technical Book Company, 2009)

➤ **Área de paragem (STOPWAY-SWY)**

A área de paragem caracteriza-se por ser uma zona pavimentada para além da pista disponível para a descolagem e funciona como zona de paragem para uma descolagem que necessite de ser abortada. Tem largura e inclinação iguais à pista, seguindo as recomendações fornecidas pela ICAO para a mesma. A Figura 4.23 ilustra uma área de paragem.



**Figura 4.23** Área de paragem (SWY) (Aircraft Technical Book Company, 2009)

A área de paragem deve ser projetada de modo a suportar uma descolagem abortada sem causar danos ao avião, sendo a sua superfície dotada de características de atrito superficial que ajudam a aeronave na operação de travagem.

➤ **Soleira deslocada (“Displaced Threshold”)**

O Soleira deslocada de uma pista é utilizado para garantir uma aterragem em segurança dos aviões, visto ser uma zona da própria pista que fornece inclinação para a aproximação da aeronave sem obstáculos. No entanto, esta zona não serve para a aeronave realizar o primeiro contacto com a pista.

Localiza-se antes da linha que marca o início da zona de aterragem e permite que a pista não se inicie na sua extremidade. Esta zona deve ter no mínimo 60 metros entre a extremidade da pista e a linha que indica a zona disponível para aterragem.

O deslocamento deste limite da pista, da extremidade para uma zona mais interior da pista leva a que a distância disponível para a operação de aterragem da aeronave diminua. A implementação deste deslocamento deve ser estudado de forma a encontrar um equilíbrio entre as condições da superfície de aproximação e a distância de aterragem adequada ao avião crítico.

É possível realizar descolagens a partir do início desta zona ou estar em posição de espera antes do início da descolagem, podendo ser temporária ou permanente. A Figura 4.24 ilustra esta área da pista (EASA, 2015).

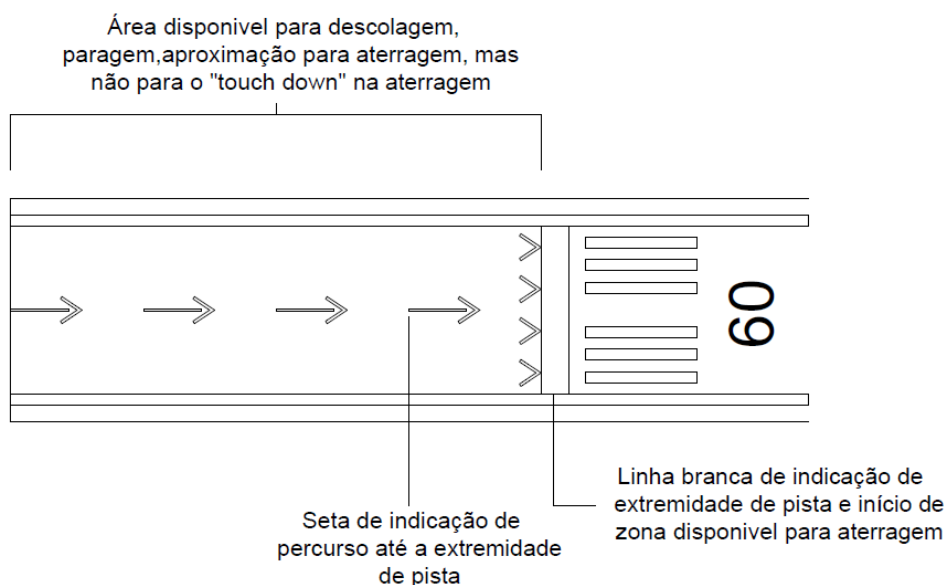


Figura 4.24 Soleira deslocada "Displaced Threshold" (ICAO, 2004)

### ➤ Áreas de proteção da pista (RWY)

Para além das áreas de proteção referentes ao espaço aéreo, a ICAO também fornece recomendações para áreas no solo em redor da pista (RWY), que se prolongam além das suas extremidades. Estas áreas são a Faixa da pista e a Área de segurança no fim da pista (RESA).

- Faixa da pista ("Strip")

A Faixa da pista ("Strip") divide-se em duas áreas: a zona de faixa da pista ("Strip") e a zona de faixa nivelada ("Graded Strip"). A pista e a respetiva zona de paragem (SWY), estão incluídas na zona de faixa da pista ("Strip").

O comprimento da zona de faixa da pista ("*Strip*") deve prolongar-se para lá do limite da pista ou da zona de paragem (SWY) a uma distância mínima de (ICAO, 2016):

- 60 metros, se o número de código for 2, 3 ou 4;
- 60 metros, se o número de código for 1 e a pista for operada por instrumentos;
- 30 metros, se o número de código for 1 e a pista for de aproximação visual.

A largura da zona de faixa da pista ("*Strip*"), quer se trate de uma pista com aproximação de precisão ou sem aproximação de precisão, deve estender-se lateralmente em ambos os lados da linha central, sempre que possível, a uma distância de:

- 150 metros, se o número de código for 3 ou 4;
- 75 metros, se o número de código for 1 ou 2.

No caso de ser uma pista de aproximação visual é recomendada uma largura de:

- 75 metros, se o número de código for 3 ou 4;
- 40 metros, se o número de código for 2;
- 30 metros, se o número de código for 1.

Todo o objeto situado dentro desta área que possa pôr em causa a segurança do avião deve ser considerado como um obstáculo e deve ser removido. Nenhum objeto fixo, para além dos requeridos para ajuda visual de navegação aérea, são permitidos dentro da faixa da pista (ICAO, 2016).

Para além desta recomendação, a norma também indica que nenhum objeto ou estrutura deve estar a menos de 30 centímetros de profundidade no solo, com o fim de proteger as aeronaves, dado que as rodas desta afundam no solo, quando atingem a zona de faixa.

A zona nivelada da faixa de pista ("*Graded Strip*") representa uma área do solo preparada, em termos de inclinação e capacidade de suporte, com o fim de reduzir os danos causados a um avião que saia da pista.

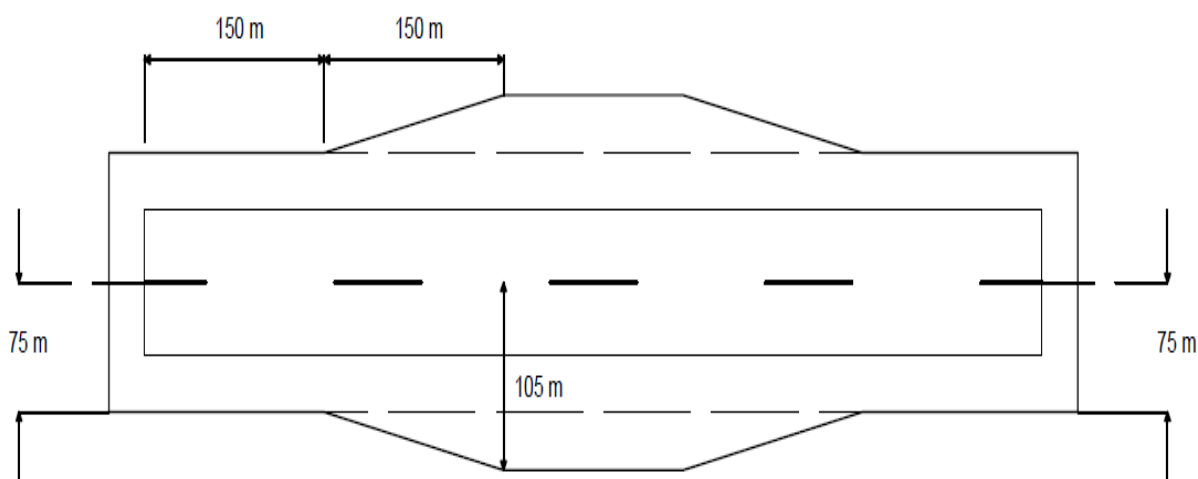
A zona nivelada da faixa da pista deve ter o seu terreno nivelado, para ser uma zona onde o avião possa parar o seu movimento em segurança no caso de saída de pista, tendo em ambos os lados, para a pista de aproximação por instrumentos, uma distância mínima ao eixo de (ICAO, 2016):

- 75 metros se o número de código for 3 ou 4;
- 40 metros se o número de código for 1 ou 2.

A Figura 4.25, apresenta um exemplo de uma pista de aproximação por precisão, cuja faixa foi projetada com o apoio de informações o avião crítico. A zona a ser nivelada tem uma largura de 105 metros a partir da linha central da pista, sendo esta largura gradualmente reduzida para 75 metros ao longo de uma extensão de 150 metros, mantendo-se depois, até à extremidade da pista.

No caso de se tratar de uma pista de aproximação visual, a distância, em ambos os lados, ao centro da pista será de (ICAO, 2016):

- 75 metros, se o número de código for 3 ou 4;
- 40 metros, se o número de código for 2;
- 30 metros, se o número de código for 1.



**Figura 4.25** Aplicação de uma faixa da pista para um pista de aproximação por precisão (adaptado de ICAO, 2016)

É recomendado, também, que a área situada até 30 metros da soleira da pista (“*Threshold*”) seja protegida contra a erosão, devendo a sua capacidade de suporte ser idêntica à da pista (RWY), evitando grandes diferenças com as suas extremidades, de modo a evitar os riscos que estas possam causar.

A inclinação longitudinal ao longo da faixa da pista nivelada não deve exceder (ICAO, 2016):

- 1.50 % quando o número de código seja 4;
- 1.75 % quando o número de código seja 3;
- 2.00 % quando o número de código seja 1 ou 2.

A inclinação transversal a adotar nesta área preparada da faixa de pista (“*Graded strip*”) deve ser adequada para prevenir a acumulação de águas pluviais sobre a superfície, não devendo exceder (ICAO, 2016):

- 2.5 % quando o número de código seja 3 ou 4;
- 3.0% quando o número de código seja 1 ou 2.

Com a exceção dos primeiros 3 metros da zona adjacente à berma da pista e da zona de paragem, a inclinação deverá ser negativa de forma a facilitar a drenagem, tendo a direção oposta à da pista. A inclinação transversal da zona da faixa não deve exceder uma inclinação de 5 % na direção oposta à pista.

- Área de segurança no fim da pista (RESA)

A área de segurança no fim da pista (RESA) é uma zona que tem a função de prevenir e limitar consequências quando o avião realiza uma aterragem ou uma descolagem falhada, saindo da pista.

Esta é construída de forma a fornecer uma área limpa, nivelada e livre de objetos, com exceção de elementos de ajuda visual frágeis. Deve ter uma superfície que potencie a desaceleração dos aviões no caso de despiste, não devendo, no entanto, dificultar o acesso das equipas de socorro ou qualquer atividade de socorro.

A existência de uma área de segurança de fim de pista (RESA), em cada uma das extremidades de pista, está associada a todas as pistas cujo:

- Número de código seja 3 ou 4
- Número de código seja 1 ou 2, sendo a pista de aproximação instrumentada.

A distância deve estender-se pelo menos 90 metros para lá do limite da pista, em ambos os lados, sendo aconselhável que a distância seja de (ICAO, 2016):

- 240 metros, quando o número de código for 3 ou 4;
- 120 metros, quando o número de código for 1 ou 2 e a pista seja do tipo instrumentada;
- 30 metros, quando o número de código seja 1 ou 2 e a pista seja de aproximação visual.

A largura mínima desta área deve ser o dobro da largura da pista a que está associada, sendo recomendado que seja igual à largura da zona nivelada da Faixa de Pista (“*Graded strip*”) sempre que possível.

Tal como na Faixa da pista (“*Strip*”), qualquer objeto presente no RESA que possa causar perigo a um avião deve ser considerado um obstáculo e ser prontamente removido,

estando permitido apenas objetos frágeis estritamente necessários à navegação (ICAO, 2016).

A inclinação longitudinal do RESA não deve exceder uma inclinação descendente de 5 %, sendo de evitar transições de inclinações nesta zona. Não sendo possível verificar esta situação, é recomendado uma transição gradual da mesma.

A inclinação transversal do RESA não deve exceder os 5 % e as suas transições de inclinação, caso existam, devem ser realizadas da forma mais gradual possível.

A Figura 4.26 apresenta como são posicionadas, perante a pista, a faixa da pista e a RESA.

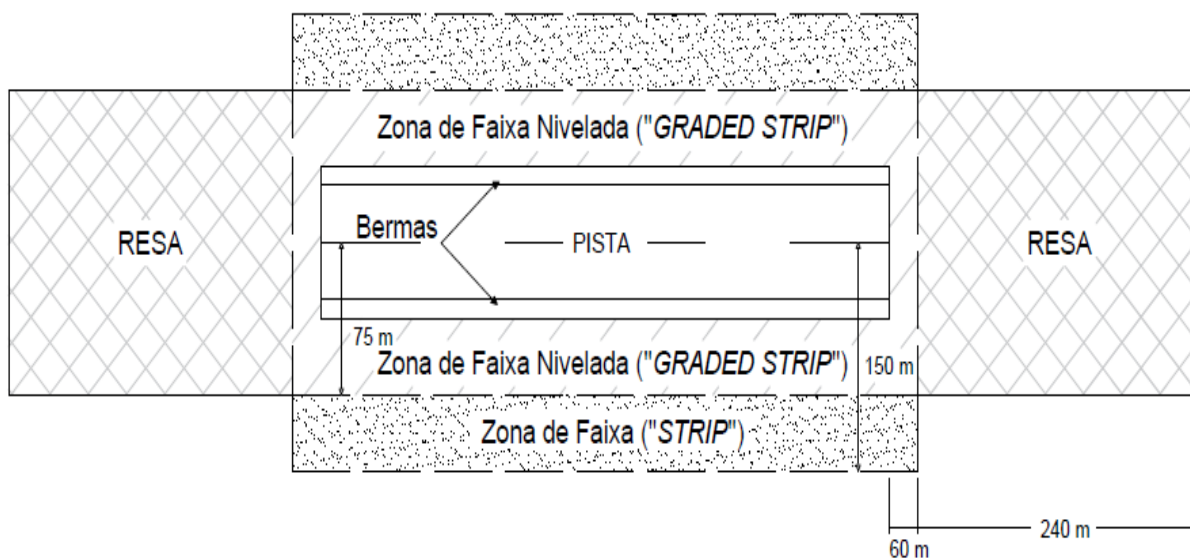


Figura 4.26 Zona de faixa e RESA (adaptado de ICAO, 2016)

#### 4.2.7 Características geométricas de caminhos de circulação (TWY)

As características geométricas dos caminhos de circulação e restantes componentes da pista foram realizadas de acordo com as especificações do Anexo 14 da ICAO (ICAO, 2016) com o apoio das recomendações do documento “*Aerodrome Design Manual-Part 2: Taxiways, Aprons and Holding Bays*” (ICAO, 2005). Este último é um manual complementar ao Anexo 14, que apresenta exclusivamente metodologias de projeto referentes aos caminhos de circulação e outros complementos às pistas e às zonas do aeroporto.

Este subcapítulo incide sobre conceitos, parâmetros e restrições relacionados com o dimensionamento de um caminho de circulação (TWY) e seus constituintes, abordando o

tema de forma concisa e sintética a fim de demonstrar a metodologia que se aplica ao longo de um projeto deste tipo de infraestrutura aeroportuária.

A máxima capacidade e eficiência de um aeroporto só se atinge quando obtido o balanço apropriado entre as pistas e os terminais de passageiros e de carga, estas ligadas entre si por caminhos de circulação (“*Taxiway*”) e seus componentes.

O caminho de circulação tem como principal função permitir a circulação dos aviões de forma rápida e segura entre zonas do aeroporto. Assim sendo, devem ser projetados de forma a minimizar as restrições de movimentos dos aviões entre zonas.

Tal como a pista, o caminho de circulação de um aeroporto deve ser previamente planeado, devendo ser projetado através de análises rigorosas ao crescimento do volume de tráfego horário e às aeronaves futuras a operar no aeroporto, pois a uma inadequada previsão poderá significar a rápida desatualização do aeroporto face à realidade.

Ao planear o caminho de circulação devem ter-se em consideração os seguintes princípios:

- Distâncias curtas na ligação aos vários elementos do aeroporto;
- Simplicidade, para evitar conflitos;
- Diretriz constituída essencialmente por retas e grandes raios (quando são necessárias mudanças de direção);
- Evitar cruzamento entre caminhos de circulação, para uma maior segurança de circulação e menores congestionamentos.

A verdadeira função do caminho de circulação é manter o avião o menor tempo possível na pista. Desta forma, as vias de saída da pista podem ser localizadas ao longo do caminho de circulação para corresponder melhor a cada uma das aeronaves que opere no aeroporto.

O projeto de um caminho de circulação deve ter em atenção a margem de segurança mínima em relação à extremidade da pista. Quando o *cockpit* do avião estiver sobre o eixo do caminho de circulação, o afastamento entre a roda externa do trem de aterragem principal e a berma da pista não deve ser inferior às seguintes distâncias apresentadas na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7** Margem mínima de segurança entre o trem de aterragem–berma num TWY (ICAO, 2005)

Código de letra	Margem de segurança mínima entre o trem de aterragem e a berma (m)
A	1.50 m
B	2.25 m

Código de letra	Margem de segurança mínima entre o trem de aterragem e a berma (m)
C	3.0 m, para aeronaves com base de rodas <18 m;
	4.5 m, para aeronaves com base de rodas >18 m;
D	4.50 m
E	4.50 m
F	4.50 m

➤ **Largura do caminho de circulação**

A seleção da largura a aplicar no caminho de circulação tem por base a distância entre a roda externa do trem de aterragem principal do avião e a berma da pista. Assim sendo em troços retilíneos, a largura mínima desta será a soma do espalho do avião (“*Wheel Span*”) e o dobro da folga do pavimento registada para a aeronave crítica. A Tabela 4.8. fornece os valores mínimos permitidos.

Para os troços circulares, deve ter-se em conta o desvio das rodas e o ângulo de viragem da aeronave, aplicando-se uma sobrelargura ao pavimento de forma a compensar o movimento da aeronave.

**Tabela 4.8** Largura mínima caminho de circulação (ICAO, 2005)

Código de letra	Largura do caminho de circulação (TWY) (m)
A	7.5 m
B	10.5 m
C	15.0 m
D	18 m se for projetado para aviões com extensão entre rodas exteriores do trem de aterragem inferior a 9 m;
	23 m se for projetado para aviões com extensão entre rodas exterior do trem de aterragem superior a 9 m;
E	23 m
F	25 m

➤ **Bermas do caminho de circulação**

A berma é uma área adjacente à extremidade do caminho de circulação, pavimentada, mas de superfície menos rígida (pavimento aligeirado), e preparada para proporcionar a transição entre o pavimento e a superfície que o ladeia, sendo as suas funções idênticas à da berma da pista (RWY).

As bermas são necessárias num caminho de circulação quando o código de referência é do tipo C, D, E ou F e prolongam-se simetricamente em ambos os lados da pista, para que a largura total da pista (largura do caminho de circulação + bermas) corresponda, no mínimo

aos valores fornecidos na Tabela 4.9. Nas zonas onde existe sobrelargura, as bermas não devem ter largura inferior aos troços retos.

**Tabela 4.9** Largura combinada entre TWY e berma (ICAO, 2005)

Código de letra	Largura mínima caminho de circulação (m) (Tabela 4.8)	Largura para cada berma (m)	Largura combinada entre berma e TWY (m)
A	7.5	-	-
B	10.5	-	-
C	15.0	5.0	25.0
D	Extensão do trem de aterragem < 9 m	18.0	10.0
	Extensão do trem de aterragem > 9 m	23.0	7.5
E	23.0	10.5	44.0
F	25.0	17.5	60.0

➤ **Distância mínima de separação para caminhos de circulação**

Cada caminho de circulação deve contemplar uma distância mínima para a linha central da pista (RWY), objetos e outros caminhos (TWY). A Tabela 4.10 demonstra as distâncias mínimas de separação do Caminho de Circulação (TWY). No entanto, com a devida aprovação, é permitido que se optem por distâncias mais pequenas.

**Tabela 4.10** Distância mínima entre TWY e outros elementos do lado ar (ICAO, 2005)

Código de letra	Distância entre o eixo de um caminho de circulação e de uma pista								Distância entre eixos de caminhos de circulação	Distância entre o eixo de um caminho de circulação e um objeto
	Pista por Instrumentos (m)				Pista não Instrumentos (m)					
	1	2	3	4	1	2	3	4		
A	82.5	82.5	-	-	37.5	47.5	-	-	23.0	15.5
B	87.0	87.0	-	-	42.0	52.0	-	-	32.0	20.0
C	-	-	168.0	-	-	-	93.0	-	44.0	26.0
D	-	-	176.0	176.0	-	-	101	101.0	63.0	37.0
E	-	-	-	182.5	-	-	-	107.5	76.0	43.5
F	-	-	-	190.0	-	-	-	115.0	91.0	51.0

➤ **Caminho de circulação de saída rápida (RET)**

Caminho de circulação de saída rápida (RET) é um caminho de circulação que faz um ângulo agudo com a pista (RWY), concebido para permitir aos aviões virarem a velocidades

mais elevadas do que as registadas noutros caminhos de circulação de saída durante a aterragem, reduzindo assim o tempo de ocupação da pista (ANAC, 2015).

A decisão de projetar este tipo de complemento à pista baseia-se em estudos de tráfego, de forma a maximizar a operação de aeronaves na pista, aumentando a capacidade do aeroporto.

Os seguintes critérios base de planeamento devem ser tidos em consideração(ICAO, 2005):

- Pistas exclusivamente destinadas para aterragens – um caminho de circulação de saída rápida só deve ser projetado se as operações de chegada necessitarem de menor espaçamento entre operações;
- Pistas onde existe alternadamente aterragens e descolagens – os intervalos de tempo entre a aeronave que aterriza e a que descola são o principal fator que limita as operações da pista;
- Local de implantação do RET, tendo em conta a frota de aeronaves a receber
- Velocidade de aproximação ( $V_{th}$ ), capacidade de travagem e velocidade operacional de saída ( $V_{ex}$ ).

A localização deste tipo de caminho depende muito das características operacionais da aeronave e é determinada pela sua capacidade de desaceleração após ultrapassar a extremidade da pista.

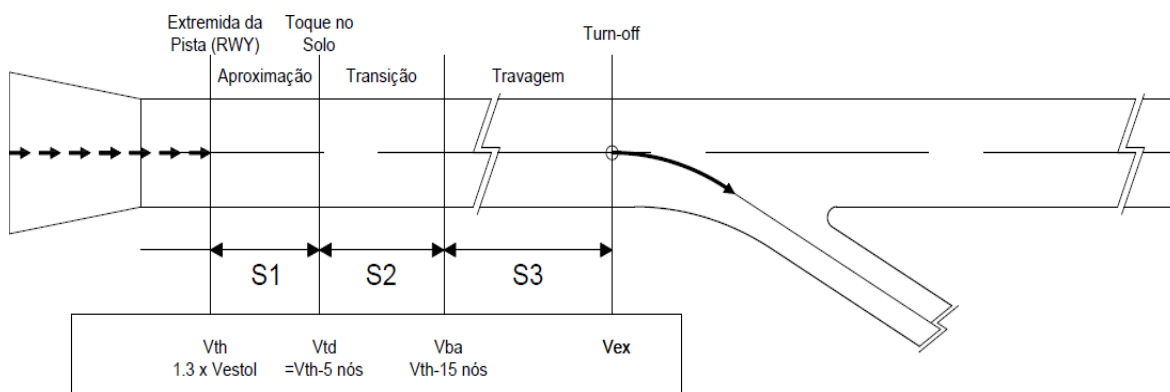
Para fins de projeto, dado o número elevado de fatores que causam influência no projeto de uma pista deste tipo, presume-se que a aeronave cruze o limite da pista em média com uma velocidade de aproximação ( $V_{th}$ ) correspondente a 1.3 vezes a velocidade de perda de sustentação (Velocidade de estol) com os flaps da aeronave na configuração de aterragem máxima certificada. A Tabela 4.11 divide as aeronaves em função da sua velocidade limite base ao nível do mar de modo a facilitar a seleção dos fatores de cálculo.

**Tabela 4.11** Grupo de aeronaves e velocidade correspondente (ICAO, 2005)

Grupo	Velocidade limite base	Exemplo de aeronaves
A	$< 169 \text{ Km/h}$	DHC6 DHC7
B	$169 \text{ Km/h} \leq X \leq 222 \text{ Km/h}$	Fokker F28 DC7
C	$224 \text{ Km/h} \leq X \leq 259 \text{ Km/h}$	A320 A330
D	$261 \text{ Km/h} \leq X \leq 306 \text{ Km/h}$	A340 B777

No projeto de um RET a localização de saída consiste em dois elementos essenciais, a geometria e a localização da extremidade da pista (“*Threshold*”), sendo calculada através do método dos 3 segmentos. Este método relaciona o decréscimo de velocidade desde a extremidade da pista até ao ponto de *turn-off*, no qual a aeronave inicia a curva de saída da pista (RWY).

O método das 3 partes divide a distância entre a extremidade da pista de aterragem e o ponto de *turn-off* em 3 segmentos, como pode ser observado na Figura 4.27. A primeira parte destina-se ao voo de aproximação sobre a pista, a segunda destina-se à transição (momento em que a roda toca o solo) e a terceira e última parte compreende a desaceleração até à velocidade operacional de saída.



**Figura 4.27** Método dos 3 passos (adaptado de ICAO, 2005)

Velocidades adotadas pela aeronave até à curva de saída:

Vtd – é igual à Vth-5 nós, representa a redução da velocidade para a maior parte dos aviões

Vba – Velocidade de aplicação de travagem, Vth-15 nós

Vex – Velocidade operacional de saída (Vex):

- 30 nós ( $\approx 56$  Km/h) para o número de código 3 ou 4
- 15 nós ( $\approx 28$  Km/h) para o número de código 1 ou 2

Segmento 1 (S1) – Distância entre o limite da pista e o local onde a aeronave entra em contacto com a pista: (significa o ponto de aterragem) e deve ser corrigida para a inclinação longitudinal e vento de cauda.

Aeronave de categoria C ou D (Tabela 4.11):

- S1=450 m
- Correção de inclinação longitudinal: +50 m / -0.25 %
- Correção para o vento de cauda: +50 m / +5 nós

Aeronave de categoria (Tabela 4.11):

- $S_1=250$  m
- Correção de inclinação longitudinal: +30 m / -0.25 %
- Correção para o vento de cauda: +30 m / +5 nós.

Segmento 2 (S2) – Distância entre o local onde a aeronave entra em contacto com a pista (“*Touchdown*”) até à estabilização da aeronave, é obtida através da seguinte equação 4.6.

$$S_2 = 5 \times (V_{th} - 10) [m] \quad [V_{th} \text{ em nós}] \quad (4.6)$$

Segmento 3 (S3) – Distância necessária para desaceleração num modo normal de travagem até atingir a velocidade operacional de saída, é obtida através da seguinte equação 4.7.

$$S_3 = \frac{(V_{th}-15)^2 - V_{ex}^2}{8a} [m] \quad [V_{th} \text{ em nós}, a \text{ em } m/s^2] \quad (4.7)$$

Rácio de desaceleração considerado,  $a = 1.5 \text{ m/s}^2$

O processo de cálculo da localização ótima do ponto de *turn-off* e da curva circular de saída de um RET pode ser consultada no Anexo C do presente documento.

Quanto à geometria, o RET deve ser projetado com uma curva de saída de raio mínimo:

- 550 metros, quando o número de código é 3 ou 4, permitindo uma velocidade de 93 km/h (50 nós) em piso húmido;
- 275 metros, quando o número de código é 1 ou 2, permitindo uma velocidade de 65 km/h (65 nós) em piso húmido.

O RET deve incluir uma distância em linha reta após a curva de saída para permitir que a aterragem seja concluída em segurança, antes da interseção com outra pista, não devendo este ser menor quando a interseção se faz a  $30^\circ$  a (ICAO, 2005):

- 35 metros, quando o número de código é 1 ou 2;
- 75 metros, quando o número de código é 3 ou 4.

Enquanto isso, o ângulo de interseção com a pista não deve ser superior a  $45^\circ$  nem inferior a  $25^\circ$ , sendo aconselhada a implementação de  $30^\circ$ . Já a sobrelargura projetada para o interior da curva do RET deve ser maior do que nos TWY, de forma a facilitar a visibilidade de entrada dos pilotos na mesma.

Deve ser garantido um comprimento que permita uma paragem completa antes da barra de paragem de interseção. Sendo assim, a norma recomenda a adoção de uma desaceleração de  $0.76 \text{ m/s}^2$  no troço curvo e de  $1.52 \text{ m/s}^2$  no troço retilíneo.

A Figura 4.28 apresenta em A o exemplo de um RET (para os números de código 1 e 2 da Tabela 4.2) e em B (para os números de código 3 e 4 da Tabela 4.2), sendo que para os primeiros a linha de marcação começa a 30 metros e para os segundos a 60 metros do início da curva.

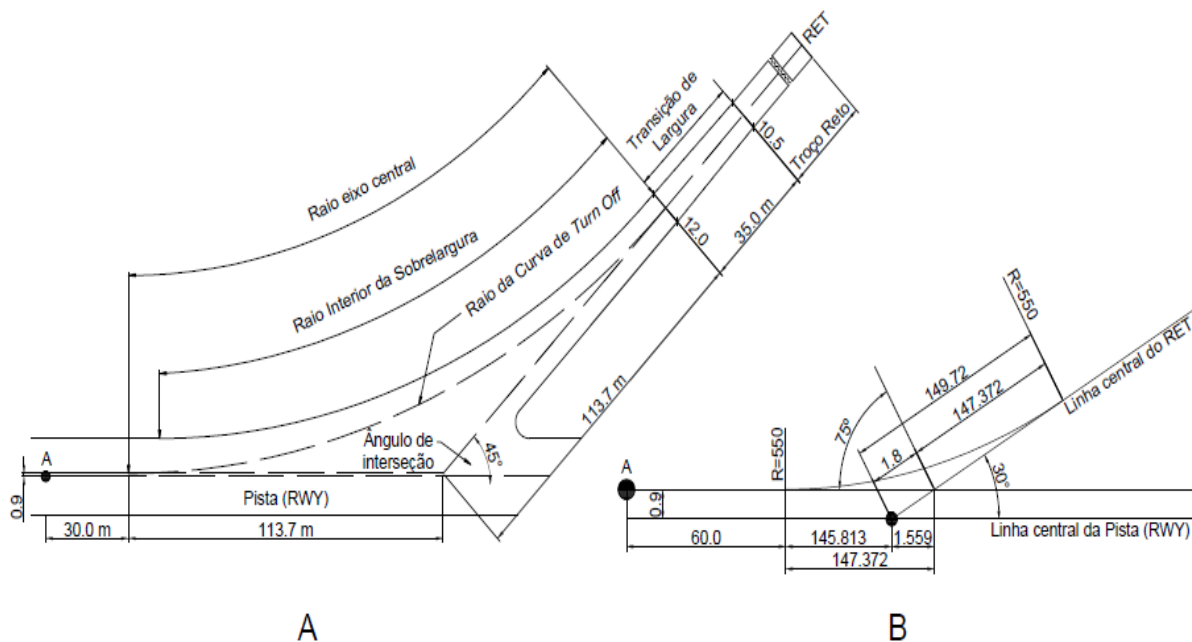


Figura 4.28 Caminho de circulação de saída rápida (RET) (ICAO, 2005)

### ➤ Inclinação Longitudinal

A inclinação longitudinal de um caminho de circulação não deve exceder (ICAO, 2005):

- 1.5 % quando a código de letra é C, D, E ou F;
- 3.0 % quando a código de letra é A ou B.

Quando não é possível evitar a variação de inclinação entre trainéis, a transição de uma inclinação para outra deve ser realizada através de uma curva com uma variação que não exceda (ICAO, 2005):

- 1 % a cada 30 metros (raio mínimo de curvatura de 3000 metros), quando a código de letra for C, D, E ou F;
- 1 % a cada 25 metros (raio mínimo de curvatura de 2500 metros), quando a código de letra for A ou B.

Nestas mesmas zonas de variação deve ser garantido que esta transição seja de tal forma que permita que, de qualquer ponto (ICAO, 2005):

- 3.0 metros acima do caminho de circulação, seja possível ver toda a superfície do caminho, numa distância nunca inferior a 300 metros, para código de letra C, D, E, F;
- 2.0 metros acima do caminho de circulação, seja possível ver toda a superfície do caminho, numa distância nunca inferior a 200 metros, para código de letra B;
- 1.5 metros acima do caminho de circulação, seja possível ver toda a superfície do caminho, numa distância nunca inferior a 150 metros, para código de letra A.

➤ **Inclinação transversal**

A inclinação transversal de um caminho de circulação deve ser suficientemente inclinada de forma a evitar o acumular de águas pluviais na superfície do caminho, não devendo exceder (ICAO, 2005):

- 1.5 % quando a código de letra for C, D, E ou F;
- 2.0 % quando a código de letra for A ou B.

➤ **Curvas circulares e intersecções**

Quando realizam o seu percurso num aeroporto, as aeronaves fazem curvas desde a saída da área de estacionamento ("Apron") até à pista (RWY), passando por baías de espera, bypass's, caminhos de circulação entre outros.

Nos diversos tipos de complementos à pista, as curvas necessitam de uma maior atenção devido ao ângulo de viragem, ao desvio das rodas e outras partes da aeronave em relação ao eixo da pista. Este facto exige um cuidado especial sobre as áreas pavimentadas da pista, de forma a garantir a segurança na realização do movimento.

Para as zonas pavimentadas, o elemento da aeronave que importa é a roda exterior do trem de aterragem. No entanto, as áreas de segurança da pista centram-se nos pontos extremos da aeronave, como o nariz e pontas das asas. Estes devem ter a sua trajetória avaliada para que se mantenham as distâncias de segurança para os outros componentes da pista.

A curva deve ser de tal forma projetada que quando o avião estiver a realizar a mudança de direção, a cabine do avião permaneça sobre a marcação da linha central do caminho de circulação e a distância entre as rodas externas principais da aeronave e a berma sejam cumpridas tal como indica a Tabela 4.9.

No que se refere às curvas no caminho de circulação, as mudanças de direção devem ser tão pouco quanto possível e os raios devem ser compatíveis com a capacidade de manobra e velocidade de circulação da aeronave crítica. A Tabela 4.12 apresenta uma relação entre os raios mínimos e as velocidades de circulação permitidas para os mesmos.

**Tabela 4.12** Tabela de relação entre velocidade e raios de curvas (ICAO, 2005)

Velocidade (km/h)	Raio da curva (m)
16	15
32	60
48	135
64	240
80	375
96	540

Fazendo uma abordagem geral aos aspetos relacionados com as curvas e interseções é possível dividir o tema em 2 partes distintas: o fator de carga lateral e a trajetória da aeronave.

- **Fator de carga lateral**

O Aerodrome Design Manual-Part 2 da ICAO (ICAO, 2005) recomenda para o cálculo do raio das curvas de um caminho de circulação um fator de carga lateral máximo de  $f = 0.133 g$ . O raio da curva pode ser obtido através da seguinte equação 4.8.

$$V = \sqrt{f \times R} = \sqrt{0.133 \times g \times R} \quad (4.8)$$

f – Fator de carga lateral ( $m/s^2$ );

g – Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

V – Velocidade (m/s);

R – Raio da Curva (m).

O manual não recomenda uma velocidade mínima a ser adotada para o projeto das curvas, sendo este mínimo recomendado apenas para o caminho de circulação de saída rápida (RET).

- **Trajetoória da aeronave**

As configurações do trem de aterragem das aeronaves comerciais apresentam trens de aterragens sob a forma de triciclos, em que a roda frontal na zona do nariz é usada para o controlo da aeronave no solo e o trem principal é fixo, com exceção para o trem principal de aterragem do *Boeing 747* que serve também de apoio no controlo desta.

Quando a cabine ou outro ponto de referência da aeronave segue o eixo central durante a operação de viragem, cria um ângulo entre o eixo da aeronave e o eixo do caminho de circulação, no ponto de referência da aeronave (S), sendo esse o ângulo de viragem ( $\beta$ ) medido entre o eixo longitudinal da aeronave e a trajetória do nariz da aeronave, como é possível observar na Figura 4.29.

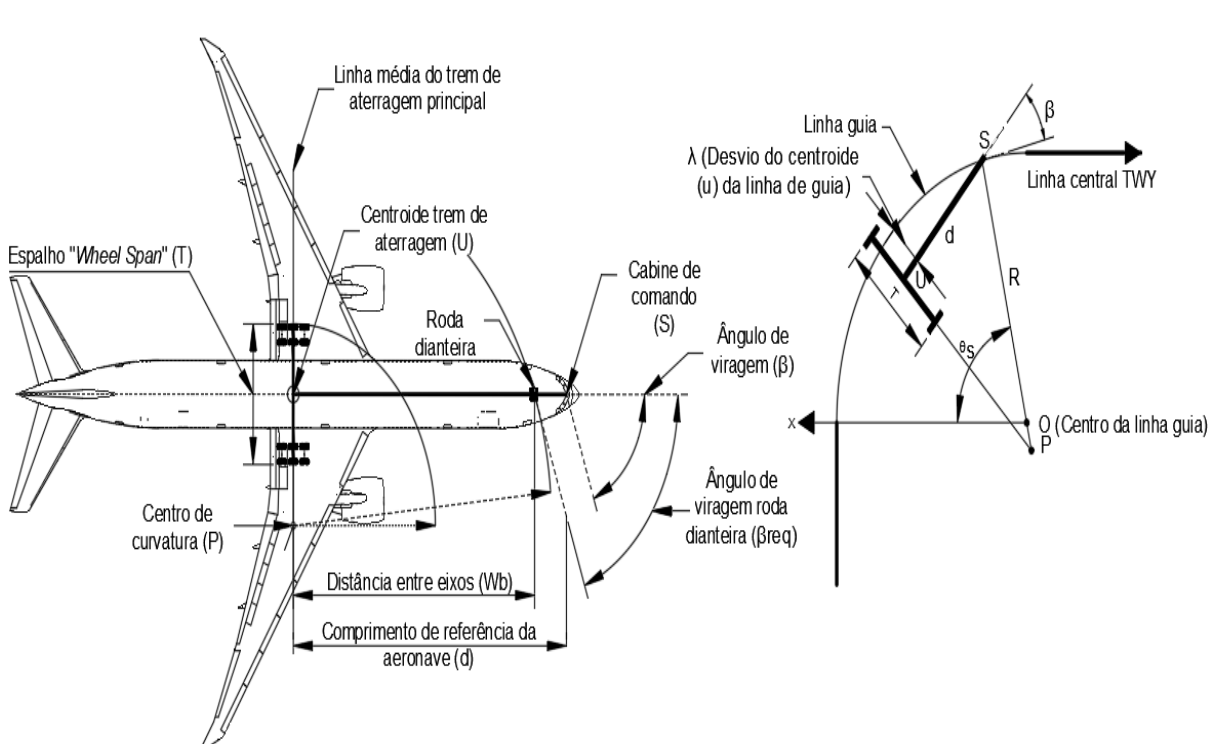


Figura 4.29 Trajetória de uma aeronave em curva (adaptado de ICAO, 2005)

O ângulo de viragem da aeronave ( $\beta$ ) é diferente do ângulo de viragem da roda dianteira da aeronave ( $\beta_{req}$ ) caso a roda dianteira não coincida com o ponto de referência da aeronave (S), sendo o ponto U observado na Figura 4.29 o centróide das rodas do trem fixo da aeronave.

O ângulo de viragem da aeronave ( $\beta$ ) pode ser avaliado segundo a ICAO, através do uso de linhas retas e arcos, sendo que a combinação entre estes, alternando diferentes raios e retas, permite um desenho flexível do percurso da aeronave.

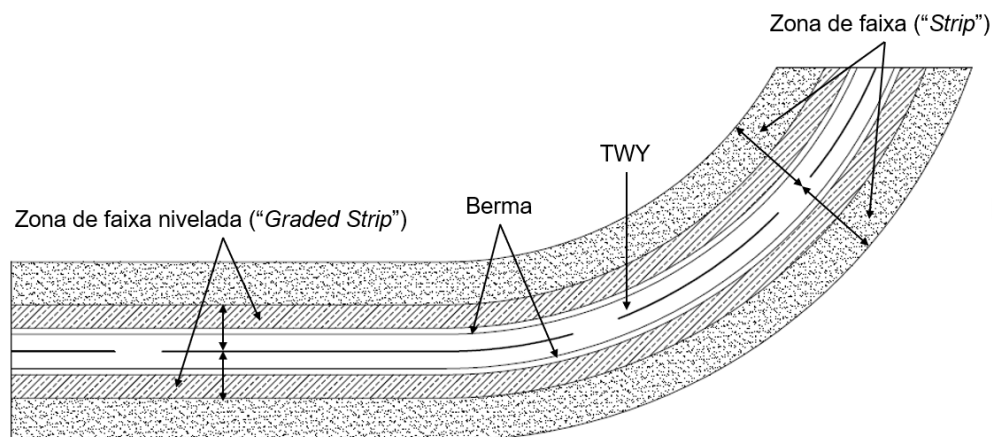
O Anexo 1 do *Aerodrome Manual Design – Part-2* (ICAO, 2005) apresenta equações e ábacos que permitem realizar uma avaliação do caminho percorrido pelo trem principal de aterragem durante o percurso numa curva de um caminho de circulação.

Atualmente, o estudo do percurso da aeronave no traçado é realizado com recurso a programas de cálculo automático, permitindo saber com precisão a posição em relação à pista ao longo do percurso dos diferentes elementos da aeronave, como é o caso dos trens de

aterragem e motores, e dando a possibilidade de conhecer em antemão os limites da pista e conseqüentemente as zonas onde se deve adicionar uma sobrelargura ao pavimento da pista.

➤ **Zona de faixa da pista (“Strip”)**

Tal como a pista também o caminho de circulação deve ser incluído dentro de uma faixa de pista (“Strip”), a qual deve estender-se simetricamente para cada lado da linha central do caminho de circulação em toda a sua extensão, dividindo-se em duas zonas distintas, a zona de faixa de pista (“Strip”) e a zona nivelada da faixa de pista (“Graded strip”), tal como a Figura 4.30 apresenta.



**Figura 4.30** Zona de faixa (“Strip”) de um caminho de circulação (adaptado de ICAO, 2005)

A largura a adotar no caminho de circulação (quando se trata da zona de faixa da pista “strip”) é de:

- 115.0 metros, para a código de letra F;
- 95.0 metros, para a código de letra E;
- 81.0 metros, para a código de letra D;
- 52.0 metros, para a código de letra C;
- 43.0 metros, para a código de letra B;
- 32.5 metros, para a código de letra A.

A zona central da faixa do caminho de circulação deve conter uma zona nivelada da faixa da pista (“Graded Strip”), com uma distância ao eixo central de:

- 30.0 metros, para a código de letra F;
- 22.0 metros, para a código de letra E;
- 19.0 metros, para a código de letra D;
- 12.5 metros, para a código de letra B ou C;
- 11.0 metros, para a código de letra A.

Não devendo esta ter uma inclinação transversal superior a:

- 2.5 %, para a código de letra C, D, E ou F;
- 3.0 %, para a código de letra A ou B.

A zona de faixa não nivelada deve ter uma inclinação inferior a 5%.

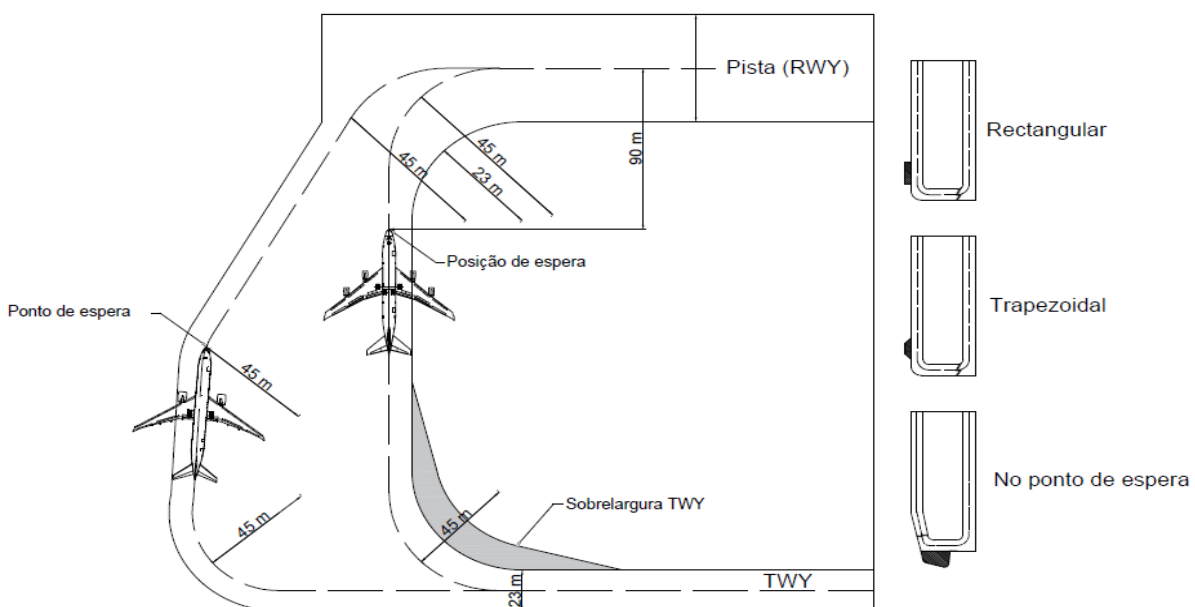
Ambas as zonas não devem conter objetos que possam colocar em perigo a circulação das aeronaves, sendo apenas permitido a colocação de objetos frágeis de apoio à circulação.

➤ **Bypass e baias de espera**

A conceção de baias de espera ou *bypass's* numa pista aeroportuária, é feita com base numa análise do volume de partidas por hora a curto prazo, sendo que estas permitirão um grande grau de flexibilidade na sequência de partidas, proporcionando às entidades que gerem o fluxo de tráfego uma melhor gestão das operações, ajudando mesmo a superar atrasos imprevistos e aumentando a capacidade do aeroporto.

Em geral, estas servem para que uma aeronave contorne outra e dividem-se em três tipos:

Baia de espera – quando utilizada permite funcionar como um elemento de retenção, possibilitando à aeronave, com base na sua prioridade, descolar na ordem em que for autorizada pelas autoridades. Esta permite que uma aeronave saia e volte a entrar na sequência de partida, independentemente do fluxo de aeronaves presentes. A Figura 4.31 ilustra um exemplo deste tipo de complemento à pista.



**Figura 4.31** Baia de espera para o número de código 3 e 4 (adaptado de ICAO, 2005)

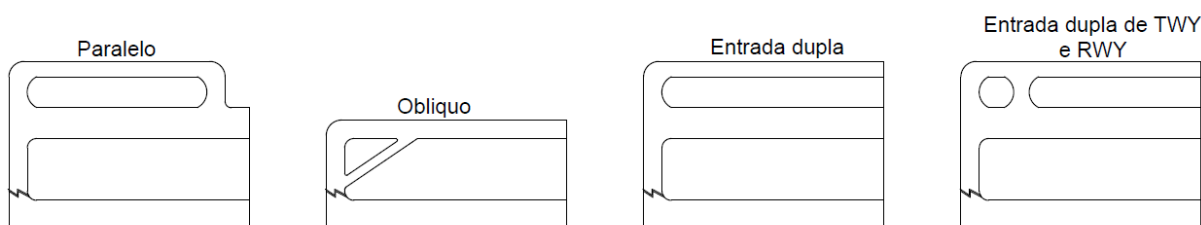
A localização pretendida para uma baía de espera é algo que se deve ter em conta quando se inicia um projeto, sendo esta dependente do número de posições que se quer fornecer, o tamanho da aeronave crítica a ser acomodada e a frequência de utilização.

Quando o objetivo da conceção de uma baía de espera é permitir uma sequência de partidas mais flexíveis, o local ideal é junto ao final do caminho de circulação, sendo outras localizações ao longo da pista ideais para as verificações pré-voos da aeronave, ou aeronaves em espera de permissão para descolar. A Tabela 4.13 indica a distância mínima que se deve respeitar em relação ao eixo da pista:

**Tabela 4.13** Distância mínima entre a linha central / baía de espera (adaptado de ICAO, 2005)

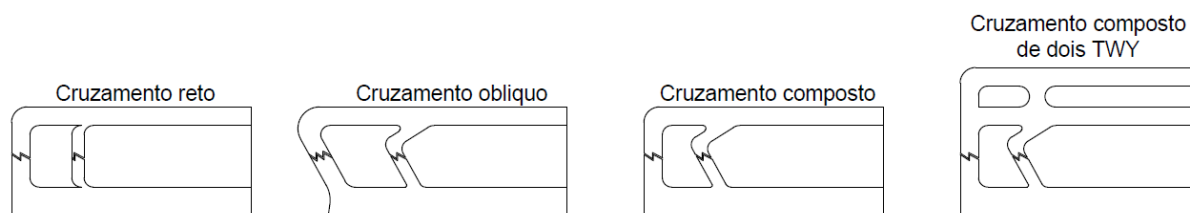
Tipo de pista	Número de código			
	1	2	3	4
Pista de aproximação visual	30 m	40 m	75 m	75 m
Pista de aproximação de não-precisão	40 m	40 m	75 m	75 m
Pista de aproximação – Categoria I	60 m	60 m	90 m	90 m
Pista de aproximação – Categoria II	-	-	90 m	90 m

Caminho de circulação duplo – um segundo caminho ou um desvio para um segundo caminho de circulação paralelo. A Figura 4.32 ilustra exemplos da configuração deste tipo de complemento à pista:



**Figura 4.32** Exemplos de entrada de caminho de circulação duplo (adaptado de ICAO, 2005)

Entrada dupla na pista (“ByPass”) – duplicação do caminho de circulação para entrada na pista. A Figura 4.33 ilustra um exemplo de um *bypass* na entrada da pista:



**Figura 4.33** Exemplo de entradas duplas em pista (adaptado de ICAO, 2005)

No que se refere às características geométricas de projeto, existem alguns aspetos em comum, sendo de mencionar os seguintes:

- Independentemente do tipo de desvio utilizado, a separação mínima entre eixos de caminhos de circulação e pista devem ser mantidos, conforme o especificado na Tabela 4.13;
- O projeto selecionado deve fornecer pelo menos uma entrada para o início da pista de descolagem, para que as aeronaves que necessitem da pista toda para descolar se consigam alinhar sem perder comprimento de pista;
- Deve ter-se em conta o “*Jet-blast*” das aeronaves, tendo este de ser afastado da pista, para não afetar outras aeronaves;
- As bermas devem ser idênticas às do caminho de circulação.

Para um aeroporto, a melhor escolha entre cada um destes métodos irá depender da geometria do sistema de pistas, caminhos de circulação implementados e volume de tráfego de aeronaves, sendo que estes três tipos podem ser combinados por forma a maximizar os movimentos de aeronaves.

## 5 CASO DE ESTUDO: AMPLIAÇÃO DO CAMINHO DE CIRCULAÇÃO “F” DO AEROPORTO FRANCISCO SÁ CARNEIRO (AFSC)

A pesquisa e estudo realizados no âmbito do Capítulo 4 revelou-se ser da maior importância para o desenvolvimento do presente Caso de Estudo e conseqüentemente para elaboração do projeto realizado durante o período de estágio na empresa SENER-ENGIVIA.

O Caso de Estudo apresentado surge na seqüência da reformulação do projeto de execução da ampliação do Caminho de Circulação “F” do AFSC, realizado entre os anos de 2008 e 2010 pela SENER-ENGIVIA, no âmbito da alteração do código de referência do aeroporto projetado anteriormente segundo o *Code F* para *Code E*.

Uma das etapas fundamentais no desenvolvimento do trabalho, consistiu na interpretação das características da infraestrutura do AFSC, conhecimento dos principais elementos da sua envolvente, características do local, critérios das normas e métodos de aplicação associados ao desenvolvimento da geometria do traçado do caminho de circulação, de modo a serem contempladas as recomendações das Entidades aeronáuticas.

O AFSC é um dos aeroportos mais importantes do país, constituindo um ponto chave na economia da região Norte. Este aeroporto permite a ligação às outras zonas do território nacional, bem como ao resto do mundo, atraindo anualmente um volume de aeronaves que começa a atingir o seu limite operacional.

Com esta intervenção, pretende-se acompanhar a realidade do setor aeroportuário na região, dando resposta à procura que cresce ano após ano. Esta ampliação é de extrema importância para que o AFSC consiga manter a qualidade das suas operações.

### 5.1 Enquadramento geral

Este subcapítulo tem o objetivo de fazer o enquadramento do Aeroporto Francisco Sá Carneiro (AFSC), caracterizando a sua evolução e influência na região onde se situa, dado que o Caso de Estudo apresentado tem por base o seu novo projeto.

Inaugurado em 1945, o seu primeiro voo internacional deu-se apenas onze anos depois, em 1956, e quatro anos mais tarde é dado o início da primeira rota regular, entre a cidade do Porto e a cidade de Londres, em Inglaterra.

Em 1975 é realizada a ampliação da pista para 3480 metros (Figura 5.1), de modo a responder à constante procura, e cinco anos mais tarde, em 1980, é inaugurado o terminal de carga.



**Figura 5.1** Pista do Aeroporto de Pedras Rubras (Leite, 2013b)

Em 1990, coincidindo com a inauguração da nova gare, as instalações passaram a ter a designação de “Aeroporto Francisco Sá Carneiro”, em homenagem ao antigo primeiro ministro português, que falecera a 4 de dezembro de 1980, num desastre de avião em Lisboa, quando viajava para o Aeroporto de Pedras Rubras (Porto Editora, 2003-2018b).

No que se refere à pista aeroportuária, desde a sua inauguração, o aeroporto tem vindo a sofrer diversas modificações, nomeadamente ao nível das dimensões da pista, para fazer face às alterações que se vêm verificando ao nível do tamanho das aeronaves, podendo ser destacadas as seguintes intervenções na pista:

- Prolongamento para 2000 metros na década de 1960;
- Repavimentação e prolongamento até 3480 metros entre 1972 e 1975;
- Reabilitação da pista em 2004.

O AFSC destaca-se pela sua posição geográfica como um dos mais influentes aeroportos nacionais e do Noroeste da Península Ibérica, contribuindo para o desenvolvimento da região Norte. Está localizado na zona do Grande Porto, mais especificamente em Pedras Rubras, no concelho da Maia, e os seus acessos são assegurados por uma boa rede de estradas. O facto de estar muito próximo da cidade do Porto permite ser conectado a Norte pelas autoestradas A28 e A3, assegurando uma rápida ligação às cidades de Viana do Castelo e Braga, bem como ao Norte da Península Ibérica, nomeadamente às cidades de Vigo e Santiago Compostela. A A4 permite também ligar o aeroporto ao interior Norte e a A1 à cidade de Aveiro, bem como ao resto do país. Na Figura 5.2 é possível observar a localização do aeroporto e a área a intervir.



**Figura 5.2** Localização do AFSC (SENER-ENGIVIA, 2018)

A nível ferroviário o AFSC também apresenta uma boa oferta, através das ligações efetuadas na linha do Norte, que se encontram conectadas através do metro entre a cidade do Porto e o aeroporto.

Situado junto a uma das áreas industriais e comerciais mais importantes do país, o aeroporto tem neste momento cerca de vinte sete companhias a operar, que realizam voos para mais de 65 destinos diferentes (ANA, 2018), sendo neste momento um aeroporto que opera essencialmente tráfego regular turístico e de negócios.

O AFSC é considerado o segundo aeroporto português ao nível do número de passageiros, sendo igualmente o segundo maior aeroporto do país e o maior da região Noroeste da Península Ibérica ao nível da área de implantação, com um total de 338 hectares.

Este aeroporto tem atualmente a maior área de influência do país, ou seja, numa área correspondente a noventa minutos de tempo de deslocação, conseguindo englobar aproximadamente quatro milhões de habitantes. Abrange uma área que inclui toda a região central de Portugal e a região da Galiza, em Espanha, como se pode observar pela Figura 5.3.



**Figura 5.3** Área de influência do Aeroporto Francisco Sá Carneiro (adaptado de ANA, 2007)

A intervenção na infraestrutura do AFSC é um caso de sucesso entre os aeroportos do género devido à sua rápida expansão de rotas e intensa procura de que é alvo, nos últimos vinte anos o volume de passageiros aumentou em média 7,3% ao ano (FEP, 2012), recebendo neste momento perto de onze milhões de passageiros anualmente (ANA, 2017), esperando até 2020 atingir um número superior a onze milhões e trezentos mil passageiros, segundo as perspetivas do plano de diretor do Aeroporto Francisco Sá Carneiro (FEP, 2008).

O AFSC é considerado o aeroporto com maior densidade de tráfego do Noroeste da península ibérica, sendo desde 2008 o aeroporto dominador em termos de passageiros.

Em 2017 ultrapassa pela primeira vez a fasquia dos dez milhões de passageiros anuais, representando 20.8% do processamento de passageiros a nível nacional segundo os dados da ANA-Aeroportos de Portugal, S.A.. A Tabela 5.1 apresenta os resultados do ano 2017 em termos de operações no AFSC.

**Tabela 5.1** Tráfego comercial Aeroporto AFSC ano de 2017 (ANA, 2017)

	Aeroporto AFSC	Total Nacional	Influência a nível nacional (%)
Passageiros (Unid.)	10.787.630	51.802.422	20,8%
Var. % 2017/2016	15,0%	16,5%	-
Movimentos de Aeronaves (Unid.)	85.263	398.344	21,4%
Var. % 2017/2016	10,2%	11,0%	-
Carga (Ton.)	41.425	167.064	24,8%
Var. % 2017/2016	16,9%	21,8%	-
Lugares oferecidos	12.685.260	61.832.980	20,5%
Var. % 2017/2016	13,3%	13,9%	-

É de salientar que o AFSC tem uma procura sazonal, verificando picos de tráfego entre os meses de junho e agosto, bem como durante as festividades da Páscoa e do Natal. Este aspeto deve-se ao facto da região Norte ser uma zona com imensa tendência imigratória, sendo este um fator a ter em conta quando se pensa na otimização das operações no aeroporto.

É importante analisar a ampliação de capacidade e a qualificação da infraestrutura, face ao aumento das suas rotas e resposta face à constante procura, sendo de salientar que é um aeroporto muito utilizado por companhias aéreas de baixo custo, que representam um enorme fator na operação deste mesmo aeroporto e da própria região Norte do País.

Nos últimos anos, o forte investimento realizado em infraestruturas aeroportuárias no AFSC tem sido revelado nos seus resultados, como provam os vários prémios e reconhecimento internacional pela qualidade da infraestrutura. No entanto, apesar de ser relativamente novo e moderno, para que acompanhe a evolução do transporte aéreo, é necessário um constante investimento nas suas infraestruturas, para que se mantenha operacional e atrativo para as companhias e passageiros.

O AFSC pertence a um sistema de transportes aéreos nacionais composto pelos seguintes aeroportos:

- em Portugal Continental – Aeroporto Humberto Delgado, Aeroporto de Beja e pelo Aeroporto de Faro;
- na região Autónoma dos Açores – pelos Aeroportos de Ponta Delgada, Santa Maria Horta e Flores;
- na região Autónoma da Madeira – pelos Aeroportos de Porto Santo e do Funchal.

Todos os aeroportos são geridos por uma Entidade central, a ANA-Aeroportos de Portugal, S.A..

## 5.2 Caraterização da infraestrutura

Em termos de infraestruturas do lado ar o aeroporto possui uma Pista (17-35), caminhos de circulação que interligam todos os componentes do lado ar, o Abrigo de Veículos de Aeroporto (AVA) e o Serviço de Luta Contra Incêndios (SLCI). Todas estas infraestruturas servem o lado terra, composto por um terminal de passageiros, um terminal de carga e um centro de logística de carga aérea, como se pode observar na Figura 5.4

O aeroporto tem uma classificação contra incêndios de Categoria 8 segundo a ICAO e uma capacidade para receber doze milhões de passageiros anualmente, podendo realizar vinte movimentos de aviões por hora.



**Figura 5.4** Componentes do lado terra e lado ar do AFSC (Google, 2018)

Atualmente a Pista 17-35 do AFSC possui um código de referência para aeródromos 4E (Tabela 4.2), tendo capacidade para receber aviões como o *Boeing 777 – 300* (avião com maior extensão da aviação comercial) e o *Boeing 747 – 400* (segundo avião com maior envergadura da aviação comercial). Tem uma disposição espacial de pista única complementada com vários caminhos de circulação, possuindo estes um código de referência para aeródromos que varia entre o código 4E e 4F.

A Pista 17-35 é constituída por um tipo de aproximação à pista de precisão, consoante a direção da mesma esta assume uma categoria diferente. A pista 17 é uma pista de aproximação de precisão de categoria II, no entanto a pista 35 é uma pista de aproximação por precisão de categoria I.

A direção de uma pista define-se consoante a orientação do vento predominante. Na região metropolitana do Porto o vento sopra de Noroeste (NW), podendo ainda soprar de

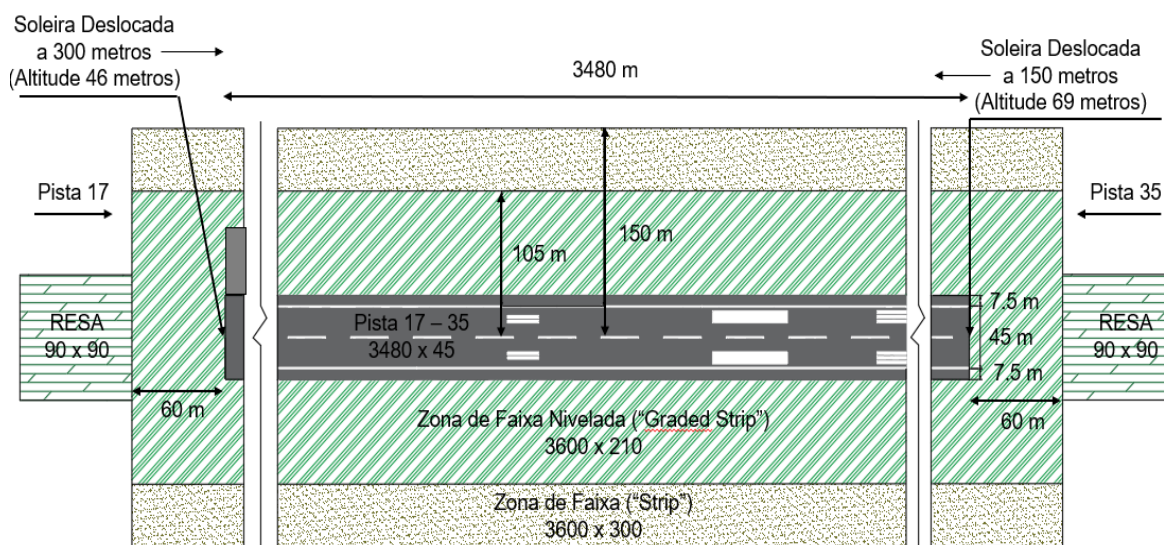
Norte na época mais quente do ano e de Nordeste (NE) ou Sudeste (SE) na época mais fria do ano (Monteiro et al, 2018). Tem uma velocidade média anual entre 20 e 25 km/h, de acordo com os dados da estação meteorológica de referência de Pedras Rubras, Porto. A Tabela 5.2 apresenta cada uma das direções da Pista 17-35 do AFSC.

**Tabela 5.2** Orientação da Pista 17-35 do AFSC (NAV Portugal, 2018)

RWY	Direção	THR
17	172 °	41° 15' 38" N 008° 41' 04" W
35	352 °	41° 14' 02" N 008° 40' 39" W

### 5.2.1 Características geométricas da Pista 17 – 35

A Pista 17 – 35 do AFSC tem um comprimento de 3480 metros e uma largura de 45 metros, tal como é indicado para o código 4E na Tabela 4.2. É composta por uma zona de faixa nivelada com 105 metros e uma zona de faixa de 150 metros. A área de segurança de fim de pista está colocada a 60 metros da extremidade da mesma em ambos os lados e tem tanto de comprimento como de largura 90 metros, como apresentado na Figura 5.5.



**Figura 5.5** Características físicas da Pista 17-35 do AFSC (adaptado de NAV Portugal, 2018)

De ambos os lados da pista é composta por uma soleira deslocada com diferentes extensões (300 metros deslocada na Pista 17 e 150 metros na Pista 35), esta diferença de distância deve-se ao facto de a pista ter inclinação descendente no sentido da Pista 35, levando a que necessite de uma maior distância de aterragem disponível (LDA).

A Tabela 5.3 apresenta as características físicas da Pista 17 – 35, bem como as suas distâncias declaradas.

**Tabela 5.3** Características físicas da Pista 17-35 do AFSC (NAV Portugal, 2018)

RWY	Dimensões			Distâncias Declaradas				
	Comprimento (m)	Largura da pista (m)	Largura da berma (m)	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)	Soleira Deslocada (m)
17	3480	45	7.5	3480	3480	3480	3180	300
35				3480	3480	3480	3330	150

### 5.2.2 Características geométricas dos caminhos de circulação existentes

A Pista 17 – 35 é apoiada por diversos caminhos de circulação, que têm a função de permitir que as aeronaves circulem de maneira rápida e segura entre os diversos elementos do lado ar. A Tabela 5.4 apresenta as características físicas dos caminhos de circulação existentes no AFSC e o código de referência para aeródromos associado a cada caminho.

**Tabela 5.4** Características físicas dos caminhos de circulação existentes (NAV Portugal, 2018)

Caminho de circulação	Código de referência para aeródromos do caminho	Largura (m)	Berma (m)
Nascente (F)	4F	25	17.5
Poente (A)	4E	23	10.5
B	4E	23	10.5
C	4E	23	10.5
D	4E	23	10.5
F	4E	23	10.5
H	4E	23	10.5
J	4E	23	10.5
S (1,2,3,4)	4E	23	-
S5	4F	25	-
T	4E	23	10.5
Y	4E	23	10.5

### 5.3 Apresentação do projeto

O projeto de reformulação apresentado consiste na ampliação do caminho de circulação existente, implementando-se 4 novos traçados aeronáuticos, com as seguintes designações: Caminho de Circulação “F” (CCF), RET, Ligação Norte do RET e Bypass.

A reformulação do projeto tem por base a troca de código de referência aeroportuário de F para E, o que permite uma redução das características físicas do caminho de circulação.

Como descrito no subcapítulo 4.2.4, o código 4F está diretamente ligado com um único avião de grande envergadura, o *Airbus A380*. Analisando as características atuais da infraestrutura percebe-se que este avião não iria aterrar no futuro próximo na pista deste aeroporto, o que conseqüentemente levaria a ter um caminho de características físicas muito maiores que o necessário para a realidade do aeroporto.

Sendo, assim, esta reformulação vem permitir uma redução de ocupação de espaço, levando a um menor consumo de recursos, continuando a permitir que todas as aeronaves que já operavam no aeroporto o continuem a fazer.

A ampliação do caminho de circulação existente e a implementação destes novos traçados vem permitir o aumento da capacidade da infraestrutura aeroportuária passando a Pista 17 – 35 a poder movimentar trinta e dois aviões por hora em vez dos atuais vinte movimentos por hora, possibilitando um aumento tanto na operação de passageiros como de carga aérea, dando continuidade ao desenvolvimento da infraestrutura face às previsões futuras.

Os traçados aeronáuticos foram dimensionados de acordo com as especificações da EASA e com o apoio do Anexo 14 da ICAO, sendo concebidos para o código de referência de aeronaves de classe E. Na Figura 5.6 pode ser observada a situação atual do aeroporto (A) e a situação futura depois de realizada a intervenção preconizada (B).



**Figura 5.6** [A] situação atual, [B] situação futura (SENER - ENGIVIA, 2018)

As soluções apresentadas foram estudadas de modo a viabilizar a manutenção integral do Abrigo de Veículos de Aeroporto (AVA) e do Serviço de Luta Contra Incêndios (SLCI), assim como o melhoramento do traçado da Rua da Fábrica (apresentado na planta do Anexo A, embora não faça parte do presente capítulo), permitindo viabilizar a sua continuidade para

Nascente à saída do Túnel, conforme preconizado no Plano Diretor do AFSC, para compatibilização com a rede viária do Concelho da Maia.

Para a implantação dos diversos traçados do lado Ar, foi considerado como ponto de partida, a linha de eixo da pista, definida pelas Marcas de Bronze, nomeadamente, coordenadas do Topo 17 (M=-46270.224, P=177270.884) e Topo 35 (M=-45615.761, P=173849.940), que se encontram representadas nas peças desenhadas no Anexo A.

Por último foram também garantidas a distâncias mínimas de separação entre as linhas centrais dos diversos traçados aeronáuticos, de modo a que a circulação das aeronaves não possa causar riscos para a assistência em terra.

#### **5.4 Geometria de traçado**

No presente subcapítulo caracteriza-se a Geometria de Traçado em fase de Projeto de Execução da Ampliação do Caminho de Circulação “F” do Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Os parâmetros geométricos têm uma relação direta com a dimensão da aeronave de referência para o aeroporto, a zona onde está situado e todas as suas condicionantes, de forma a que as operações se realizem de forma cómoda e segura, tanto para a aeronave, como para todos os intervenientes.

Como elementos de base no desenvolvimento do projeto, são apresentados na planta todas diretrizes referentes ao projeto, respetivos perfis longitudinais, perfis transversais tipo e perfis transversais característicos, dimensionados com recurso às normas apresentadas no Capítulo 4.

De forma a garantir as distâncias mínimas de separação entre as linhas de eixo dos diferentes traçados e o cumprimento das normas geométricas de traçado correspondente à aeronave de referência escolhida, o projeto em estudo incide nos principais aspetos:

- Adaptação das quatro diretrizes à envolvente, à pista e à área disponível face às condicionantes presentes na norma;
- Estudo das quatro rasantes, de modo a cumprir as inclinações longitudinais e desenvolvimento das curvas recomendadas na norma, face à compatibilização com a pista existente;
- Estudo das curvas relativos aos quatro traçados de forma a verificar a necessidade de sobrelargura face às características da aeronave de referência.

Num projeto deste tipo, com todas as condicionantes e restrições impostas pelas Entidades reguladoras da área, torna-se de extrema importância realizar uma análise minuciosa a todas as características do meio envolvente, bem como às áreas disponíveis para implantação da infraestrutura a quando da realização da geometria de traçado, a fim de se apresentar a solução mais adequada.

No contexto do presente estudo, efetuou-se a análise das seguintes vertentes para cada um dos quatro novos traçados:

- Aeronave de referência;
- Perfil transversal tipo;
- Diretriz;
- Rasante;
- Perfis transversais característicos.

Os elementos que caracterizam cada um destes aspectos, deverão ser o resultado do estudo das diversas condicionantes, as quais deverão respeitar as características geométricas mínimas apresentadas no subcapítulo 4.2.7, resultando o estudo efetuado nos seguintes elementos de projeto apresentados no Anexo A:

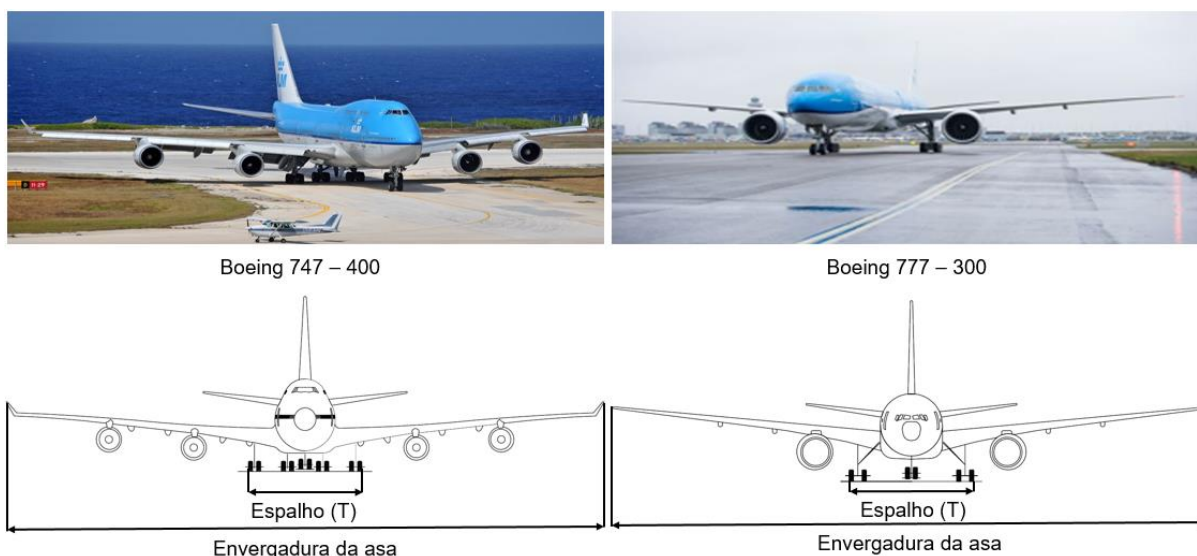
- Traçado em planta
- Traçado em perfil longitudinal
- Perfil transversal tipo
- Perfis transversais característicos.

#### **5.4.1 Aeronaves de referência**

Como referido no subcapítulo 4.2.4, a escolha da aeronave de referência para o projeto do traçado de uma determinada pista é um aspecto fundamental, pois influencia todas as opções tomadas no estudo do traçado, uma vez que as Normas da área estão diretamente ligadas com as dimensões da aeronave.

Tendo em conta os objetivos para o futuro das operações no AFSC o e mais concretamente os novos traçados a projetar, escolheu-se dentro das aeronaves de Código E a maior largura de trem para o cálculo da faixa e o maior número de motores para cálculo das bermas, tendo os novos traçados como referência as seguintes aeronaves, como se representa na Figura 5.7.

- Boeing B747-400 (B744 do código da ICAO), para as bermas;
- Boeing B777-300 (B773 do código ICAO), para a pista.



**Figura 5.7** Aeronaves de referência (Boeing, 2017)

A Tabela 5.5 apresenta algumas das características físicas operacionais das aeronaves de referência selecionadas para a realização do projeto em estudo.

**Tabela 5.5** Características das aeronaves de referência do projeto (ANA, 2017)

Requisitos	Aeronaves	
	Boeing747 – 400	Boeing777 – 300
Código de Referência	4E	4E
Comprimento básico de pista de aeronave (m)	3048	3140
Velocidade de aproximação (1.3 x Vestol) (Figura 4.28)	157	149
Envergadura da asa (m)	64.9	60.9
Espalho (T) (m)	12.6	12.9
Distância entre eixos (“wheel base”) (m)	25.6	31.2
Comprimento de referência da aeronave (d) (m)	27.9	32.3
Comprimento da Aeronave (m)	70.7	73.9

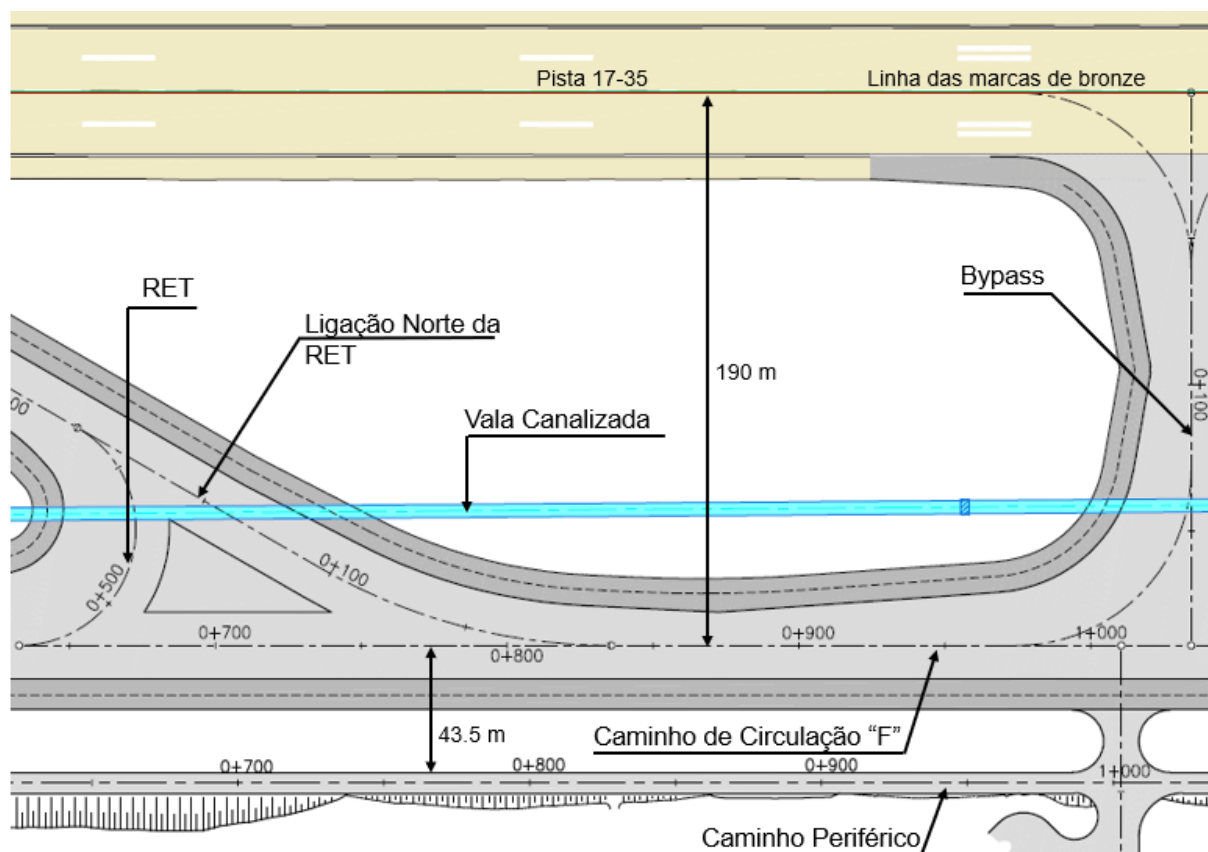
### 5.4.2 Perfil transversal Tipo

O perfil transversal tipo dos quatro novos traçados aeronáuticos é composto de uma forma genérica, por uma faixa de rodagem e uma berma em cada uma das suas extremidades, perfazendo uma largura total de 44 metros. As larguras tipo de projeto foram selecionadas recorrendo à Tabela 4.9 apresentada no Capítulo 4 deste documento, adaptada das recomendações fornecidas pela ICAO, tendo sido adotados os seguintes valores:

- Faixa de rodagem: 23 metros;
- Berma: 10.5 metros.



Seguindo a mesma tabela e partindo da linha de eixo do novo caminho de circulação, foi definido a 47 metros de distância a linha de eixo do novo Caminho Periférico (CP) para veículos terrestres de apoio às pistas (traçado rodoviário apresentado na folha AFSC\_PL\_002 do Anexo A). A Figura 5.9 apresenta a distância do eixo do caminho de circulação em relação aos dois eixos dos traçados mais próximos.



**Figura 5.9** Distâncias entre os eixos do CCF, pista e CP (SENER - ENGVIA, 2018)

➤ **Diretriz**

Planimetricamente o traçado foi orientado de Sul para Norte, com origem na zona junto à interseção com o caminho periférico, terminando ao quilómetro 2+565 da Pista 17-35 do aeroporto. A diretriz pode ser observada na Figura 5.10.

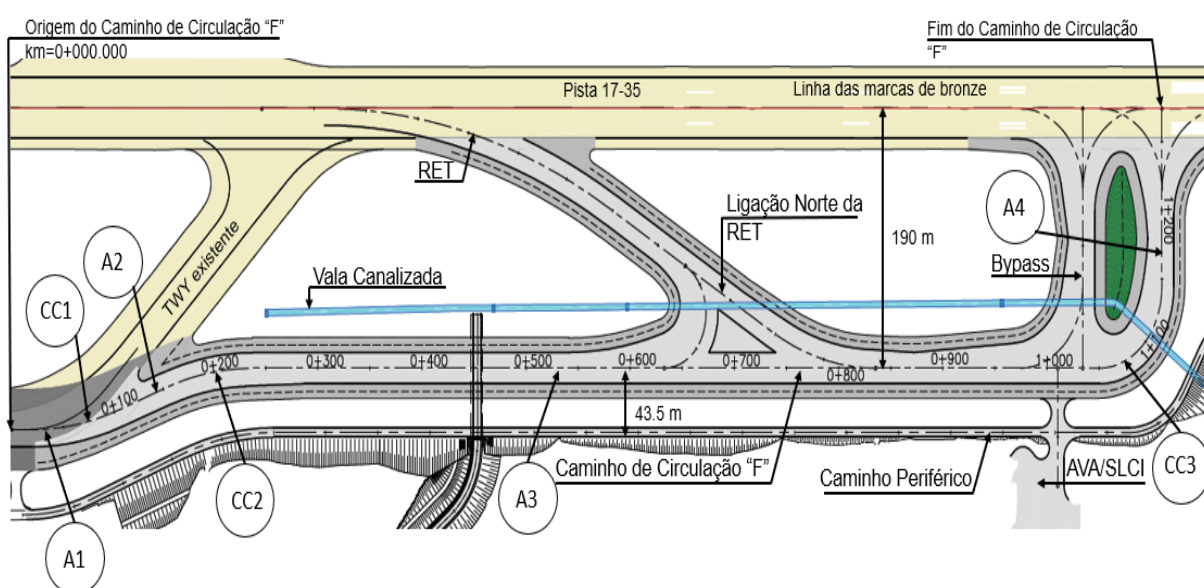
A diretriz deste novo traçado é composta por quatro alinhamentos retos articulados por três curvas, com as seguintes características:

- Alinhamento 1 (A1) – L=19.98 metros;
- Curva Circular 1 (CC1) – R=-250 metros e D=86.547 metros;
- Alinhamento 2 (A2) – L=45.112 metros;
- Curva Circular 2 (CC2) – R=250 metros e D=86.572 metros;
- Alinhamento 3 (A3) – L=813.102 metros;

- Curva Circular 3 (CC3) –  $R=60$  metros e  $D=94.246$  metros;
- Alinhamento 4 (A4) –  $L=129.456$  metros.

Os valores dos raios das curvas circulares estão diretamente relacionados com a velocidade da aeronave e a sua capacidade de manobra na pista, sendo que estes foram selecionados recorrendo às normas da ICAO e à Tabela 4.12 apresentada no Capítulo 4 do presente documento e que foi adaptada das mesmas.

A Figura 5.10 apresenta a localização planimétrica destes sete elementos, na folha AFSC\_PL\_002 do Anexo A é apresentado a planta do projeto de execução, com a referida diretriz e no Anexo B os respetivos cálculos.



**Figura 5.10** Diretriz do Novo Caminho de Circulação "F" (SENER - ENGIVIA, 2018)

### ➤ Perfil longitudinal

O traçado em perfil longitudinal foi projetado com o objetivo de ao longo do traçado se respeitar as regras de visibilidade da aeronave, apresentando inclinações entre 0.4 % e 1.5 %, de modo a cumprir as normas referidas no subcapítulo 4.2.7. A rasante compreende seis trainéis e cinco curvas verticais, cujos valores dos raios respeitam os máximos preconizados pela norma da ICAO, que se discriminam seguidamente:

- Curva Vertical 1 – côncava de raio 5000 metros;
- Curva Vertical 2 – convexa de raio 5000 metros;
- Curva Vertical 3 – côncava de raio 10000 metros;
- Curva Vertical 4 – côncava de raio 5000 metros;
- Curva Vertical 5 – côncava de raio 3000 metros.

O traçado em perfil longitudinal varia entre uma cota mínima de 48.840 metros, cerca do quilómetro 1+197, e uma cota máxima de 61.00 metros no início do traçado, sendo a sua constituição apresentada nas folhas AFSC\_PF\_CCF1\_003 e 004 do Anexo A e a respetiva tabela de cálculo no Anexo B.

➤ **Perfis transversais**

A largura definida para a faixa de rodagem do caminho de circulação foi de 23 metros, sendo esta adicionada do valor da sobrelargura nas curvas de modo a cumprir a distância mínima entre o trem de aterragem principal da aeronave crítica e a extremidade da pista referida na Tabela 4.7 apresentada no Capítulo 4 do presente documento e que foi adaptada das normas da ICAO, sendo neste caso necessário respeitar a distância de 4,5 metros referente ao Código E da aeronave crítica de projeto para a faixa o *Boeing 777-300* (B773 do ICAO).

Para as bermas foi adotado o mesmo critério, mas desta vez utilizando para o cálculo da sobrelargura a aeronave crítica de Código E, o *Boeing 747-400* (B744 do ICAO), garantindo assim que o limite exterior dos motores não ultrapasse a extremidade da berma.

A variação da sobrelargura é apresentada pormenorizadamente nos perfis transversais.

Refere-se ainda que as inclinações transversais ao longo do caminho de circulação respeitam o definido no subcapítulo 5.4.2 para o perfil transversal tipo, com exceção de algumas situações onde foi necessário garantir a compatibilização de algumas cotas.

Os perfis transversais são apresentados com uma equidistância de 25 metros, nas folhas AFSC\_PTCC\_010 a 023 do Anexo A.

#### **5.4.4 RET**

O Caminho de Circulação de saída rápida (RET) foi projetado de maneira a permitir a ligação entre a Pista 17-35 e o novo Caminho de Circulação “F”, possibilitando uma saída rápida as aeronaves da pista, otimizando assim a operação dos movimentos na pista.

A sua localização foi definida de forma a cumprir as exigências mínimas em relação à localização da curva de saída e à distância de segurança entre a Pista 17-35 e o Caminho de Circulação “F” para o avião crítico, para o qual este caminho foi definido, a fim de cumprir as normas estabelecidas pela ICAO. A localização exata do início do RET foi definida através de estudos de viabilidade realizados pela ANA Aeroportos de Portugal, S.A., tendo em conta o pretendido para a disposição dos novos traçados do AFSC.

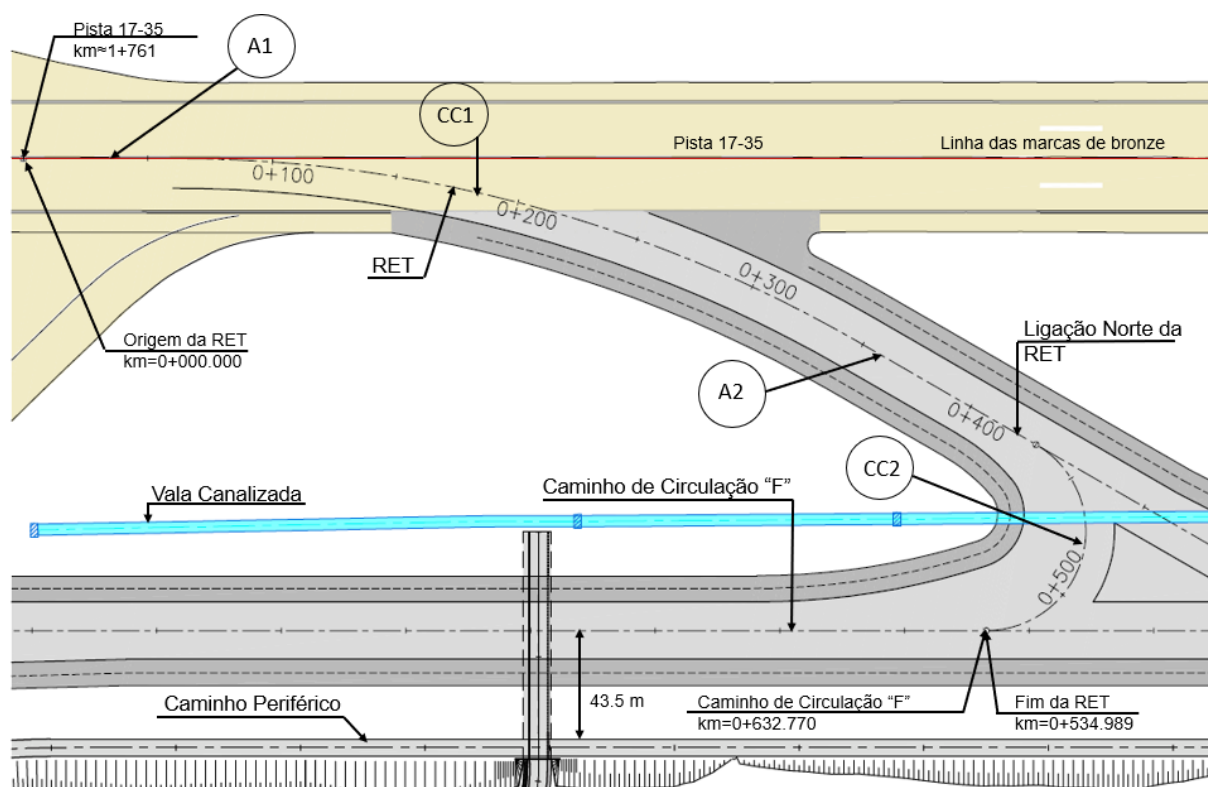
### ➤ Diretriz

Planimetricamente, o traçado contempla uma extensão de 535 metros, com início aproximadamente ao quilómetro 1+761 da Pista 17-35 e términos ao quilómetro 0+632 do Caminho de Circulação “F”.

É composto por dois alinhamentos retos articulados por duas curvas, respeitando o definido nas normas aeronáuticas referidas no Subcapítulo 4.2.7, com as seguintes características:

- Alinhamento 1 (A1) – L=60 metros;
- Curva Circular 1 (CC1) – R=550 metros e D=287.961 metros
- Alinhamento 2 (A2) – L=82.308 metros
- Curva Circular 2 (CC2) – R=40 metros e D=104.720 metros.

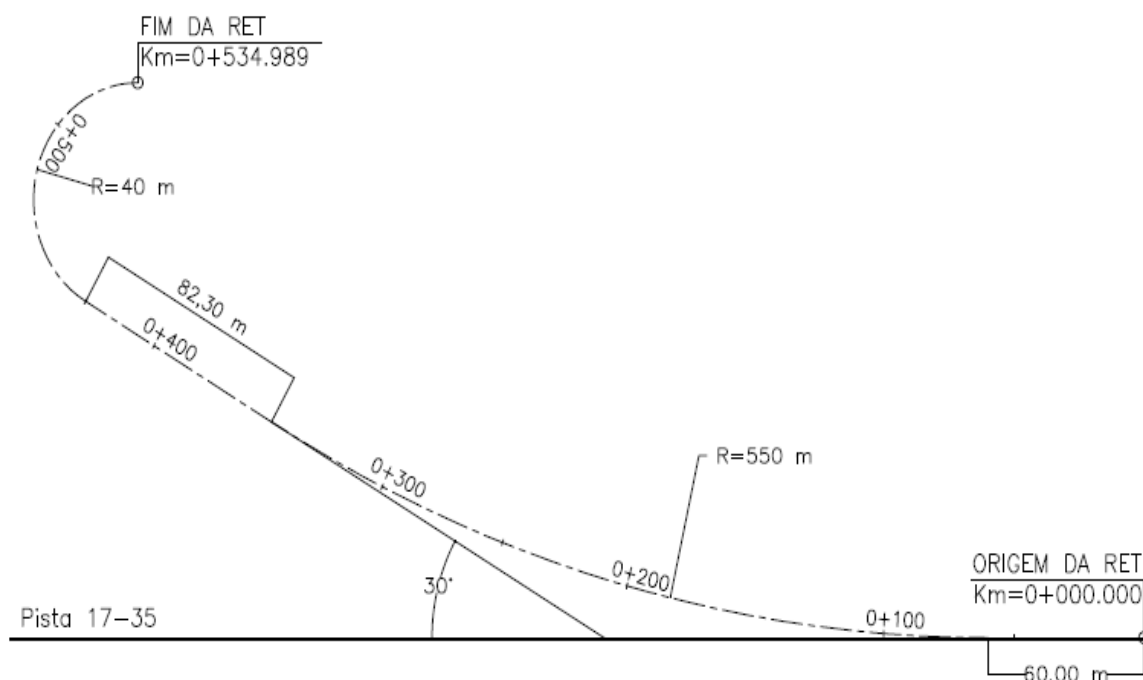
A Figura 5.11 apresenta a localização planimétrica dos elementos da diretriz, na folha AFSC\_PL\_002 do Anexo A é apresentado a planta do projeto de execução e no Anexo B os respectivos cálculos.



**Figura 5.11** Localização Planimétrica da Diretriz do RET (SENER - ENGIVIA, 2018)

Para o dimensionamento da diretriz à saída da Pista 17-35, foi necessário contemplar uma curva de saída com 550 metros, seguida de uma reta, para que seja possível a aeronave parar completamente antes da interseção com o Caminho de Circulação. Foi também

considerado um ângulo de interseção de  $30^\circ$  entre o RET e a Pista 17-35, a Figura 5.12 apresenta a diretriz do RET.



**Figura 5.12** Pormenor da Diretriz do RET (SENER-ENGIVIA, 2018)

### ➤ **Perfil longitudinal**

O traçado em perfil longitudinal foi projetado de forma a conjugar a altimetria da Pista 17 –35 e o novo Caminho de Circulação “F”, com o objetivo de ao longo do traçado se respeitar as regras de visibilidade da aeronave, apresentando inclinações entre 0.8 % e 1.5 %, de modo a respeitar as normas referidas no subcapítulo 4.2.7. Assim, a rasante é composta por quatro trainéis e três curvas verticais, cujos valores dos raios respeitam os máximos preconizados pela norma da ICAO, que se discriminam seguidamente:

- Curva Vertical 1 – convexa de raio 10000 metros;
- Curva Vertical 2 – convexa de raio 10000 metros;
- Curva Vertical 3 – côncava de raio 3000 metros.

O traçado em perfil longitudinal varia entre cota mínima de 52.003 metros, cerca do quilómetros 0+447.530, e uma cota máxima de 56.600 metros no início do traçado, sendo a sua constituição apresentada na folha AFSC\_PF\_RET\_005 do Anexo A e a respetiva tabela de cálculo no Anexo B.

➤ **Perfis transversais**

A largura da faixa de rodagem do RET é de 23.5 metros (superior ao apresentado no perfil transversal tipo), esta largura deve-se à adição de mais 0.5 metros de largura do lado direito de forma a facilitar o movimento da aeronave na saída da pista.

Nas curvas adicionou-se uma sobrelargura, de modo a cumprir a distância mínima entre o trem de aterragem principal da aeronave crítica e a extremidade da pista referida na Tabela 4.7 apresentada no Capítulo 4 do presente documento e que foi adaptada das normas da ICAO, tal como referido para o caminho de circulação. Neste caso, a curva de raio 40 metros, é onde se verifica maior valor adotado.

Para as bermas foi adotado o mesmo critério, mas desta vez utilizando para o cálculo da sobrelargura a aeronave crítica de Código E, o *Boeing 747-400* (B744 do ICAO), garantindo assim que o limite exterior dos motores não ultrapasse a extremidade da berma.

Refere-se ainda que as inclinações transversais ao longo do RET respeitam o definido no subcapítulo 5.4.2 para o perfil transversal tipo com exceção de algumas situações onde foi necessário garantir a compatibilização de algumas cotas.

Os perfis transversais são apresentados com uma equidistância de 25 metros, nas folhas AFSC\_PTRET\_024 e 025 do Anexo A.

#### **5.4.5 Ligação Norte da RET**

O traçado Ligação Norte da RET foi projetado com o objetivo de permitir mais um movimento de saída da pista para as aeronaves, vindo a possibilitar a circulação de aeronaves no sentido Pista 17-35 – RET Norte.

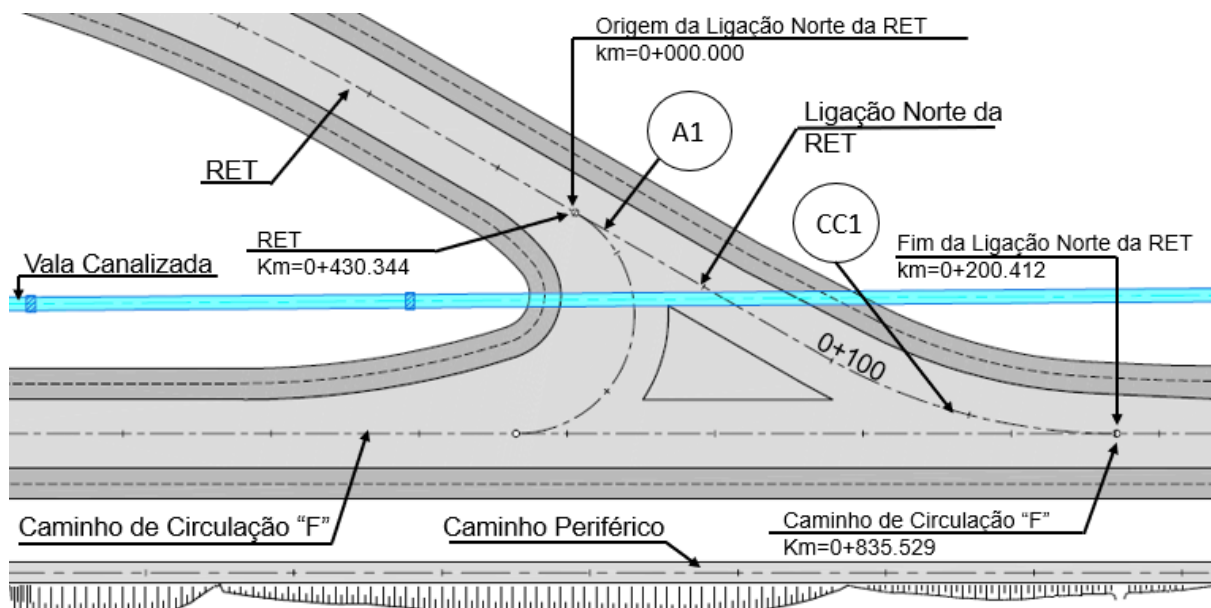
➤ **Diretriz**

Planimetricamente este é um traçado simples, composto apenas por um alinhamento reto e uma curva circular, com as seguintes características:

- Alinhamento 1 (A1) – L=95.692 metros;
- Curva Circular 1 (CC1) – R=200 metros e D=104.720 metros.

O traçado contempla uma extensão de 200,412 metros e tem a sua origem ao quilómetro 0+430.344 da RET, terminando ao quilómetro 0+835.529 do novo Caminho de Circulação “F”, sendo a sua geometria compatível com o recomendado nas normas da ICAO

para as aeronaves críticas de projeto, Código E. A Figura 5.13 apresenta a diretriz da Ligação Norte da RET.



**Figura 5.13** Diretriz da Ligação Norte da RET (SENER - ENGVIA, 2018)

➤ **Perfil longitudinal**

O traçado em perfil longitudinal foi projetado de forma a conjugar a altimetria da RET e do novo Caminho de Circulação “F”, apresentando uma inclinação de 1.4 % no seu único trainel e duas curvas verticais, com as seguintes características:

- Curva Vertical 1 – convexa de raio 3000 metros;
- Curva Vertical 2 – côncava de raio 3000 metros.

O traçado em perfil longitudinal varia entre a cota mínima de 51.179 metros, cerca do quilómetro 0+200.412, e a cota máxima de 52.221 metros ao quilómetro 0+054.278, sendo a sua constituição apresentada na folha AFSC\_PF\_LNRET\_006 do Anexo A e a respetiva tabela de cálculo no Anexo B.

➤ **Perfis transversais**

Os perfis transversais adotados para este traçado seguem o definido para o perfil transversal tipo de projeto, sofrendo algumas adaptações quando é necessário adotar sobrelargura para garantia de movimento em segurança das aeronaves críticas.

As inclinações transversais ao longo da Ligação Norte da RET respeita o definido no subcapítulo 5.4.2 para o perfil transversal tipo com exceção de algumas situações onde foi necessário garantir a compatibilização de algumas cotas.

Os perfis transversais são apresentados com uma equidistância de 25 metros na folha AFSC\_PTLNRET\_026 do Anexo A.

#### 5.4.6 Bypass

Paralelamente, a 76 metros da linha de eixo do último alinhamento reto do Caminho de Circulação “F”, foi projetado o eixo de um Bypass localizado perpendicularmente à linha definida pelas marcas de bronze e ao novo caminho de circulação, tendo sido concebido de maneira a acomodar as duas aeronaves de referência de projeto.

##### ➤ Diretriz

Planimetricamente, este traçado é composto por um único alinhamento reto, com uma extensão de 189.457 metros. Inicia-se aproximadamente ao quilómetro 2+549 da Pista 17-35 e termina ao quilómetro 1+034 do Caminho de Circulação “F”.

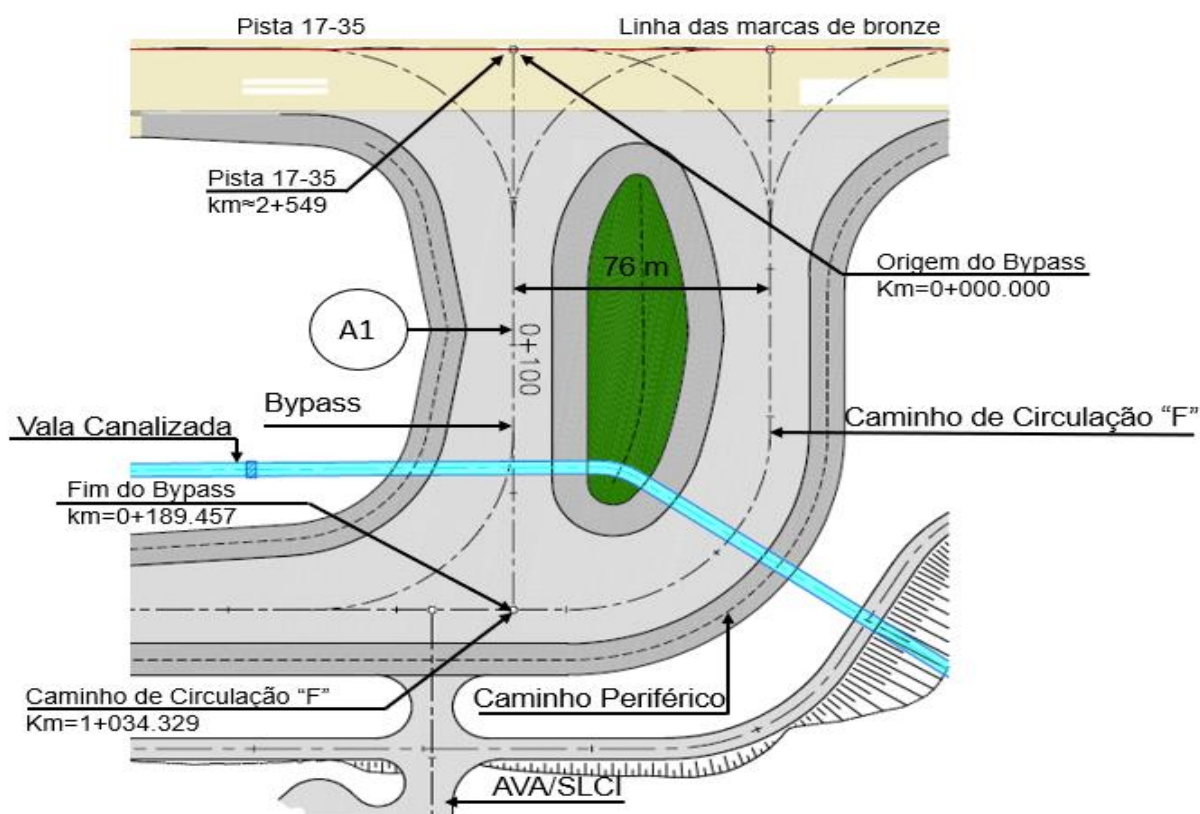


Figura 5.14 Diretriz do Bypass (SENER - ENGVIA, 2018)

##### ➤ Perfil longitudinal

O traçado em perfil longitudinal é resultado da conjugação altimétrica da Pista 17–35 e do novo Caminho de Circulação “F”. Tem a cota mínima de 48.805 metros, cerca do quilómetro 0+123.108 e a cota máxima de 50.230 metros na origem, apresentando dois

trainéis com inclinação de 1.4 % e 1.5 %, e uma curva vertical côncava de raio igual a 3000 metros. A rasante pode ser observada na folha AFSC\_PF\_BP\_007 do Anexo A e a respetiva tabela de cálculo no Anexo B.

➤ **Perfis transversais**

Os perfis transversais adotados para este traçado seguem o definido para o perfil transversal tipo de projeto, sofrendo algumas adaptações quando é necessário adotar sobrelargura para garantia de movimento em segurança das aeronaves críticas.

As inclinações transversais ao longo do Bypass respeita o definido no subcapítulo 5.4.2 para o perfil transversal tipo, com exceção de algumas situações onde foi necessário garantir a compatibilização de algumas cotas.

Os perfis transversais são apresentados com uma equidistância de 25 metros na folha AFSC\_PTBP\_027 do Anexo A.

#### **5.4.7 Cálculo das sobrelarguras**

Os cálculos das sobrelarguras para os quatro traçados anteriormente descritos foram realizados, recorrendo a um programa de cálculo automático, denominado “*Path Planner – para circulação de aeronaves*”.

O cálculo realizado por este programa assenta na elaboração de vários testes aos movimentos que a aeronave pretendida efetua na pista durante as suas diversas operações. Entre outros aspetos, o programa marca o percurso do trem dianteiro de aterragem e dos motores da aeronave.

O programa ao realizar estes movimentos calcula os locais por onde estes elementos da aeronave passam, permitindo dimensionar a sobrelargura que garanta que as recomendações das normas.

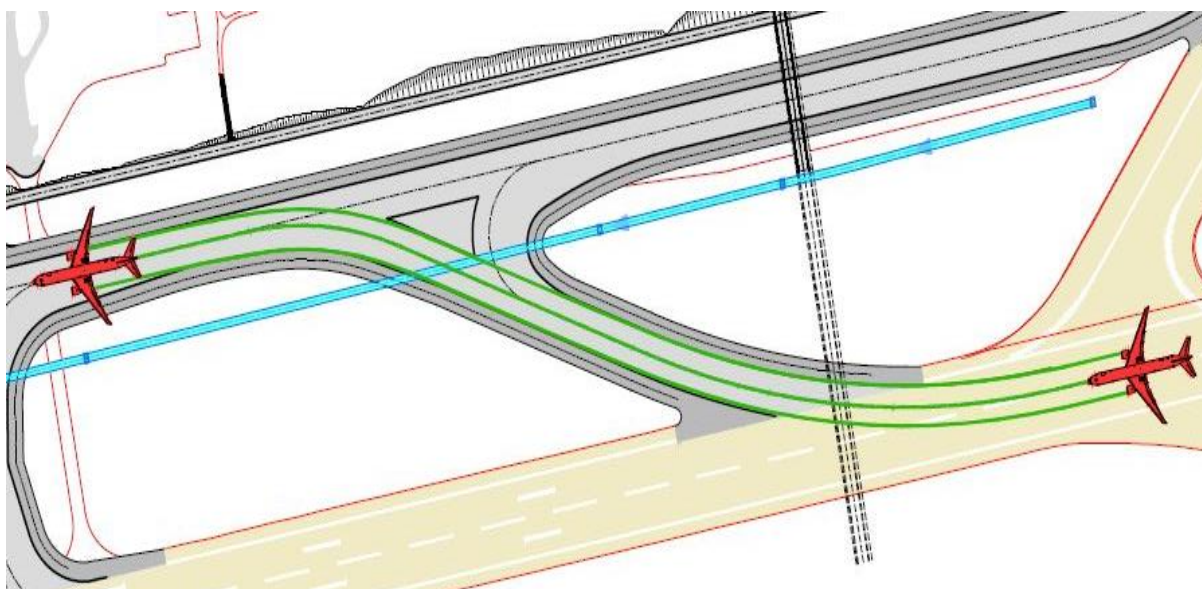
Assim o dimensionamento da faixa de rodagem baseia-se nos raios de viragem dos trens de aterragem da aeronave, estando diretamente ligado à distância entre trens dianteiro e traseiro e o espalho do avião (“*Wheel Span*”).

Os trens dos aviões formam um triângulo e quanto maior o triângulo maior a sua área de ocupação, assim como quanto maior o espalho do avião (“*Wheel Span*”) maior a ocupação em curva, devido à trajetória realizada pelo avião e ao seu desvio do eixo da pista. Quanto maior for a distância entre trem dianteiro e traseiro, menor será o raio de viragem da aeronave.

O teste aos traçados baseou-se nas aeronaves de referência (subcapítulo 5.4.1), sendo o *Boeing 777-300* (Figura 5.7) usado para o estudo da faixa de rodagem, uma vez que a aeronave apresenta a maior distância de eixo traseiro no grupo E do código de referência, ou seja, a mais condicionante para esta zona da pista.

O objetivo deste teste prende-se com a necessidade de não deixar que a distância entre a roda exterior do trem traseiro e a extremidade da pista seja menor que 4.5 metros, como o indicado na Tabela 4.7 apresentada no Capítulo 4 do presente documento e que foi adaptada das normas da ICAO.

As faixas onde o trem da aeronave circula estão revestidos com pavimentos resistentes, não devendo nenhum destes pisar a zona de berma, dado que o seu pavimento tem menor resistência, servindo apenas como zona de transição para o terreno adjacente e para eventuais saídas acidentais de pista. Na Figura 5.15 é possível observar o movimento de saída da aeronave da Pista 17-35 para o RET, onde a linha central identifica o percurso realizado pelo trem dianteiro da aeronave e as duas linhas exteriores o trajeto dos motores, demonstrando que a distância mínima de 4,5 metros entre a extremidade da pista e o do trem de aterragem é respeitada (dado o comprimento entre a parte exterior do trem e a parte exterior do motor ser superior a 4,5 metros).



**Figura 5.15** Movimento de saída da Pista 17-35 do Boeing 777-300 para o RET  
(SENER - ENGIVIA, 2018)

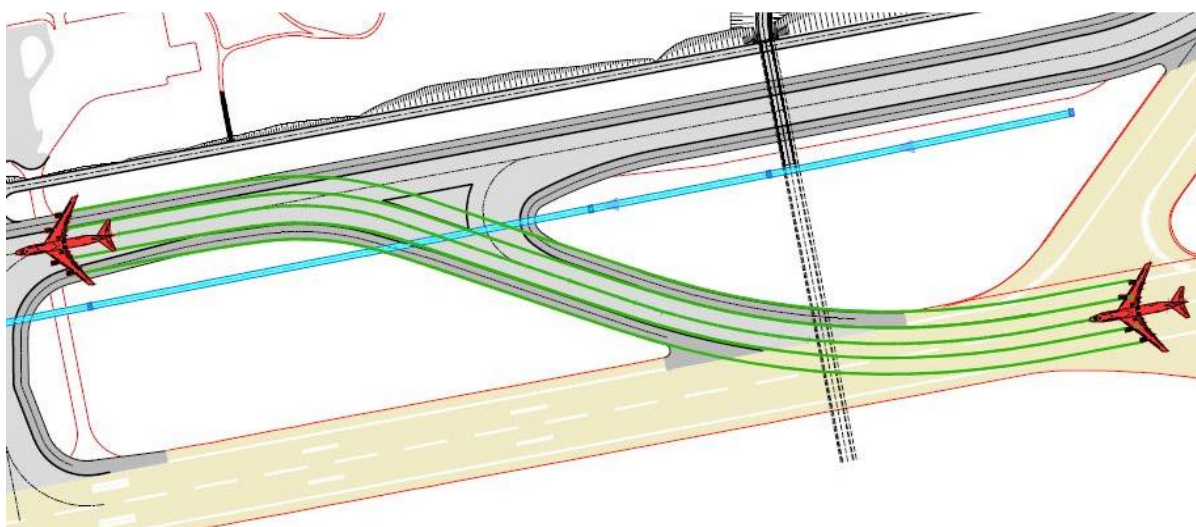
Para o cálculo da sobrelargura nas bermas optou-se por escolher um avião com mais motores e conseqüentemente mais ocupação lateral, o *Boeing 747-400* (Figura 5.7), o avião mais condicionante dentro do código de referência E.

Como já referido anteriormente, as bermas foram concebidas para fazer a transição da pista para a zona tratada do terreno envolvente e prevenir eventuais despistes, sendo projetada com um pavimento muito menos resistente que a faixa de rodagem da pista.

Estas têm como principal função evitar que haja algum tipo de objeto no caminho dos motores durante a circulação da aeronave na pista. Os motores nesta zona circulam perto do chão, logo não pode haver qualquer tipo de objeto que possa ser projetado pelo funcionamento dos motores e danificar tanto aeronaves como outros intervenientes nas operações de pista.

Dados estes fatores, à largura de berma foi adicionada uma sobrelargura nos locais em que durante a operação da aeronave os seus motores pudessem transpor o seu limite. Utilizando o mesmo programa, foram localizadas as zonas onde se devia colocar a mesma.

A Figura 5.16, apresenta o movimento de saída da Pista 17-35 para o RET da aeronave crítica de referência para as bermas, o *Boeing 747-400*. Observando o movimento realizado pelos componentes da aeronave, as duas linhas exteriores referem-se ao percurso da aeronave, correspondente à zona mínima onde deve ser projetada a extremidade da berma.



**Figura 5.16** Movimento de saída da Pista 17-35 do Boeing 747-400 para o RET  
(SENER - ENGIVIA, 2018)

Na folha AFSC\_MOVB777\_28 (Boeing 777) e folha AFSC\_MOVB747\_29 (Boeing 747) do Anexo A é possível observar todos os movimentos estudados para as duas aeronaves de referência, utilizando o programa de cálculo usado pela ANA-Aeroportos de Portugal, S.A..

## 6 CONCLUSÃO

Este capítulo pretende sintetizar o estudo realizado durante a elaboração do trabalho, bem como o período de estágio na empresa SENER-ENGIVIA, estágio esse que possibilitou a abordagem do tema estudado no presente documento, bem como o contato real com um projeto da área das infraestruturas aeroportuárias que resultou no Caso de Estudo que suporta o Trabalho Final de Mestrado, sendo apresentadas as principais conclusões.

### 6.1 Síntese do trabalho

O presente Trabalho Final de Mestrado é constituído e suportado por dois principais capítulos:

Capítulo 4, “Critérios geométricos no dimensionamento Aeroportuário” – dedicado aos principais critérios de dimensionamento de uma pista aeroportuária, são referidas as normas e recomendações a seguir na realização de um projeto deste tipo, sendo a base que suporta o Caso de Estudo apresentado no Capítulo 5.

Capítulo 5, “Caso de Estudo: Ampliação do Caminho de Circulação “F” do Aeroporto Francisco Sá Carneiro” – apresenta o projeto de Ampliação do Caminho de Circulação “F” do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, no qual foi possível colaborar durante o estágio. É neste capítulo que se interliga a parte teórica referida no Capítulo 4 com a realidade de um projeto aeroportuário, percorrendo as recomendações e normas até se obter o perfil transversal tipo, a planta e o perfil longitudinal de novos quatro traçados aeronáuticos.

### 6.2 Principais conclusões

No que se refere à realização de um projeto deste tipo, é possível ao longo do presente documento compreender como se aplicam as normas e metodologias no dimensionamento de uma infraestrutura aeroportuária, podendo se concluir que estas são de tal forma restringidas pela norma, não existindo grande oportunidade de se distanciar do que nela é referido.

Face a estas restrições a construção de uma pista aeroportuária necessita de um planeamento muito pormenorizado, pois associado ao seu projeto estão ligados inúmeros fatores que podem tornar a construção da mesma impossível face às normas, sendo a escolha da localização da pista um fator de preponderância no restante processo de dimensionamento, dado a influência que os ventos, as condições atmosféricas e a altitude têm sobre a operação de uma aeronave. Outro fator preponderante é a escolha da aeronave

de referência que determina e condiciona grande parte das opções tomadas ao longo de um projeto deste tipo.

Tal como no passado, os projetos de infraestruturas deste tipo continuarão a estar associados à evolução das aeronaves, sendo que as normas geométricas sofrerão alterações face às características das aeronaves futuras. A última grande alteração foi observada a quando do lançamento do *Airbus A380*, uma aeronave de características tão distintas que tornou a maior parte dos aeroportos desatualizados face ao futuro, sendo criado um novo código de referência devido à mesma.

Assim sendo, cabe às autoridades aeronáuticas internacionais, bem como às nacionais, em conjunto com os grandes fabricantes de aeronaves definir para onde o futuro deste meio de transporte e suas infraestruturas se dirige, estabelecendo objetivos conjuntos para que a evolução de um impulsiona a evolução do outro.

O trabalho permitiu reunir os principais critérios e métodos aplicados na elaboração de projetos de pistas e caminhos de circulação aeroportuários, tendo se verificado a existência de uma lacuna na documentação técnica destas matérias em Portugal.

A falta de um documento que reúna todas as normas em português, torna a pesquisa sobre o tema mais complexa e morosa, pois a informação existente é de difícil acesso, e mesmo os poucos documentos normativos existentes em português, em grande parte, remetem para as normas internacionais, dificultando o respetivo estudo e análise, dado o elevado número de terminologias específicas aeronáuticas que ao serem traduzidas podem suscitar diferentes interpretações.

Outro aspeto a realçar e que reforça a necessidade da existência de um manual que unifique e defina uma metodologia e critérios a utilizar no dimensionamento aeroportuário em português é a forma dispersa como é encontrada a informação, causando dificuldade e incerteza na aplicação das normas, obrigando muitas vezes a recorrer ao normativo internacional. É possível encontrar em documentos distintos, por exemplo, distâncias diferentes sem se conseguir perceber qual é o valor mais adequado a utilizar ou qual a razão de um ser mais conservativo relativamente a outro.

A elaboração deste manual tornaria este processo muito mais consistente, com uniformidade de critérios no dimensionamento de pistas e caminhos de circulação, para além de o tornar mais intuitivo e fácil de aplicar, permitindo a existência de um documento único que definisse todos os parâmetros necessários, desde o início da conceção até à fase final do projeto de uma pista. Mesmo recorrendo à adaptação das normas internacionais, a

existência de um documento normativo português facilitaria em muito a interpretação e aplicação em projetos desta natureza no nosso país.

O presente trabalho tem a finalidade de contribuir para esse objetivo, podendo mesmo ser o primeiro passo para a elaboração de um manual em português sobre as metodologias aplicadas nesta área, adaptando as recomendações fornecidas pela ICAO (ICAO, 2016).

O caso de estudo possibilitou a aplicação das normas e metodologias que se utilizam na obtenção do traçado final de uma pista aeroportuária a uma situação real, tendo sido possível realizar as várias etapas necessárias ao desenvolvimento de um projeto de um caminho de circulação.

A reformulação do projeto do Caminho de Circulação F do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, com a alteração do seu código de referência aeroportuária de F para E, impossibilita que este caminho venha a ser utilizado pelo Airbus A380, no entanto, o pressuposto inicial do projeto manteve-se, com o aumento do número de movimentos de aeronaves de vinte para trinta e dois por hora.

O facto deste caminho não ser projetado para o Airbus A380, não condiciona o futuro do aeroporto, face ao número de passageiros que esta aeronave poderia trazer. Atualmente o aeroporto possui uma pista com uma largura de 45 metros, o que impossibilita que este avião venha a aterrar num futuro próximo no AFSC, sem que a sua pista seja aumentada para 60 metros e as restantes infraestruturas sofram as devidas adaptações.

A alteração de código 4F para 4E é sem dúvida uma boa opção para o aeroporto, pois este caminho adequa-se com a realidade da pista do aeroporto e permite que todos os aviões que já aterram no AFSC, circulem nele, permitindo com esta reformulação encurtar o espaço ocupado pelo caminho, levando a que se poupe recursos para outros investimentos e mesmo assim, aumentar o número de passageiros que este aeroporto pode suportar, atingindo os objetivos estabelecidos para a infraestrutura.

Por outro lado, analisando a disposição de caminhos de circulação adotada e observando o espaço existente na envolvente da pista, verifica-se que caso haja necessidade de futuras ampliações (tendo em consideração as distâncias mínimas exigidas pela norma) não existe muito espaço na sua envolvente, o que levaria a que a próxima ampliação fosse realizada do lado poente junto ao Caminho de Circulação Poente, visto ser a única zona onde ainda é possível realizar uma nova ampliação.

Uma nova intervenção no lado nascente, poderia levar à demolição da parte final do novo Caminho de Circulação Nascente, dada a impossibilidade de substituir o Bypass por um RET sem necessidade de intervenção no mesmo, o que iria conduzir a que a área onde se encontra o Bypass e o final do caminho de circulação sofresse grandes alterações de modo a viabilizar a ampliação do mesmo.

Concluindo-se, assim, que um projeto desta natureza requer inúmeros estudos de viabilidade para que seja possível estudar e planear as diferentes perspetivas de evolução da infraestrutura, de modo a não hipotecar o futuro da mesma, quer em número de operações quer economicamente.

O investimento em termos da infraestruturas é uma necessidade que fará a diferença no futuro entre o crescimento, a estagnação e a recessão. A competitividade no sector aeroportuário é uma realidade.

O estudo do projeto de Ampliação do Caminho de Circulação “F” no Aeroporto Francisco Sá Carneiro, é um bom exemplo de uma obra que visa exclusivamente a otimização da oferta, de forma a manter a operacionalidade da infraestrutura face à procura, aumentando o seu número de movimentos por hora.

Este investimento na atualização das infraestruturas aeroportuárias demonstra bem uma mudança no paradigma nacional. A desatualização das infraestruturas nacionais face à realidade atual, tem motivado o correr atrás do tempo, de modo a corresponder ao constante aumento da procura pelos aeroportos nacionais.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 3DR (2014). Introduction to airport operations and communications. Obtido de <https://3dr.com/faa/study-guides/airport-operations/>
- Airbus S.A.S. (2005). A380 Family. Obtido 23 de Julho de 2018, de <https://www.airbus.com/search.image.html?q=&tags=products- and- solutions:commercial- aircraft/a380- family&lang=en&tagLogicChoice=OR>
- Aircraft Technical Book Company (2009). General Principles -Take-Off, 137–142.
- Amaral, N. (2005). Aeroporto Sá Carneiro nasceu em Pedras Rubras há 60 anos. Obtido 5 de Agosto de 2018, de <https://www.publico.pt/2005/12/03/jornal/aeroporto-sa-carneiro-nasceu-em-pedras-rubras-ha-60-anos-52000>
- ANA (2007). ANA - Aeroportos de Portugal, S. A. Plano Diretor - Aeroporto Francisco Sá Carneiro (Porto). (ANA- Aeroportos de Portugal SA, Ed.). Lisboa, Portugal: ANA- Aeroportos de Portugal S.A.
- ANA (2017). ANA-Aeroportos de Portugal, S. A.. Relatório de Gestão de Contas ANA 2017. Lisboa, Portugal: ANA-Aeroportos de Portugal S.A.
- ANA (2018). ANA-Aeroportos de Portugal, S. A.. Voos e Destinos. Obtido 20 de Abril de 2018, de <https://www.ana.pt/pt/opo/voos-e-destinos>
- ANA (1999). Memórias de duas décadas ao serviço de Portugal (1978-1998). (S.A. ANA- Aeroportos de Portugal, Ed.) (1.a ed.). Lisboa: ANA-Aeroportos de Portugal SA.
- António, A. (2015). De Pedras Rubras a Sá Carneiro - um aeroporto em imagens. Obtido 12 de Setembro de 2018, de <https://www.tsf.pt/sociedade/interior/de-pedras-rubras-a-sa-carneiro-um-aeroporto-em-imagens-4911880.html>
- Arliners (2012). Pan American World Airways - Boeing 747-121. Obtido 20 de Julho de 2018, de <https://www.airliners.net/photo/Pan-American-World-Airways-Pan-Am/Boeing-747-121/2056614>
- ANAC (2015). Autoridade Nacional de Aviação Civil, (ANAC). Glossário da Aviação Civil. ((ANAC) Autoridade Nacional de Aviação Civil, Ed.). Lisboa, Portugal: Autoridade Nacional de Aviação Civil. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Aviation Dictionary (2014). «airplane reference field length». Obtido 20 de Junho de 2018, de [http://aviation\\_dictionary.enacademic.com/424/airplane\\_reference\\_field\\_length](http://aviation_dictionary.enacademic.com/424/airplane_reference_field_length)

Babo, M. J. (2018). Como foi feita a história da OGMA. Obtido 1 de Agosto de 2018, de <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/transportes/aviacao/detalhe/como-foi-feita-a-historia-da-ogma>

Bellasio, R. (2014). Analysis of wind data for airport runway design. *Journal of Airline and Airport Management*, 4(2), 97–116. <https://doi.org/10.3926/jairm.26>

Boeing (2017). Boeing 747. Obtido 3 de Agosto de 2018, de [http://www.boeing.com/commercial/airports/3\\_view.page](http://www.boeing.com/commercial/airports/3_view.page)

Boltent (2012). Communication. Obtido 22 de Julho de 2018, de <http://boltent.ca/flight/lessons/communication/tutorial/tutorial3.html>

Boyd, J. E. (2009). Artificial Clouds and Inflammable Air: The Science and Spectacle of the First Balloon Flights, 1783. Obtido 22 de Julho de 2018, de <https://www.sciencehistory.org/distillations/magazine/artificial-clouds-and-inflammable-air-the-science-and-spectacle-of-the-first>

Câmara Municipal de Lisboa (2008). Arquivo Municipal - Planta de Drenagem Aeroporto da Portela de Sacavém. Obtido 10 de Agosto de 2018, de <http://arquivomunicipal2.cm-lisboa.pt/xarqdigitalizacaocontent/PaginaDocumento.aspx?DocumentoID=86297&AplicacaoID=1&Pagina=124&Linha=1&Coluna=1>

Coelho, D., Sousa, J., Vilela, L., Machado, L., Malcata, M., & Mendes, N. (2015). Breve História da Aviação. Lisboa, Portugal.

Concordesst (2008). British Airways Concorde. Obtido de <http://www.concordesst.com/206.html>

Delagoabayworld (2012). Boeing 747 Tap, 1972-1975. Obtido 28 de Julho de 2018, de <https://delagoabayworld.wordpress.com/2012/01/02/os-boeing-747-da-tap-1972-1975/>

DuBay, D. (2015). AIRPLANE OF THE MONTH – or – “What do you mean you won’t fill my order?!” Obtido 10 de Agosto de 2018, de <https://denisdubay.wordpress.com/2015/08/28/airplane-of-the-month-or-what-do-you-mean-you-wont-fill-my-order/comment-page-1/>

EASA (2015). European Aviation Safety Agency, (EASA). and Guidance Material for Aerodromes Design, (2)

EBS (2015). Clipper 440. Obtido 10 de Agosto de 2018, de <http://clipper440.blogspot.com/2015/07/11-de-julho-estudando-para-banca-da.htm>

Eduardo, J., Rosa, F., Melo, M., Ferreira, D., Luís, P., Macedo, G., ... Monteiro, B. (2015). História da Aviação : Das Primeiras Ideias à Primeira Guerra Mundial, 1–24.

- Ferreira, L. P. (2016). Aeroporto de Lisboa em 1942. Obtido 5 de Agosto de 2018, de <https://www.dn.pt/media/interior/aeroporto-de-lisboa-em-1942-5350118.html>
- FEP (2012). Faculdade de Ecónomia da Universidade do Porto (FEP). Aeroporto Francisco Sá Carneiro, 2012-2020: previsão de movimento e recomendações de governance num cenário de privatização, 2012–2020
- FEP (2008). Faculdade de Ecónomia da Universidade do Porto (FEP). Estudo sobre os Modelos de Gestão para o Aeroporto Francisco Sá Carneiro
- Google (2018). Google Earth. Obtido 20 de Abril de 2018, de <https://www.google.pt/maps/place/Aeroporto+Francisco+Sá+Carneiro/@41.239871,-8.6829892,14.83z>
- Iatrou, K. (2014). 100 Years of Commercial Aviation. Hermes Air Transport Club
- ICAO (2004). International Civil Aviation Organization, (ICAO). Aerodrome Design Manual-Part 1 Runways. ((ICAO) International Civil Aviation Organization, Ed.) (3.a ed.). Montreal,Quebec, Canada: International Civil Aviation Organization, (ICAO)
- ICAO (2005). International Civil Aviation Organization, (ICAO). Aerodrome Design Manual-Part 2: Taxiways, Aprons and Holding Bays. ((ICAO) International Civil Aviation Organization, Ed.) (4.a ed.). Montreal,Quebec, Canada: International Civil Aviation Organization, (ICAO)
- ICAO (2015). International Civil Aviation Organization (ICAO) - Session: Declared Distances Overview & Applications “Runways with 8 Parts”. Obtido 5 de Maio de 2018, de <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2015/GREPECASPF2/GRPECASF2-P09.pdf>
- ICAO (2016). Annex 14, Aerodromes - Volume 1, Aerodrome Design and Operations. ((ICAO) International Civil Aviation Organization, Ed.) (7.a ed., Vol. 1). Montreal,Quebec, Canada: International Civil Aviation Organization, (ICAO)
- Jetphotos (2014). Aeroporto Humberto Delgado. Obtido 20 de Junho de 2018, de <https://www.jetphotos.com/photo/7940179>
- Leite, J. (2013a). Aeroporto de Lisboa. Obtido 9 de Agosto de 2018, de [http://restosdecoleccion.blogspot.com/search/label/Transportes Aéreos?updated-max=2013-10-13T09:43:00%2B01:00&max-results=20&start=7&by-date=false](http://restosdecoleccion.blogspot.com/search/label/Transportes+Aéreos?updated-max=2013-10-13T09:43:00%2B01:00&max-results=20&start=7&by-date=false)
- Leite, J. (2013b). Aeroporto de Pedras Rubras. Obtido 7 de Maio de 2018, de <http://restosdecoleccion.blogspot.com/2013/03/aeroporto-de-pedras-rubras.html>

McDaniel, J. W. (2010). Just the facts 1903 wright Flyer I. Obtido 18 de Julho de 2018, de [http://www.wright-brothers.org/Information\\_Desk/Just\\_the\\_Facts/Airplanes/Flyer\\_I.htm](http://www.wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Airplanes/Flyer_I.htm)

Madeira P. Guide. (2017). Aeroporto Cristiano Ronaldo (Madeira). Obtido 5 de Maio de 2018, de <https://www.madeirapropertyguide.com/>

Melo, A. de. (2017a). Quando o aeroporto era o Tejo. Obtido 2 de Agosto de 2018, de <https://ionline.sapo.pt/549329>

Melo, A. de. (2017b). Quando o aeroporto era o Tejo. Obtido 5 de Agosto de 2018, de <https://ionline.sapo.pt/549329>

Mendes, A. (2016). Entre o carro de bois e o avião Uma pequena comunidade no centro de uma rivalidade global. ISCTE (IUL) / Academia Militar

Monteiro, A.,Madureira, H., Fonseca, L., & Velho, S. (2018). Suporte Biofísico e Ambiente - Clima e Ambiente Urbano. Porto: CEGOT

NAV Portugal (2018). Manual VFR - Porto LPPR. NAV Portugal. Obtido de <https://www.nav.pt/docs/AIS/aerodromos/portoAD.pdf?sfvrsn=14>

ncultura (2017). Gago Coutinho e Sacadura Cabral, os heróis portugueses. Obtido 1 de Agosto de 2018, de <https://ncultura.pt/gago-coutinho-e-sacadura-cabral-os-herois-portugueses/4/>

Pinheiro, M. B. (2015). Seminário Aeroespacial - Aeroportos. Instituto Superior Técnico. Porto Editora (2003 - 2018a). Aeroporto de Ponta Delgada. Obtido 10 de Agosto de 2018, de [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$aeroporto-de-ponta-delgada](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$aeroporto-de-ponta-delgada)

Porto Editora (2003 - 2018b). Aeroporto Francisco Sá Carneiro. Obtido 17 de Abril de 2018, de [https://www.infopedia.pt/\\$aeroporto-francisco-sa-carneiro](https://www.infopedia.pt/$aeroporto-francisco-sa-carneiro)

Ramos, G. A. (2016). A Escola da Aviação. Obtido 27 de Julho de 2018, de [https://www.rtp.pt/noticias/portugal-na-1-grande-guerra/a-escola-de-aviacao\\_es951552](https://www.rtp.pt/noticias/portugal-na-1-grande-guerra/a-escola-de-aviacao_es951552)

Rodrigues, L. N. (2016). Aeroportos da Madeira. Obtido 1 de Agosto de 2018, de <http://aprenderamadeira.net/aeroportos-da-madeira/>

SENER - ENGIVIA (2018). Reformulação do Projeto de Ampliação do Caminho de Circulação “F” no Aeroporto Francisco Sá Carneiro, Alteração de Code F para Code E.pdf. Lisboa, Portugal

SENER (2018). Corporate Presentation, Bilbao, Espanha

- SENER (2018b). Infraestructuras y Transporte. Obtido 14 de Fevereiro de 2018, de <http://www.infraestructurasytransporte.sener/>
- Skybrary.aero. (2016). Airports Council International (ACI). Obtido 1 de Agosto de 2018 , de [https://www.skybrary.aero/index.php/Airports\\_Council\\_International\\_\(ACI\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Airports_Council_International_(ACI))
- Swopes, B. R. (2017). Zeppelin LZ 4 over the Bodensee. Obtido 6 de Agosto de 2018, de <https://www.thisdayinaviation.com/tag/lz-4/>
- The Courier mail (2013). Brisbane Airport. Obtido 13 de Maio de 2018, de <http://www.couriermail.com.au/travel/travel-news/brisbane-airport-bosses-will-ask-the-acc to approve na increase in passenger landing charges to- fund- a- new runway/news story/44ad2462cd3e0f91fdd3fe870818667c>
- Veiga, N. (2018). Maior avião comercial do mundo aterra pela primeira vez em Portuga. Obtido 8 de Agosto de 2018, de <https://24.sapo.pt/atualidade/artigos/o-maior-aviao-de-passageiros-do-mundo-ja-aterrou-em-beja>
- Viegas, D. (2015). Aeroporto de Faro foi inaugurado há 50 anos. Obtido 5 de Agosto de 2018, de <https://jornaldoalgarve.pt/aeroporto-de-faro-foi-inaugurado-ha-50-anos-2/>
- Victor, F. (2006). Atlanta - Hartsfield-Jackson International. Obtido 20 de Junho de 2018, de <http://www.airliners.net/photo/-/-/1000706>
- Wells, T. A., & Young, S. (2004). Airport Planning and Management. (N. P. Anuparna Gopinath & and D. Services, Eds.) (6.a ed., Vol. 18). The McGraw-Hill Companies, Inc. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(84\)90142-0](https://doi.org/10.1016/0191-2607(84)90142-0)
- Wheeler, M. R. (2014). Airport. Obtido 8 de Agosto de 2018, de <https://www.pinterest.pt/pin/295056213068718424/>

# **Anexos**