



Mestrado em Engenharia Civil

# Reabilitação do Aeroporto de Ondjiva em Angola

Tânia Manuela Babo da Silva N.º1080300

Orientador: Prof. Eng. Ângelo Manuel Gonçalves Jacob

2013/2014



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Sr. Professor Engenheiro Ângelo Jacob pela orientação deste trabalho, pela disponibilidade, pelos conhecimentos transmitidos e pela motivação.

Ao Sr. Engenheiro Jorge Oliveira pela disponibilização dos elementos referentes ao aeroporto de Ondjiva.

Aos meus pais, Francisco Franquelim Sousa da Silva e Maria Manuela Garcês de Babo, e ao meu irmão, Luís Miguel Babo Silva, por todo o amor, dedicação e esforço para assegurar o meu futuro.

Ao meu afilhado, Francisco Luís Soares da Silva, por todo o carinho e por ser a minha inspiração.

Aos que de forma indireta contribuíram para que tivesse força e coragem para alcançar os meus objetivos.

## RESUMO

Com o progresso da tecnologia aeronáutica, a deslocação de pessoas e bens tornou-se bastante acessível para variados pontos de mundo, com espaço de tempo muito reduzido. Um dos motores essenciais deste avanço, concernente à mobilidade, é o transporte aéreo e a sua evolução. Este tipo de transporte requer a máxima segurança, sendo que um único acidente pode gerar centenas de vítimas. Atendendo a estas condições, a qualidade dos pavimentos aeroportuários é de grande importância para a segurança da movimentação das aeronaves em solo. Mas, por razões económicas e por vezes de espaço, perspectivas de novas construções perdem viabilidade comparativamente a soluções de reabilitação.

A posição geográfica do aeroporto de Ondjiva faz com que seja um importante ponto de passagem entre a África do Sul e a Namíbia e, prevê-se que o número de voos que se efetuam no aeroporto cresça, sendo que o país está numa fase de grande evolução.

O presente trabalho visa o conhecimento do processo de dimensionamento para pavimentos aeroportuários e soluções de correção para anomalias que possam apresentar, aplicando-os ao aeroporto de Ondjiva, em Angola. Atualmente, o aeroporto revela um grande desgaste das pistas de táxi, inadaptabilidade das cabeceiras face às cargas estáticas a que são submetidas e, largura insuficiente da pista para a aeronave de projeto, ou aeronave crítica, atendendo ao regulamento da ICAO (*International Civil Aviation Organization*). Para melhorar o conforto, a segurança e eficiência dos serviços aéreos, o dimensionamento do aeroporto deve obedecer aos princípios e regras da ICAO.

Pretende-se também a modelação de uma solução de reforço para o pavimento existente, para que não seja necessário construir um aeroporto de raiz, minimizando custos.

Após a realização do dimensionamento, foi estudada a sinalização horizontal e luminosa da pista, para que esteja em conformidade com as suas novas medidas.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Aeroporto

Ondjiva

Pavimentos flexíveis

Pavimentos rígidos

Reabilitação

Sinalização

**ABSTRACT**

*With aeronautical technology development, people and goods movement has become quite affordable for different parts of world, in a small period of time. One of the key factors of this advance, as far as mobility is concerned, is the air transportation and its own evolution. This kind of transport requires maximum security systems, because a single accident can cause hundreds of victims. Given these conditions, the quality of airport pavements is truly important for the safety of aircraft ground movement. But, for economic and, sometimes, space reasons, prospects for new construction lose viability against rehabilitation solutions.*

*The geographical position of Ondjiva airport makes it an important crossing point between South Africa and Namibia, and it is expected that the number of flights that are carried out at the airport will grow, once the country is in a phase of great evolution.*

*The present work focuses the knowledge behind the sizing process for airport pavements and correction solutions for anomalies that may occur, applying them to the Ondjiva airport, in Angola. Currently, the airport shows great wear of taxiways, inadaptability of the headwaters face to static loads to which they are submitted, and insufficient lane width for the project aircraft, or critical aircraft, given the ICAO (International Civil Aviation Organization) regulation. To improve comfort, safety and efficiency of air services, the airport scaling must obey the principles and rules of ICAO.*

*It is also intended to model a solution for enhancing the existing pavement, in a way that won't be necessary to build an airport from scratch, minimizing costs.*

*After performing the scaling, horizontal and light signaling of the track was studied, so it is in line with its new measures.*

***KEY-WORDS***

*Airport*

Ondjiva

*Flexible pavements*

*Rigid pavements*

*Rehabilitation*

*Signaling*

---

**GLOSSÁRIO**

AAC	Agência de Aviação Civil
ACN	<i>Aircraft Classification Number</i>
AIP	Programa de Melhoria de Aeroportos
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARC	Código de referência do aeródromo
CBP	Comprimento básico pista
CDF	Fator Acumulativo de Danos
ENANA	Empresa Nacional de Exploração de Aeroportos e Navegação Aérea.
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAARFIELD	<i>Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design.</i>
FAI	Federação Aeronáutica Internacional
ICAO	International Civil Aviation Organization
INAC	Instituto Nacional de Aviação Civil
INAMET	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
INAPEM	Instituto Nacional de Apoio às Micro, Pequenas e Médias Empresas
K	Módulo de reação do terreno de fundação
MTOW	<i>Maximum Take-Off Weight</i>
PCN	<i>Pavement Classification Number</i>
PFC	<i>Passenger Facility Charge</i> (Programa de Facilidade de Carga de Passageiros)
PMD	Peso Máximo de decolagem
RLV	<i>Reusable Launch Vehicle</i>
TAAG	Transportes Aéreos Angolanos

---

**ÍNDICE DE TEXTO**

AGRADECIMENTOS .....	III
RESUMO.....	IV
<i>ABSTRACT</i> .....	VI
GLOSSÁRIO .....	VIII
ÍNDICE DE TABELAS .....	XVI
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.3 METODOLOGIA .....	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	4
2. AVIAÇÃO .....	6
2.1 HISTÓRIA DA AVIAÇÃO.....	6
2.2 TIPOS DE AERONAVES .....	11
2.3 TIPOS DE AERÓDROMOS .....	12
2.4 INSTALAÇÕES GERAIS DE UM AERÓDROMO .....	13
2.5 REGULAMENTAÇÃO .....	15
2.6 REGULAMENTAÇÃO EM ANGOLA.....	16
2.7 CÓDIGO DE REFERÊNCIA DO AERÓDROMO (ARC) .....	16
3. ONDJIVA.....	19
3.1 BREVES REFERÊNCIAS DO LOCAL .....	19
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO CUVELAI.....	21
3.3 AEROPORTO DE ONDJIVA .....	24
3.4 CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO DE ONDJIVA .....	26
3.5 ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DO AEROPORTO DE ONDJIVA.....	27

---

3.6	PROPOSTA DE ALTERAÇÃO GEOMÉTRICA DO AEROPORTO.....	28
4.	PAVIMENTAÇÃO AEROPORTUÁRIA .....	29
4.1	DEFINIÇÕES GERAIS DE INFRAESTRUTURAS AEROPORTUÁRIAS.....	29
4.2	PAVIMENTOS AERONÁUTICOS.....	30
4.3	TIPOS DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS .....	33
4.3.1	PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	34
4.3.2	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS .....	35
4.4	DEGRADAÇÕES DOS PAVIMENTOS AERONÁUTICOS.....	36
4.5	ESTADO DO PAVIMENTO.....	40
4.6	JUNTAS.....	41
4.7	REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS EXISTENTES.....	46
5.	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS .....	53
5.1	MÉTODO DOS ESTADOS UNIDOS (FAA).....	53
5.1.1	CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	53
5.1.2	CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	55
5.1.3	APLICAÇÃO INFORMÁTICA (UTILIZAÇÃO DE PROGRAMA DE CÁLCULO) .....	58
5.2	MÉTODO ACN/PCN .....	60
5.3	CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS AERONAVES .....	63
5.3.1	TIPO E GEOMETRIA DO TREM DE ATERRAGEM .....	63
5.3.2	CARGAS.....	66
5.3.3	DETERMINAÇÃO DA AERONAVE DE CÁLCULO .....	66
5.3.4	VOLUME DE TRÁFEGO E DETERMINAÇÃO DAS SAÍDAS ANUAIS DA AERONAVE DE CÁLCULO.....	66
6.	SINALIZAÇÃO .....	69
6.1	SINALIZAÇÃO HORIZONTAL.....	69
6.1.1	CORES E PERCETIBILIDADE .....	70

---

6.1.2	SINAIS.....	70
6.2	INDICADORES E DISPOSITIVOS DE SINALIZAÇÃO .....	79
6.3	LUZES.....	81
7.	ESTUDO DE CASO.....	87
7.1	INTRODUÇÃO PARA ESTUDO DO AEROPORTO DE ONDJIVA.....	87
7.2	LOCALIZAÇÃO.....	88
7.3	TRÁFEGO .....	88
7.4	DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS PELO MÉTODO FAA .....	89
7.4.1	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS .....	90
7.4.1.1	DETERMINAÇÃO DAS SAÍDAS ANUAIS EQUIVALENTES .....	90
7.4.1.2	CÁLCULO DAS ESPESSURAS DO PAVIMENTO.....	90
7.4.1.3	ZONAS CRÍTICAS E NÃO CRÍTICAS.....	91
7.4.1.4	ESTABILIZAÇÃO DA BASE.....	92
7.4.2	PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	92
7.4.2.1	DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA LAJE .....	93
7.4.2.2	REQUISITOS DA CAMADA DE SUB-BASE.....	94
7.4.2.3	CAMADA DE SUB-BASE ESTABILIZADA.....	95
7.4.2.4	VERIFICAÇÃO DA ESPESSURA MAIS ECONÓMICA.....	95
7.4.2.5	ÁREAS CRÍTICAS E NÃO CRÍTICAS.....	98
7.5	DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS PELO MÉTODO ACN/PCN ....	99
7.6	CÁLCULO DOS PAVIMENTOS PELO PROGRAMA FAA DESIGN 150/5320-6D	101
7.6.1	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – FAA DESIGN 150/5320-6D .....	101
7.6.2	PAVIMENTOS RÍGIDOS – FAA DESIGN 150/5320-6D.....	107
7.7	MEDIDAS A IMPLEMENTAR NO PAVIMENTO.....	109
7.7.1	LARGURA DA PISTA DE ATERRAGEM.....	110
7.7.2	ÁREA ANTERIOR À CABECEIRA.....	111

---

7.7.3	LARGURA DOS <i>TAXIWAYS</i> .....	111
7.7.4	JUNTAS.....	112
7.7.5	REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE.....	114
7.8	SINALIZAÇÃO.....	116
7.8.1	SINALIZAÇÃO DA PISTA DE ATERRAGEM.....	116
7.8.2	SINALIZAÇÃO DAS PISTAS DE <i>TAXIWAY</i> .....	119
7.8.3	ILUMINAÇÃO.....	120
8.	CONCLUSÃO.....	121
8.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
8.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	124
9.	BIBLIOGRAFIA .....	125
10.	ANEXOS.....	129

---

**ÍNDICE DE IMAGENS**

Imagem 1 - Voo de Alberto Santos Dumont, em 1906, a bordo do 14-Bis.....	6
Imagem 2 - Junkers J1 .....	8
Imagem 3 - Douglas DC-3. ....	9
Imagem 4 - Primeiro avião a ultrapassar a velocidade do som, Bell X-1.....	10
Imagem 5 - B2 Spirit.....	11
Imagem 6 - Layout do Aeroporto Sá Carneiro, no Porto, em 2007.....	14
Imagem 7 - Localização da província do Cunene em Angola. ....	19
Imagem 8 - Localização da bacia do Cuvelai.....	22
Imagem 9 - Zona de drenagem central da Bacia do Cuvelai. ....	22
Imagem 10 - Rio Kwanza, em Angola. ....	23
Imagem 11 – Vista Aeroporto de Ondjiva, Angola. ....	25
Imagem 12 - Aeroporto de Ondjiva, através do Google Earth.....	27
Imagem 13 - Alteração geométrica proposta para o aeroporto de Ondjiva em Angola.....	28
Imagem 14 - Aeroporto de Toronto, com indicação dos vários tipos de plataformas.....	30
Imagem 15 - Distribuição das cargas pelo trem de aterragem.....	31
Imagem 16 - Esquema da distribuição de cargas nos pavimentos rígido e flexível.....	33
Imagem 17 - Composição característica de um pavimento rígido. ....	35
Imagem 18 - Composição característica de um pavimento flexível. ....	36
Imagem 19 – Fissura transversal. ....	38
Imagem 20 - Elevação parcial do pavimento. ....	38
Imagem 21 - Ondulações no pavimento.....	39
Imagem 22 - Desincrustação do pavimento. ....	39
Imagem 23 - Ensaio de cargas repetidas para misturas asfálticas. ....	41
Imagem 24 - Juntas com selante. ....	41
Imagem 25 - Junta tipo A, Passador.....	42
Imagem 26 - Junta tipo B, por bordo espesso. ....	43
Imagem 27 - Pavimento em betão armado. ....	45
Imagem 28 - Detalhes do selante nas juntas. a) Utilização de tira ou fita de plástico.....	46
Imagem 29 - Sequência de passos para a fresagem. a) Exemplo de espessuras de fresagem. b) Exemplo de remoção do material fresado. ....	48
Imagem 30 - Janela cadastrada. a) Exemplo de janela após fresagem. b) Exemplo de janela após segunda fresagem. ....	49
Imagem 31 - Pavimentadora.....	50
Imagem 32 - Cilindro compactador. ....	51
Imagem 33 - Veículo de transporte da mistura betuminosa. ....	51

---

Imagem 34 - Sinalização de uma pista nova.....	52
Imagem 35 - Estrutura tipo de um pavimento aeroportuário. ....	54
Imagem 36 - Ensaio de defletómetro de impacto (FWD – <i>Falling Weight deflectometer</i> ). ....	56
Imagem 37 - Prensa de Ensaio Californiano.....	61
Imagem 38 - Ensaio de placa de carga. ....	62
Imagem 39 - Ilustração dos trens de aterragem.....	65
Imagem 40 - Tipo de trem de aterragem do Boeing 777. ....	66
Imagem 41 - Aeronave de fuselagem larga, Airbus A380. ....	68
Imagem 42 - Sinalização da pista de um aeroporto. ....	69
Imagem 43 - Cálculo do Norte magnético. ....	71
Imagem 44 - Sinal de designação de pista, eixo central da pista e limiar de pista.....	73
Imagem 45 - Sinalização horizontal para a área anterior à cabeceira. ....	73
Imagem 46 - Sinais de ponto de visada e tomada de contato. ....	76
Imagem 47 - Sinalização horizontal de um <i>taxiway</i> . ....	77
Imagem 48 - Sinalização horizontal do ponto de espera dos taxiways. ....	77
Imagem 49 - Indicador de vento.....	79
Imagem 50 - Sinal de direcção de aterragem. ....	80
Imagem 51 - Lâmpada de sinais. ....	81
Imagem 52 - Painéis de sinais.....	81
Imagem 53 - Exemplo de luzes para pavimentos de aeroportos. ....	82
Imagem 54 - Luz aeronáutica superficial encastrada. ....	82
Imagem 55 - Iluminação da pista de um aeroporto. ....	83
Imagem 56 - Luzes de pista de aterragem para aproximação de precisão Categorias II e III. ....	84
Imagem 57 - Tipos de pavimentação propostos para o aeroporto de Ondjiva. ....	89
Imagem 58 - Esquema de um corte transversal.....	92
Imagem 59 - Passo 1 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Introdução de dados.....	102
Imagem 60 - Passo 2 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Introdução do CBR da fundação e do código de geada. ....	102
Imagem 61 - Passo 3 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Informação sobre a sub-base. ....	103
Imagem 62 - Passo 4 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Seleção da base de agregação padrão.....	103
Imagem 63 - Passo 5 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Profundidade de penetração da geada. ....	104

Imagem 64 - Informação para estabilizar a base do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. ....	105
Imagem 65 - Passo 9 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Calcular a base estabilizada. ....	106
Imagem 66 - Passo 9 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Calcular a sub-base estabilizada. ....	106
Imagem 67 - Passo 2 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos rígidos. Introdução do valor da espessura da sub-base e o valor de K do subleito. ....	107
Imagem 68 - Passo 3 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos rígidos. Introdução da resistência à flexão do betão. ....	108
Imagem 69 - Passo 3 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos rígidos. Sobreposição de projeto. ....	109
Imagem 70 – Esquema da sobrelargura. ....	112
Imagem 71 - Juntas executadas, na cabeceira Noroeste do Aeroporto de Ondjiva. ....	113
Imagem 72 - Faixas construtivas do betão asfáltico. ....	115
Imagem 73 - Pista do aeroporto de Ondjiva reabilitada. ....	116
Imagem 74 - Sinais de designação da pista do aeroporto de Ondjiva em Angola. ....	116
Imagem 75 - Sinais de designação da pista, eixo central da pista e de limiar de pista, para o aeroporto de Ondjiva, Angola. ....	117
Imagem 76 - Sinal de visada e de tomada de contato do aeroporto de Ondjiva em Angola. ....	118
Imagem 77 - Sinalização do ponto de espera. ....	119

---

**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1- Código de referência do aeródromo (ARC), segundo ICAO.....	17
Tabela 2 - Código de referência do aeródromo (ARC), segundo FAA.....	18
Tabela 3 - Características gerais do Boeing 737-800..	26
Tabela 4 - Fatores de conversão de trens de aterragem.....	64
Tabela 5- Número de faixas do sinal limiar de pista em função da largura da pista.....	72
Tabela 6 - Localização e dimensões do ponto de visada.....	74
Tabela 7 - Pares de sinais para as distâncias de aterragem.....	75
Tabela 8- Ficha técnica e características geográficas do aeroporto de Ondjiva, Angola.....	88
Tabela 9 - Tráfego de dimensionamento para o aeroporto de Ondjiva, Angola.....	89
Tabela 10 - Condições onde não é requerida a sub-base (X).....	94
Tabela 11 - Espessura da laje de betão para o Aeroporto de Ondjiva, em função da espessura da camada de sub-base.....	96
Tabela 12 - Peso específico de materiais.....	97
Tabela 13 - Estimativa orçamental para 1m <sup>2</sup> de pavimento.....	98
Tabela 14 - Passos 6, 7 e 8 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Mistura das aeronaves para o dimensionamento.....	105
Tabela 15 – Características do Boeing 737-800.....	110

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO

A globalização económica tem levado a uma crescente necessidade de mobilidade por parte das sociedades e a uma procura cada vez maior dos serviços integrados de logística e transporte, aliás, a noção de “sociedade global” está intrinsecamente ligada aos extraordinários avanços dos meios de transporte, principalmente aéreos.

Sob este ponto de vista, o transporte aéreo é um dos setores mais importantes e dinâmicos da economia mundial, que cumpre o papel essencial de estimular relações económicas e o intercâmbio de pessoas e mercadorias entre diferentes regiões do país e do mundo.

O correto desempenho e eficiência do transporte aéreo deriva, entre muitos fatores, do correto funcionamento do complexo aeronáutico, que por sua vez depende da adequada condição de operacionalidade das infraestruturas de movimentação das aeronaves em solo, mais propriamente dos pavimentos das pistas, caminhos de circulação e plataformas de estacionamento.

A degradação gradual dos pavimentos aeronáuticos potencia a ocorrência de acidentes e incidentes envolvendo aeronaves. Desta maneira, a reabilitação e manutenção destas infraestruturas devem ser uma prioridade para os seus responsáveis, sempre tendo em conta os recursos financeiros envolvidos.

Angola é um país que vive um momento de grande crescimento económico e progresso social, e como tal o seu governo está a apostar na expansão das suas infraestruturas.

Atualmente o transporte aéreo angolano, essencial no processo de internacionalização da economia do país, tem novas estratégias e políticas assentes em programas de controlo e segurança do tráfego aéreo. A Empresa Nacional de Exploração de Aeroportos e Navegação Aérea (ENANA) aposta na construção, reabilitação, ampliação e modernização

aeroportuária Angolana, propondo-se melhorar a comodidade dos passageiros através meios técnicos mais avançados.

Um desses aeroportos é o de Ondjiva, que em função da reabilitação sofrida em finais de 2009, aumentou a pista em 300 metros e a aerogare, zona das salas de embarque, desembarque e serviços. A pista atual conta com mais de 3200 metros de comprimento e as salas de embarque e desembarque possuem sistema de monitorização, Raio-X e serviço de cobertura por televisão.

Para dar seguimento à integração regional iniciada pelo Governo Angolano, a ENANA quer continuar o processo de reabilitação, ampliação e modernização de aeroportos e aeródromos no país, obedecendo às regras definidas pela Organização da Aviação Civil Internacional (em inglês, *International Civil Aviation Organization* – ICAO).

Neste seguimento surge o interesse com este trabalho em realizar um projeto para a nova ampliação e reabilitação do aeroporto.

O presente trabalho decorre em paralelo com a modernização do aeroporto, levada a cabo pela ENANA.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho, realizado no âmbito da disciplina DIPRE, pertencente ao segundo ano curricular do Mestrado em Engenharia Civil, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, é a elaboração de uma proposta para a reabilitação do aeroporto de Ondjiva, em Angola, adequada ao tráfego a servir e tendo em conta a legislação em vigor, aplicável às diferentes zonas do aeroporto onde é necessário um novo pavimento, nomeadamente nas pistas, caminhos de circulação (*Taxiways*) e plataformas de estacionamento.

O aeroporto de Ondjiva, assim como a maioria dos aeroportos de Angola, foi construído nos anos 60, antes do término da época colonial, atendendo às simples necessidades da aviação da década. Após a Independência, verificou-se um célere e incessante crescimento da procura do transporte aéreo. Mas este desenvolvimento não aumentou o investimento nas infraestruturas aeroportuárias. As pistas dos aeroportos começaram a limitar a sua capacidade, sendo demasiado curtas e com geometria inadequada aos aviões modernos. Torna-se necessário intervir nestes pontos, sendo a ampliação e modificação da geometria atual outro objetivo do projeto.

Angola, na representação da ENANA, cedeu informações sobre as patologias da pista, as suas dimensões e a aeronave crítica do aeroporto, nomeadamente informações que retratavam as patologias encontradas *in loco*, plantas do aeroporto e dados do avião de projeto (aeronave crítica).

Através dos dados rececionados, pode constatar-se o que se previa, que o aeroporto existente não cumpre as medidas preconizadas nos regulamentos (pista pequena em largura e geometria desajustada). Como tal, é necessário equacionar soluções para as cumprir, sendo este também um dos intentos do projeto, compartilhado pela ENANA.

Com o trabalho pretende-se também que seja feito o estudo da uma sinalização horizontal adequada para a nova pista.

### **1.3 METODOLOGIA**

A metodologia proposta resume-se a três etapas: em primeiro lugar surge a pesquisa bibliográfica, segue-se o tratamento da informação recolhida e por último a sua aplicação no caso prático, aeroporto Vila Pereira d'Eça (*VPE*).

A pesquisa bibliográfica recairá sobre a procura de informação sobre a história de Angola, da província do Cunene, da cidade de Ondjiva e do antigo aeroporto Vila Pereira d'Eça,

assim como sobre os métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários e a sua regulamentação, recorrendo a várias entidades como a ICAO (*International Civil Aviation Organization*), FAA (*Federal Aviation Administration*) e a ENANA (Empresa Nacional de Exploração de Aeroportos e Navegação Aérea).

Na segunda fase procede-se ao tratamento de toda a informação recolhida e a avaliação da mesma, retratando-a num texto apropriado à situação.

A última fase será constituída pelo dimensionamento do pavimento, com apresentação de todos os cálculos efetuados e será apresentado o estudo da sinalização do aeroporto de Ondjiva.

#### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Os capítulos do presente trabalho encontram-se organizados da seguinte forma.

O primeiro capítulo consiste essencialmente numa introdução, considerações introdutórias acerca dos principais motivos de desenvolvimento do projeto e os seus objetivos. Contém também a metodologia utilizada e o modo como o trabalho se encontra exposto.

O segundo capítulo resume a história da aviação, refere os tipos de aeronaves e aeródromos existentes, descreve sucintamente as instalações gerais de um aeródromo e as normas aplicadas, com foco em Angola.

O terceiro capítulo descreve resumidamente a província do Cunene e a Cidade de Ondjiva, retrata as características do aeroporto atual e propõe alterações a realizar no aeroporto de modo a estar de acordo com a legislação vigente. Como tal, são apresentados e definidos os critérios de aceitação das várias características geométricas dos aeródromos. Esta abordagem tem como referência o Anexo 14 do ICAO -Volume I.

No quarto capítulo, dedicado à pavimentação aeroportuária, podem ver-se as definições gerais das infraestruturas aeroportuárias, os tipos de pavimentos das mesmas, as degradações que podem apresentar e a verificação do estado das mesmas.

No quinto capítulo é estudado o dimensionamento dos pavimentos pelo método do FAA e pelo método ACN/PCN, e é realizada uma análise das aeronaves.

No sexto capítulo faz-se a descrição da sinalização horizontal e luminosa de uma pista, uma vez que as suas medidas são alteradas a sinalização também tem de ser reposta e ajustada.

No sétimo capítulo são aplicados os conceitos anteriores no aeroporto de Ondjiva. É feita uma pequena introdução do aeroporto em análise, verifica-se qual o tráfego que irá possuir e é feito dimensionamento dos seus pavimentos através dos métodos anteriores. Estes resultados são comparados com os obtidos por um software específico de dimensionamento de pavimentos aeroportuários. As medidas da pista são revistas e é feita a sinalização horizontal e luminosa da pista em causa.

O último capítulo apresenta as conclusões retiradas de todo o trabalho, expõe resumidamente as soluções que se podem dar ao aeroporto atual e são expostos alguns desenvolvimentos que se podem fazer futuramente.

## 2. AVIAÇÃO

### 2.1 HISTÓRIA DA AVIAÇÃO

Desde sempre que voar foi um dos maiores sonhos do Homem. Nos primórdios, os Egípcios retratavam os seus deuses como figuras aladas, e um dos seus maiores mitos é o de Ícaro, que voou até ao Sol e queimou as asas por se aproximar demasiado do Sol!

Ainda no século XV, Leonardo da Vinci criou um modelo em forma de pássaro e fez vários desenhos, como hélices e paraquedas, que foram de grande importância para a posterioridade. A partir do final do século XVIII começaram a realizar-se voos com planadores e depois com dirigíveis, mas o maior desafio era ainda voar em máquinas mais pesadas que o ar.

Esse sonho começou a tornar-se realidade a partir de 1900, apesar da eterna discussão acerca do verdadeiro pioneiro. A 23 de Outubro de 1906, o inventor brasileiro Alberto Santos Dumont levantou voo com o seu 14-Bis perante de uma multidão, e foi validado pelo Aero Clube da França e pela FAI (Federação Aeronáutica Internacional).



Imagem 1 - Voo de Alberto Santos Dumont, em 1906, a bordo do 14-Bis.

(Fonte: <http://santos-dumont.net/controversia.htm>)

O voo de Dumont foi considerado o primeiro voo completo no mundo e alcançou dois recordes, o de maior distância para um aparelho mais pesado que o ar e o de velocidade, já que atingiu em 220 metros de altura em 21 segundos e, em mais de 60 metros com uma média de velocidade de 37,4 km/h.

O registo descreve que Dumont foi o primeiro aviador a levantar voo num aeroplano com motor, todavia os irmãos americanos Orville e Wilbur Wright provaram que efetuaram o primeiro voo com o avião Flyer, no estado da Carolina do Norte, três anos antes, a 17 de Janeiro de 1903. Contudo a aeronave dos irmãos Wright não conseguiu levantar voo nem sustentar-se no ar sozinha, sendo ajudada por ventos fortes que insuflavam na região.

Após os voos de Alberto Dumont e dos irmãos Wright seguiu-se um período de competição entre países da Europa e os Estados Unidos, pelas melhores velocidades e distâncias, patenteando grandes aviadores e aprimorando aviões.

Em 1911, durante a Primeira Guerra das Balcãs, a Itália utilizou aviões para fazer o primeiro bombardeiro a uma coluna inimiga, mas foi com a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) que o avião sofreu vários desenvolvimentos, pois durante essa época foi descoberto o seu potencial. Compreendeu-se que poderia ser mais que um brinquedo e um desporto, poderia ser equipado com armas letais, defender, reconhecer ou espionar áreas inimigas. Durante esse período, as aeronaves passaram a transportar mais do que uma pessoa, os motores tornaram-se mais potentes e, no final da guerra conseguiu atingir-se os 230Km/h. Foi em 1914 que o francês Roland Garros aplicou uma metralhadora fixa à frente da sua aeronave, o que lhe permitiu voar e mirar em simultâneo. Essa tática foi sendo aperfeiçoada pelos alemães. Nesta batalha que tomava conta dos céus, destacou-se o modelo alemão Junkers J1, de 1915, conhecido por ser o primeiro a ser feito inteiramente em metal.



Imagem 2 - Junkers J1

(Fonte: [http://sopheakchan.blogspot.pt/2012\\_02\\_01\\_archive.html](http://sopheakchan.blogspot.pt/2012_02_01_archive.html))

Os recordes passaram a ser o foco depois da guerra, para os quais eram oferecidas recompensas monetárias. Em 1927, o recorde de “atravessar o Atlântico sem escalas” foi conseguido pelo piloto de correio aéreo Charles Lindbergh, e em Junho de 1928 a primeira mulher realizou o mesmo, a aviadora Amélia Earhart, acompanhada por mais dois pilotos e, quatro anos depois efectuo-o sozinha.

Foi no monoplano Winnie Mae, em 1931, que os pilotos Wiley Post e Harold Gatty realizaram a primeira viagem rápida ao redor do mundo. Inicialmente a viagem demorava oito dias, e foi sendo reduzida. Howard Hughes executou-a em 1938 em três dias.

Nesse mesmo período, começaram a operar as primeiras companhias aéreas. Ao longo da década de 20, várias foram as linhas estabelecidas na Europa e nos Estados Unidos, onde eram usados aviões que outrora serviram como bombardeiros na Guerra. A agência de correios dos EUA também utilizava aeronaves militares mas por volta de 1927 passou a contratar linhas aéreas para a realização do correio, o que contribui grandemente para o desenvolvimento da aviação comercial.

Nas décadas de 30 e 40 foram usados muitos hidroplanos nas linhas aéreas, que transportavam até 74 passageiros. Todos estes factores geraram técnicas mais precisas de navegação aérea. A partir da década de 30 passou a utilizar-se o piloto automático. O

Douglas DC-3 era o símbolo da época, que principiou os seus voos em 1936, tornando-se rapidamente o avião comercial mais usual.



Imagem 3 - Douglas DC-3.

(Fonte: <http://www.prop-liners.com/dc3tech.htm>)

Na Segunda Guerra Mundial (1939-1945) houve um enorme crescimento e desenvolvimento da produção de aviões. Surgiram os primeiros aviões a jato, que no início voavam a 9 mil metros de altura a 480km/h e no final da época já passavam os 12 mil metros a uma velocidade de 640km/h. O primeiro caça a jato a operar na Guerra foi o Messerschmitt Me 262, em 1944, que alcançava 900km/h em voos curtos, devido às suas asas que ajudam a simular a forma de uma flecha, modelo que viria a ser uma inspiração para o futuro. Após a guerra, o transporte internacional passou a ser feito em larga escala e por aviões cada vez maiores e mais rápidos. As melhorias na tecnologia de rádio e telecomunicações possibilitaram que os pilotos recebessem instruções de voo de equipas em terra e comunicassem com outros pilotos.

No término da década de 40 vulgarizaram-se as cabines pressurizadas, uma vez que as altitudes atingidas eram cada vez maiores. Em 1947 o americano Charles Yeager ultrapassou a velocidade do som com o Bell X-1 e, em 1952 começaram a ser utilizados aviões a jato nos aviões comerciais.

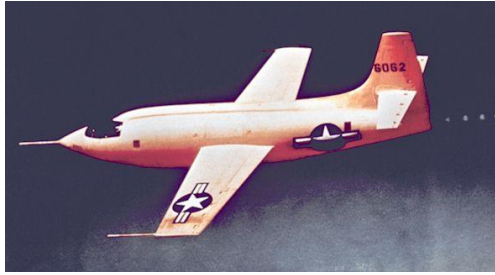


Imagem 4 - Primeiro avião a ultrapassar a velocidade do som, Bell X-1.

(Fonte: [http://test-planes.wikia.com/wiki/Bell\\_X-1](http://test-planes.wikia.com/wiki/Bell_X-1))

Em finais dos anos 50, entraram no mercado dos Estados Unidos os jatos Boeing 720 e 707, seguidos pelo Douglas DC-8 e o Convair 880, para além dos Caravelle, de fabricação francesa. Sucederam os aviões a turboélice e começaram a ser construídos aviões comerciais cada vez maiores, para mais passageiros e os chamados "supersónicos", com velocidades cerca de três vezes superiores à do som, quando passaram a operar, a partir de 1976, o Concorde (franco-britânico) e o Tupolev (russo). Mais tarde os voos destes aviões supersónicos foram suspensos pelo alto custo em combustíveis e manutenção, e pelo pequeno volume de carga e passageiros.

A Guerra fria trouxe consigo a corrida espacial e o céu deixou de ter limites. Em 1957, o soviético Sputnik 1 tornou-se o primeiro satélite artificial a orbitar a Terra, e em 1961, Yuri Gagarin tornou-se a primeira pessoa a viajar no espaço.

O Boeing 777 foi o primeiro avião totalmente desenhado e projectado com computadores, em 1994, e poucos anos mais tarde, em 2001, foi feito o voo mais longo realizado por um avião tripulado, que voou dos Estados Unidos, mais propriamente em Edwards AFB, até à Austrália, sem escalas e sem reabastecimento. Desde 2007 começaram a voar os gigantes Airbus A-330, com dois andares e capacidade para quase 500 passageiros.

Recentemente chegou ao mercado o modelo Boeing 787 Dreamline, feito com partes plásticas e produtos modernos desenvolvidos pela NASA, que apresentam maior duração e

diminuição de peso. Atualmente a Boeing (americana) e a Airbus (europeia) dominam o mercado mundial de grandes aviões. Também outras empresas entraram no mercado internacional, como a holandesa Fokker, a brasileira Embraer e a canadense Bombardier. A aviação para guerra também evoluiu, trazendo aviões de quinta geração como o caça F 22 Raptor, e o B2 Spirit, um bombardeiro nuclear invisível aos radares.



Imagem 5 - B2 Spirit.

(Fonte: <http://www.largepiet.com/hd-wallpapers/b-2-spirit-cool-wallpapers-235-images.html>)

A evolução da aviação está longe de estagnar, sempre com o objectivo de locomover pessoas e mercadorias de um ponto a outro rapidamente. Cogita-se que estão por aparecer aeronaves espaciais com tecnologia como RLV (Reusable Launch Vehicle).

## 2.2 TIPOS DE AERONAVES

Antes de se iniciar a descrição do tipo de aeronaves é necessário apresentar a sua definição. Assim sendo, segundo o código da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), aeronave define-se como sendo todo o aparelho manobrável em voo, que possa sustentar-se e circular no espaço aéreo, mediante ações aerodinâmicas, e que esteja pronto para transportar pessoas e objetos. (ANAC, Código Brasileiro de Aeronáutica, 1986)

As aeronaves podem classificar-se em dois grupos, as mais leves que o ar e mais pesadas que o ar.

Seguidamente serão classificados e caracterizados os principais tipos de aeronaves (adaptado: (ANAC, 2010)):

- **Aeronaves mais leves que o ar ou aeróstatos:** sustentam-se de um modo aerostático. A esta categoria pertencem:
  - os balões, cativos e livres, sem sistema autónomo (motores);
  - e os moto-balões e dirigíveis, munidos de sistema autónomo.
- **Aeronaves mais pesadas que o ar ou aerodinos:** a sua sustentação faz-se de um modo aerodinâmico sendo todas providas de um sistema autónomo. Esta categoria engloba:
  - aviões, hidraviões e aparelhos anfíbios;
  - giraviões (helicópteros, girodines e autogiros);
  - combinados (avião-giravião).
- **Combinados aerodino-aeróstato:** helicostato ou balão-helicóptero provido de motores.

Relativamente ao modo de propulsão dos aviões, pode-se agrupar em dois sistemas:

- Propulsão por reação indireta com propulsor mecânico (hélice);
- Propulsão por reação direta (sem propulsor mecânico).

### 2.3 TIPOS DE AERÓDROMOS

Denomina-se aeródromo a uma superfície terrestre ou aquática que permite a partida e chegada de aeronaves. Esta definição também abrange as edificações e instalações, que possam existir, destinadas ao tráfego aéreo.

Um hidroaeródromo (plano de água) é a definição de um aeródromo de superfície aquática.

Os aeródromos podem ser classificados quanto à sua importância e quanto à sua utilização:

- **Quanto à importância:**
  - **Aeroporto:** aeródromo que dispõe constantemente das instalações e serviços necessários ao tráfego de passageiros e mercadorias e, para recolha, manutenção e reparação das aeronaves.
  - **Campo de aviação:** todos os aeródromos que não sejam aeroportos.
  
- **Quanto à utilização:**
  - **Aeródromo regular:** aeródromo usado como escala regular de uma rota.
  - **Aeródromo de alternativa:** aeródromo criado especialmente para substituir o aeródromo regular, quando este não estiver praticável.
  - **Aeródromo suplementar ou de recurso:** aeródromo especialmente designado para ser utilizado pelas aeronaves quando estas não conseguem atingir o aeródromo regular ou o de alternativa a que se dirigem.

(adaptado: (ANAC, 2010))

## 2.4 INSTALAÇÕES GERAIS DE UM AERÓDROMO

É nas pistas que se efetuam as operações técnicas de aterragem e descolagem, que por sua vez se associam ao espaço aéreo, cuja extensão pode ser considerável.

Denomina-se zona de movimento ao conjunto das pistas e caminhos de circulação destinados a estabelecer a ligação em terra das aeronaves entre as zonas de estacionamento e aterragem. A zona de estacionamento do aeródromo é onde as aeronaves estacionam para embarque ou desembarque de passageiros e mercadorias, reabastecimento, recolha ou manutenção e, plataforma de estacionamento é a zona de estacionamento pavimentada.

O bloco técnico, da qual a torre de comando é a parte principal, está ligado à zona de movimento e agrupa as instalações necessárias à regulação da circulação nas proximidades do aeroporto e sobre si próprio.

A zona administrativa é constituída pelo conjunto das instalações terminais de passageiros (aerogare) e as instalações anexas como hotéis, restaurantes, estações de serviço e comissariados destinados a fornecer aos aviões.

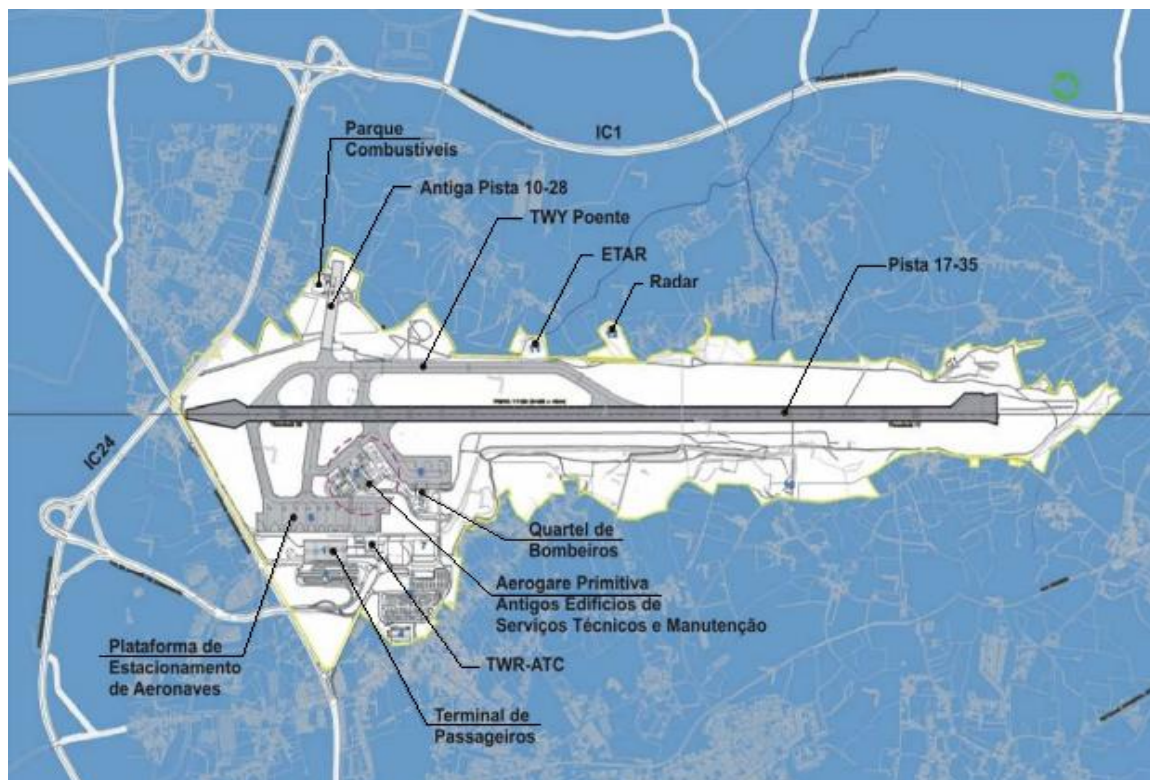


Imagem 6 - Layout do Aeroporto Sá Carneiro, no Porto, em 2007.

(Fonte:(Paiva, Manuel, Março 2007))

A imagem 6 é apresentada a título de exemplo e representa a planta do aeroporto Sá Carneiro, no Porto, com a identificação de cada uma das suas zonas.

O aeroporto compreende ainda uma zona industrial ligada aos hangares, onde se encontram as áreas de manutenção e de recolha, oficinas, instalações de lavagem, estações insonorizadas para regulação dos motores, entre outros.

Existe também uma zona particular que contém os hangares particulares e das companhias de aviação.

O aeroporto deve ainda conter instalações próprias de segurança contra incêndios, acolhendo permanentemente o material e pessoal necessário à segurança das aeronaves e das construções do aeroporto.

(adaptado: (ANAC, 2010))

## 2.5 REGULAMENTAÇÃO

O Instituto Nacional de Aviação Civil (INAC) é um instituto público integrado na administração indireta do Estado Português, com independência administrativa e monetária, e tem como finalidade monitorizar e regulamentar o sector da aviação civil. Este assiste e coopera com o Governo em termos aeronáuticos.

A 28 de Abril de 1948, foram aprovadas em Portugal as normas e práticas internacionais aconselhadas para aeródromos, nos termos das disposições da Convenção de Chicago (artigo 37º da Convenção sobre Aviação Civil Internacional, 1944), nomeadamente a ICAO.

A Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) visa promover e apoiar o crescimento sustentável do transporte aéreo e auxiliar em todos os aspetos da aviação civil internacional. O seu objetivo é desenvolver, de uma forma metódica e segura, a aviação civil internacional. Além disso, apoia e serve de fórum para a cooperação dos domínios da aviação entre os seus Estados-Membros.

No artigo 37 da Convenção de Chicago, dispôs-se que a ICAO elegeu normas e práticas recomendadas para a aviação civil a nível internacional, denominadas Anexos à Convenção. Desses anexos, surge o “Anexo 14 – Volume I”, que está directamente relacionado com a configuração, estrutura e funcionalidade dos aeródromos. (adaptado: (Fernandes, 2010))

## 2.6 REGULAMENTAÇÃO EM ANGOLA

A Agência de Aviação Civil (AAC) é uma autoridade administrativa autónoma que tem a seu cargo não só a regulação técnica e económica, como também a regulamentação e a supervisão de todo o sector da aviação civil em Angola.

Desde 2004, ano em que foi criada, está a desenvolver um esforço no sentido da estruturação e consolidação do setor da aviação civil através da promoção de um elevado nível de segurança das atividades de aviação civil e da promoção da eficiência e regularidade do transporte aéreo.

No sector aeroportuário angolano (que integra os Estados-Membros da ICAO), são sobretudo utilizadas as Normas de Projeto, de Operação e Manutenção definidas pela ICAO e pela FAA (*Federal Aviation Administration*, entidade governamental dos Estados Unidos responsável pelos regulamentos e todos os aspetos da aviação civil) e supervisionadas pela AAC.

A Empresa Nacional de Operações de Aeroportos e Controle de Tráfego Aéreo (ENANA), criada a 13 de Fevereiro de 1980, como consta do decreto nº 14/80 (D.R. nº36), é uma empresa pública ligada ao Ministério dos Transportes, que opera e administra o tráfego aéreo civil em Angola.

## 2.7 CÓDIGO DE REFERÊNCIA DO AERÓDROMO (ARC)

O código de referência do aeródromo (ARC), além de conter vários critérios de projeto de aeródromos, constitui um termo de correspondência entre o aeródromo e a aeronave que ele acomoda. O ARC é composto por dois termos, características de desempenho da aeronave e características geométricas da mesma.

Quando uma aeronave possui as características mais litigantes para os dois termos supracitados, é chamada de aeronave crítica, considerando critérios cuja base de especificação contenha somente o ARC.

De modo a uniformizar a nomenclatura entre ICAO e FAA, o primeiro termo do ARC denomina-se por grupo dinâmico e o segundo por grupo geométrico. Inicialmente, designados por *code number* e *code letter*, respetivamente, para o ICAO e, *aircraft approach category* e *airplane design group*, respetivamente, para a FAA. (adaptado: (Silva, 2012))

Conforme o exposto no Anexo 14 do ICAO, o grupo dinâmico baseia-se no comprimento da pista, CBP, enquanto o grupo geométrico na envergadura e *Wheel span* (largura do trem principal entre as extremidades das rodas). A tabela 1 relaciona o ARC com intervalos característicos das aeronaves, conforme estabelecido pela ICAO.

Tabela 1- Código de referência do aeródromo (ARC), segundo ICAO.

Elemento 1 do Código		Elemento 2 do Código		
Grupo dinâmico	Comprimento base da pista	Grupo geométrico	Envergadura	Wheel span
1	Inferior a 800m	A	Inferior a 15m	Inferior a 4,5m
2	De 800m a 1200m (exclusive)	B	De 15m a 24m (exclusive)	De 4,5m a 6m (exclusive)
3	De 1200m a 1800m (exclusive)	C	De 24m a 36m (exclusive)	De 6m a 9m (exclusive)
4	1800m e superior	D	De 36m a 52m (exclusive)	De 9m a 14m (exclusive)
		E	De 52m a 65m (exclusive)	De 9m a 14m (exclusive)
		F	De 65m a 80m (exclusive)	De 14m a 16m (exclusive)

(ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).)

Para a FAA o grupo dinâmico é baseado na categoria de aproximação da aeronave (*aircraft approach category*), e o grupo geométrico na envergadura e altura do estabilizador. A tabela 2 categoriza o ARC, relativamente à FAA.

Em relação ao grupo geométrico, o que conta é a característica mais adversa, quer pelo ICAO quer pelo FAA.

Tabela 2 - Código de referência do aeródromo (ARC), segundo FAA.

Elemento 1 do Código		Elemento 2 do Código		
Grupo dinâmico	Velocidade de aproximação	Grupo geométrico	Envergadura	Altura do estabilizador
A	Inferior a 91nós	I	Inferior a 15m	Inferior a 6,1m
B	De 91nós a 121nós (exclusive)	II	De 15m a 24m (exclusive)	De 6,1m a 9,1m (exclusive)
C	De 121nós a 141nós (exclusive)	III	De 24m a 36m (exclusive)	De 9,1m a 13,7m (exclusive)
D	De 141nós a 166nós (exclusive)	IV	De 36m a 52m (exclusive)	De 13,7m a 18,3m (exclusive)
E	166nós e superior	V	De 52m a 65m (exclusive)	De 18,3m a 20,1m (exclusive)
		VI	De 65m a 80m (exclusive)	De 20,1m a 24,4m (exclusive)

(FAA AC 150/5300-13 (1989, p.1).)

### 3. ONDJIVA

#### 3.1 BREVES REFERÊNCIAS DO LOCAL

Ondjiva é a capital da província angolana de Cunene, cujo Governo está organizado segundo o decreto-lei n.º 17/99, de 29 de Outubro (Lei Orgânica dos Governos das Províncias, das administrações dos Municípios e das Comunas).

Cunene conta com cerca de 230.000 habitantes numa área total de 87.342 Km<sup>2</sup>, quase do tamanho de Portugal (91.985Km<sup>2</sup>).



Imagem 7 - Localização da província do Cunene em Angola.

(Fonte: <http://blogueforanadaevaotres.blogspot.pt/2010/11/guine-6374-p7285-historia-de-vida-34-do.html>)

O clima desta província é tropical seco, com pluviosidade irregular não excedendo os 600mm por ano. Apresenta uma temperatura média anual de 23 graus Celsius, com grandes amplitudes térmicas diárias. A maior concentração de precipitação de água acontece entre os meses Dezembro e Abril, sempre com grande variação na sua distribuição.

Os seus habitantes dedicam-se essencialmente à produção agrícola (milho, massambala e massango), algodão, cana-de-açúcar, citrinos, videiras, tabaco, trigo, feijão, horticultura e madeiras (devido à floresta tropical seca).

A Província tem um sistema financeiro e bancário assegurado pelos Bancos de Fomento e de Poupança e Crédito, que desempenham uma função de crédito público e asseguram todas as operações financeiras afins. Também registou ações de formação do INAPEM (Instituto Nacional de Apoio às Micro, Pequenas e Médias Empresas), de forma a capacitar as empresas para o correto exercício das atividades em que estão envolvidas.

Expõe um solo de natureza sedimentada, com alguns aglomerados do solo Pré-câmbrico na parte ocidental, já a vegetação é do género savana com 46% de solo ocupado pela formação de floresta com árvores, arbustos e gramíneas; 23% ocupado com a formação de zona árida de solo argiloso com algumas árvores; e, 20% com gramíneas de fraco valor nutritivo e abundância de árvores espinhosas.

Cerca de 11% da superfície exhibe formações geológicas de rocha metamórfica, sendo também abundante a formação de rochas sedimentares.

A história dos povos desta província remota aos feitos do último rei de Kwanyama, o célebre Mandume, que enfrentou o poderio militar dos portugueses, na primeira década do séc. XX, para defender o seu território. Mandume morreu no ano de 1917.

A língua bantu mais falada na região do Cunene é o Cuanhama, nome que também classifica um povo angolano do Sul.

Ondjiva, antiga Vila Pereira d'Eça, é a sede do município do Cuanhama e capital da província do Cunene, que é a província que se localiza mais a Sul de Angola, a 31

quilómetros da Namíbia. Ao longo da guerra contra a África do Sul, foi uma cidade muito destruída pela aviação do exército do regime do *apartheid*.

Em análise das recentes transformações sociais na cidade de Ondjiva, destaca-se a manutenção e o fortalecimento de organizações e apoios sociais, que têm apoiado a população na adaptação do rápido crescimento urbano e socioeconómico.

(Fonte: (Urban stratification in Angola (Luanda and Ondjiva) de Cristina Udelsmann Rodrigue., Junho de 2007))

### 3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO CUVELAI

Ondjiva faz parte do território pertencente à Bacia do Cuvelai, que abarca uma ampla rede de canais fluviais efémeros partilhada entre Angola e Namíbia.

Os níveis de água acima do normal e as inundações chamam à atenção sobre as águas na Bacia do Cuvelai e às pessoas que aí vivem. Devido às recentes inundações, pontes, estradas e habitações ficaram gravemente danificadas e algumas pessoas perderam a vida.

A Bacia do Cuvelai também é chamada de Bacia do Etosha ou Bacia do Kwanyama, apresenta uma área geográfica de cerca de 159.000 quilómetros quadrados repartidos entre Angola e Namíbia.

Esta bacia integra o rio Cuvelai a montante, e este ramifica-se em vários cursos de água passageiros, designados de chanas, que são a fonte de vida e o sustento das populações que habitam na sua área circundante.

Sendo as condições da zona bastante agrestes verificam-se inundações destrutivas ou, secas que obrigam a que as populações que habitam na área da bacia recorram por vezes à água subterrânea para sobreviverem. Todavia, verifica-se uma escassez de furos e cacimbas, que torna difícil o abastecimento de água.

No Cuvelai predominam chanas superficiais, que arquitetam uma larga rede interligada.

Esta Bacia está situada entre o rio Cunene e o rio Cubango, em Angola.



Imagem 8 - Localização da bacia do Cuvelai.

(Fonte: (CUVELAI - Water and People, 2011))

Sendo que a pluviosidade é maior em Angola e que existe um pequeno declive de Norte para Sul, a água que corre na Namíbia vem de Angola.

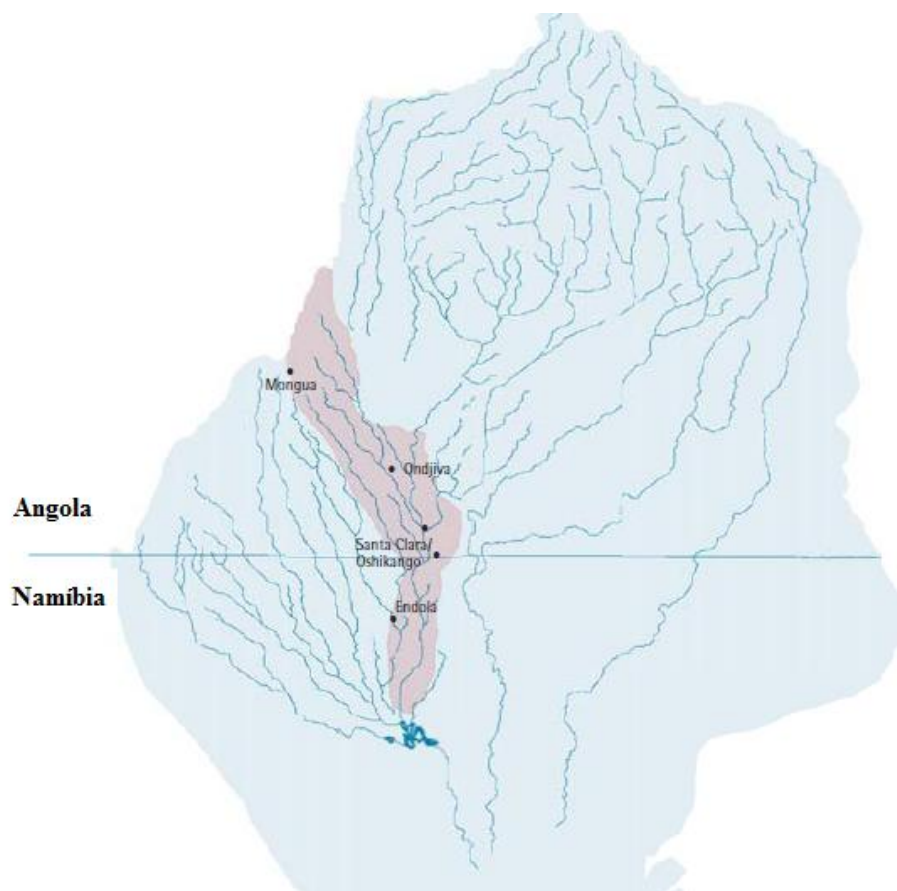


Imagem 9 - Zona de drenagem central da Bacia do Cuvelai.

(Fonte: (CUVELAI - Water and People, 2011))

Nestas zonas existem reações de água de inundação e, podem ocorrer ondas de inundação.

A rede de canais transporta as enchentes progressivamente para Sul, passando pela fronteira da Namíbia até chegar ao Rio Ekuma.

Em anos de elevada pluviosidade, as águas acumuladas e convergentes podem causar inundações, que levam a graves danos para as populações das áreas circundantes, nomeadamente Ondjiva, Santa Clara e Oshikango e Oshikati. As vagas de enchentes levam semanas para percorrer uma distância de cerca de 200 quilómetros.

Em Ondjiva e algumas cidades angolanas foram recentemente construídos diques, que evitam que as enchentes destruam as fundações das habitações.

É importante referir as cheias que assolam o país, na medida em que se torna imprescindível que existam diques a nordeste do aeroporto de Ondjiva, para a contenção da água proveniente das chanas, de modo que o nível da água esteja controlado e não existam problemas com a qualidade o pavimento, originando a insegurança e incomodidade dos passageiros.



Imagem 10 - Rio Kwanza, em Angola.

(Fonte: <http://envolverde.com.br/ambiente/arrancada-brasileira-para-um-rio-de-eletricidade/>)

### 3.3 AEROPORTO DE ONDJIVA

O aeroporto de Ondjiva recebe cerca de 450 passageiros por dia, que utilizam o aeroporto como meio de passagem da África do Sul para a Namíbia.

Atualmente é um dos melhores aeroportos de Angola, em função da recente reabilitação de que foi alvo, onde para além da beneficiação da pista houve uma ampliação da aerogare (salas de embarque, desembarque e zona de serviços).

Numa entrevista à Angop, a 7 de Maio de 2010, António Sangada, diretor geral da instituição, referiu que o atual aeroporto possui quatro balcões, em detrimento dos dois iniciais e, é detentor de Raio X, sistema de monitorização, serviços de cobertura por televisão e cabine de som. Refere também que estão a decorrer os trabalhos de reparação da nova torre de controlo e que se está a preparar a instalação de uma consola para a melhoria do funcionamento dos equipamentos.

Segundo o diretor do Aeroporto de Ondjiva, o avião mais crítico para a pista é o Boeing 737-800, e apenas a TAAG (Linhas Aéreas de Angola) efetua os voos comerciais para Ondjiva, com frequência diária de três voos.

Na área das comunicações, o VHF e o UHF estão operacionais e está prevista a instalação de novos equipamentos para se efetuarem comunicações terra-ar e terra-terra. Perspetivam-se voos noturnos e nesse sentido, estão a ser estudados equipamentos que dotem a torre de informação meteorológica, de modo a torná-la fiável, uma vez que o INAMET, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, não desempenha adequadamente as suas funções.

O enquadramento geográfico do aeroporto pode ser visto no anexo I.1.



Imagem 11 – Vista Aeroporto de Ondjiva, Angola.

(Fonte: <http://www.angolabelazebelo.com/2012/06/conheca-ondjiva-por-estas-imagens/>)

Também está em fase de análise o aumento de dimensão da placa de estacionamento, para permitir um aumento do número de voos.

O parque de estacionamento adjacente ao edifício foi construído para uma lotação de 88 viaturas, com previsão para a instalação de cancelas eletrónicas para cobrança do parque.

Fazem parte das inovações do Aeroporto de Ondjiva as escadas rolantes, que transportam as bagagens desde os balcões de *check-in* até à porta da sala de embarque.

As plataformas do aeroporto carecem de obras de beneficiação, que já foram aceites pelo Ministério das Obras públicas. Existe a necessidade de receber mais aviões e aumentar o armazenamento de mercadorias.

A pista do atual aeroporto tem capacidade para o estacionamento de quatro aviões de médio porte e conta com uma pista de 3.245 metros de comprimento e 30 metros de largura. O intento é alargá-la para 45 metros, revelou António Didalelua, governador do Cunene, em entrevista no dia de entrega da obra (edifício de apoio às infraestruturas), em 2009.

É neste ponto que se insere a dissertação, para avaliar as condições atuais do aeroporto e projetar melhorias do pavimento e aumento da pista que sirvam para as expectativas futuras.

Os problemas do aeroporto são: a degradação e deterioração dos *taxiways*; a necessidade de remodelação das cabeceiras, uma vez que as atuais são feitas em pavimento flexível e deveriam de ser em pavimento rígido, porque enquanto a aeronave gira sobre si mesma para obter a correta posição de descolagem e enquanto espera para o iniciar o voo, provoca uma elevada carga estática, que é melhor suportada por um pavimento rígido; e, o aumento da largura da pista, sendo que o comprimento atual é mais do que suficiente para a aeronave crítica.

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO DE ONDJIVA

Avião crítico: Boeing 737-800

Na tabela 3 são apresentadas as características do avião crítico.

Tabela 3 - Características gerais do Boeing 737-800..

Tipo de avião	Boeing 737
Modelo	737-800
Comprimento total (m)	31-42
Envergadura (m)	35,79
Comprimento do campo de descolagem (m)	1600-3000
Distância entre eixos (m)	15,6
Distância entre rodas ext. (m)	5,7

A pista do aeroporto de Ondjiva apresenta um grau e um padrão de patologias que se têm amplificado ao longo dos anos e que necessita atualmente da realização de trabalhos de reparação.

Por outro lado, o crescimento da província e conseqüentemente do tráfego impõe a necessidade de avaliar se o tempo de vida útil do pavimento é realmente compatível com o nível de solicitação a que seria submetido.

### 3.5 ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DO AEROPORTO DE ONDJIVA

O aeroporto de Ondjiva é constituído por uma pista, dois *taxiways*, uma placa que alberga as aeronaves, um edifício de apoio à pista, onde estão os balcões de atendimento, *check in*, sala de embarque e os restantes serviços de apoio às aeronaves, um parque de estacionamento contíguo ao edifício e uma torre de controlo. No anexo I.2 é apresentada uma planta do aeroporto atual.

Tal como todos os aeroportos, possui um “Lado Ar” e um “Lado Terra” (no anexo I.2 pode visualizar-se a adaptação ao aeroporto de Ondjiva). O primeiro refere-se a toda a área do aeroporto constituída pelas zonas da pista, *taxiways* e edifícios de acesso a essas áreas, limitadas pelo controlo das autoridades públicas e administrativas dos serviços. O segundo por todas as áreas do aeroporto às quais é permitido o acesso ao público, limitado pelas autoridades públicas e administrativas dos serviços. (adaptado: (Governo, 2006))



Imagem 12 - Aeroporto de Ondjiva, através do Google Earth.

### 3.6 PROPOSTA DE ALTERAÇÃO GEOMÉTRICA DO AEROPORTO

Para tornar o aeroporto de Ondjiva mais funcional e atendendo a perspectivas de aumento do número de voos e passageiros, propõe-se:

- o alargamento da pista, para que esta adquira as medidas preconizadas no ICAO;
- o aumento da atual plataforma de estacionamento das aeronaves, sendo que se prevê um aumento do número de aeronaves e companhias aéreas a operar no aeroporto;
- construção de um hangar junto à plataforma de estacionamento, para que se efetuem as manutenções num local mais resguardado e, simultaneamente, se alberguem algumas aeronaves no mesmo;
- a alteração do local da torre de controlo, para um local onde se consiga alcançar um horizonte no mínimo correspondente às áreas de visão cujo controlo aéreo ela efetua e onde possa integrar com maior comodidade equipamentos atuais;
- e, a alteração da posição do *taxiway* situado a sudeste (coloca-lo mais próximo da cabeceira), permitindo que ao sair da pista as aeronaves se encaminhem diretamente para o hangar.

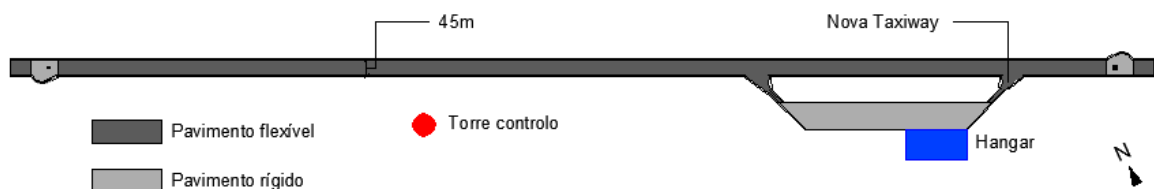


Imagem 13 - Alteração geométrica proposta para o aeroporto de Ondjiva em Angola.

## 4. PAVIMENTAÇÃO AEROPORTUÁRIA

### 4.1 DEFINIÇÕES GERAIS DE INFRAESTRUTURAS AEROPORTUÁRIAS

Entende-se como infraestrutura aeroportuária a área que compreende os serviços necessários para a realização de aterragens e descolagens de aeronaves. (*Ashford, et al., 1996*)

A pista (*runway*) é um elemento que se destaca num aeródromo. Constituída por uma zona retangular pavimentada bastante longa, preparada para a aterragem e descolagem de aeronaves ao longo do seu comprimento.

Os caminhos de circulação ou pistas de táxi (*taxiways*) constituem os caminhos terrestres que asseguram as ligações entre as várias partes de um aeroporto, como hangar ou pista.

As outras zonas pavimentadas têm o nome de placas ou plataformas, e recebem outras designações mediante a sua finalidade.

As plataformas de estacionamento são áreas pavimentadas que se destinam a acondicionar aeronaves para fins de embarque ou desembarque de passageiros, abastecimento de combustível, estacionamento ou manutenção.

Uma plataforma de manutenção (*hangar*) é a área pavimentada destinada à manutenção das aeronaves.

As plataformas de espera (*overrun*) são áreas que se situam na cabeceira das pistas, onde as aeronaves podem esperar a sua vez de entrar na pista, sem obstruir os caminhos de circulação de acesso à mesma.

As plataformas de segurança são áreas situadas em locais isolados do aeroporto e é para lá que são levados os aviões em cargas especiais ou sujeitos a atos de pirataria aérea.

(adaptado: (Fernandes, 2010))



Imagem 14 - Aeroporto de Toronto, com indicação dos vários tipos de plataformas.

(Fonte:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Toronto\\_City\\_Center\\_Airport.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Toronto_City_Center_Airport.jpg))

## 4.2 PAVIMENTOS AERONÁUTICOS

Os pavimentos aeronáuticos são projetados, construídos e reabilitados de modo a suportar as cargas transmitidas pelas aeronaves e proporcionar uma circulação segura e confortável. O pavimento deve resistir à ação do tráfego, às condições climáticas, vento e sucção dos reatores e hélices, ações químicas provocadas pelo derrame de combustíveis, óleos e outros componentes e, deve manter-se limpo e isento de partículas soltas, para que a circulação das aeronaves seja segura.

O dimensionamento correto e adequado do pavimento é essencial para alcançar o nível de serviço de circulação solicitado. Deste modo, é necessário decidir a espessura das camadas dos pavimentos e quais os materiais utilizados, as propriedades do solo de fundação, os tipos de movimentos das aeronaves e a sua duração, o tipo de carga transportado e as condições do meio envolvente (precipitação, temperatura ambiente, etc.). (adaptado: (Fernandes, 2010))

O peso bruto da aeronave é muito importante no dimensionamento da estrutura do pavimento. Para calcular os esforços, pode considerar-se que 95% do peso máximo de decolagem, contanto com o peso do combustível, é transmitido pelo trem de aterragem principal, e os restantes 5% são transmitidos pelo trem dianteiro ou de nariz, como se ilustra na imagem 15.

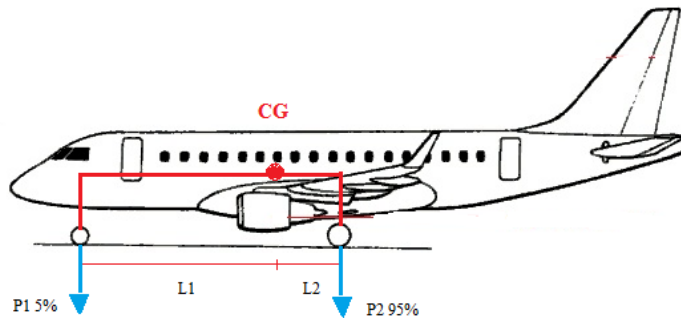


Imagem 15 - Distribuição das cargas pelo trem de aterragem.

(Adaptado: (Fernandes, 2010))

A configuração geométrica e o tipo de trem de aterragem estabelecem a distribuição do peso da aeronave no pavimento e, por conseguinte as espessuras a considerar no projeto.

Por este motivo, foi produzido um índice com o número de classificação das aeronaves – ACN (*Aircraft Classification Number*). Para determiná-lo é necessário conhecer as características operacionais das aeronaves, como a posição do centro de gravidade, tipo de trem de aterragem, pressão dos pneus, etc.

O ACN, que basicamente representa o efeito das aeronaves no pavimento, é disponibilizado pelos fabricantes das aeronaves (FAA, 2006).

No anexo II.1 é apresentado o ACN de várias aeronaves comerciais.

A frequência dos movimentos, ou seja, o volume de tráfego, é outro dado imprescindível para o dimensionamento, sendo necessário executar previsões acerca do número e tipo de movimentos (decolagem, aterragem) anuais por tipo de aeronave. A aeronave crítica é a que exigir maior resistência do pavimento e mais limitações operacionais.

Quando são aplicadas cargas maiores do que as definidas em projeto há uma redução da vida útil dos pavimentos.

Para além do número de classificação das aeronaves – ACN – foi criado também o número de classificação do pavimento – PCN (*Pavement Classification Number*) – que expressa a capacidade estrutural do pavimento. Este valor resulta de vários fatores como a capacidade de carga de suporte do solo de fundação, capacidade dos pneus e outras informações consideradas importantes para o uso operacional.

Com o intuito de padronizar a classificação da resistência dos pavimentos, desenvolveu-se o método ACN/PCN, que torna possível traduzir o efeito de uma aeronave em diversos tipos de pavimentos, através de um valor que varia mediante a configuração do trem da aeronave, do tipo de pavimento e da resistência de fundação do pavimento (adaptado: (Fernandes, 2010).

Neste campo de ação, a ICAO definiu que pavimentos onde trabalhem aeronaves com peso superior a 5700 Kg devem ser avaliados segundo a classificação ACN/PCN.

Um valor de PCN igual ao valor de ACN da aeronave indica a mesma aeronave pode operar no pavimento, mas com algumas limitações à pressão de enchimento dos pneus e à carga total transportada (ICAO, 2004).

Atendendo a este facto, este método obriga à promulgação dos seguintes dados (ICAO, 2004):

- Valor de classificação do pavimento;
- Tipo de pavimento;
- Resistência do solo de fundação;
- Valor máximo ou categoria de pressão de enchimento dos pneus;
- Método utilizado para a avaliação do pavimento (técnica ou empírica).

O método ACN/PCN relaciona a carga de uma aeronave com o efeito que esta produz sobre o pavimento, portanto apenas proporciona informações sobre a compatibilidade entre a aeronave e o pavimento.

### 4.3 TIPOS DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

As principais funções de um pavimento são resistir estruturalmente às cargas induzidas pelo tráfego, a agentes ambientais externos e proporcionar comodidade e níveis de operacionalidade ajustados ao que se destinam.

O pavimento dos aeroportos é constituído por várias camadas com alta resistência ao esmagamento e por uma camada de espessura inferior, que resiste ao desgaste. Nas camadas inferiores do pavimento são frequentemente utilizadas rochas e material granular selecionado, que apresenta elevada resistência ao esmagamento, enquanto a camada superficial, vocacionada para resistir ao desgaste da passagem das rodas, é constituída, geralmente, por uma mistura de materiais com ligante, que aglutina os diferentes componentes dessa camada.

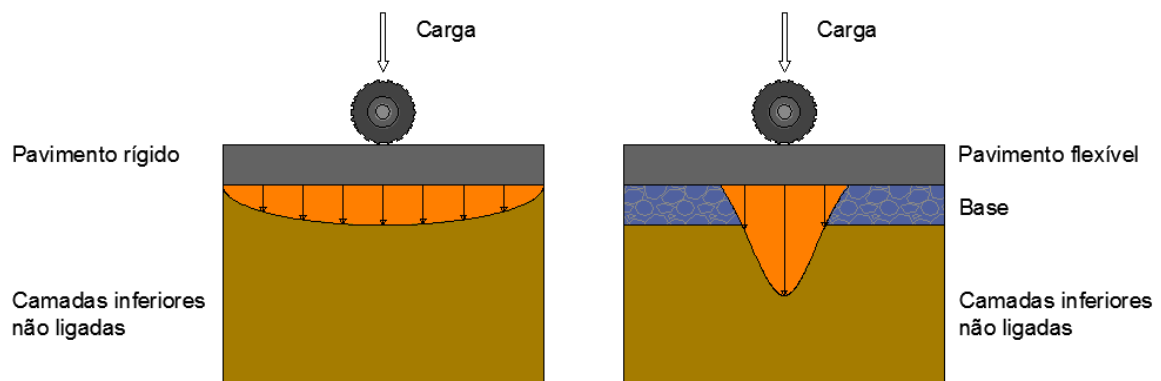


Imagem 16 - Esquema da distribuição de cargas nos pavimentos rígido e flexível.

(Adaptado: (Fernandes, 2010))

Geralmente os pavimentos aeronáuticos são divididos em dois tipos: pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos. No entanto, podem existir os pavimentos semirrígidos, em que se juntam características dos dois pavimentos anteriores num mesmo pavimento.

A FAA apenas classifica os pavimentos como sendo flexíveis ou rígidos.

#### **4.3.1 PAVIMENTOS RÍGIDOS**

O pavimento rígido é por regra estruturado por três camadas: a camada superior, ou laje, constituída por betão betuminoso, sendo simultaneamente a camada de desgaste e de base; seguidamente a camada de sub-base, composta por betão podre, agregados de granulometria extensa e solo-cimento (solo estabilizado com ligante hidráulico), que deve garantir a um bom suporte para a camada anterior e uma superfície estável e uniforme para a mesma; e, por fim o leito do pavimento, que deve ser homogéneo (material granular) e impermeável. Se esta última camada apresentar uma grande diversidade de materiais, pode apresentar uma grande variedade de características físicas e mecânicas e por isso o seu solo deve ser melhorado (solos tratados e selecionados).

Este tipo de pavimento apresenta um módulo de deformabilidade elevado, conferindo-lhe um comportamento mais rígido, o que leva o pavimento a distribuir uma menor tensão às camadas mais profundas. Além disso, o pavimento rígido tem uma elevada resistência à flexão do betão, o que faz com não sofra deformações acentuadas, mesmo sujeito a temperaturas e tráfego elevados, sendo por isso normalmente aplicado nas cabeceiras e nas plataformas de estacionamento.

A pressão sentida no leito do pavimento é apenas uma pequena parte da tensão máxima exercida por um pneu de uma aeronave, uma vez que a absorção da laje é feita por uma grande área.

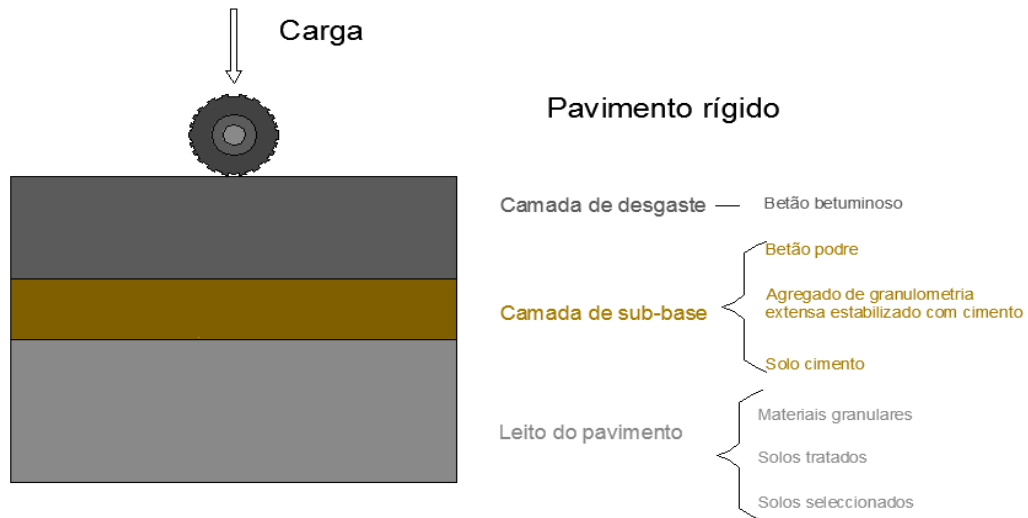


Imagem 17 - Composição característica de um pavimento rígido.

(Adaptado: (Fernandes, 2010))

Para garantir a impermeabilidade do pavimento, é necessário ter em atenção os materiais seleccionados e garantir uma boa selagem das juntas na camada da laje.

Os pavimentos rígidos são bastante resistentes aos químicos combustíveis e óleos.

Existem diversos motivos que têm feito crescer a opção de pavimento rígido, nos quais se destacam a resistência, a durabilidade, o menor custo de manutenção, menor risco de acidente e menor temperatura superficial.

A utilização deste tipo de pavimento é muito importante na construção ou reconstrução de pistas de aeroportos.

O custo inicial é mais elevado, mas assegura um longo ciclo de vida.

#### 4.3.2 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O pavimento flexível é uma estrutura constituída por pavimento betuminoso, base, sub-base e subleito, em que as cargas que nele atuam (tráfego) são distribuídas uniformemente entre as camadas que o compõe.

A constituição destes pavimentos pode oscilar, dependendo de fatores como disponibilidade de materiais no local, resistência do solo de fundação, condições climáticas, intensidade e tipos de tráfego. As camadas devem estar dispostas de modo a que os módulos de elasticidade ou rigidez diminuam com o aumento da profundidade.

Pretende-se que estes pavimentos apresentem elevada aderência, (para evitar a hidroplanagem das aeronaves), assim como resistência aos químicos, como combustíveis e óleos.

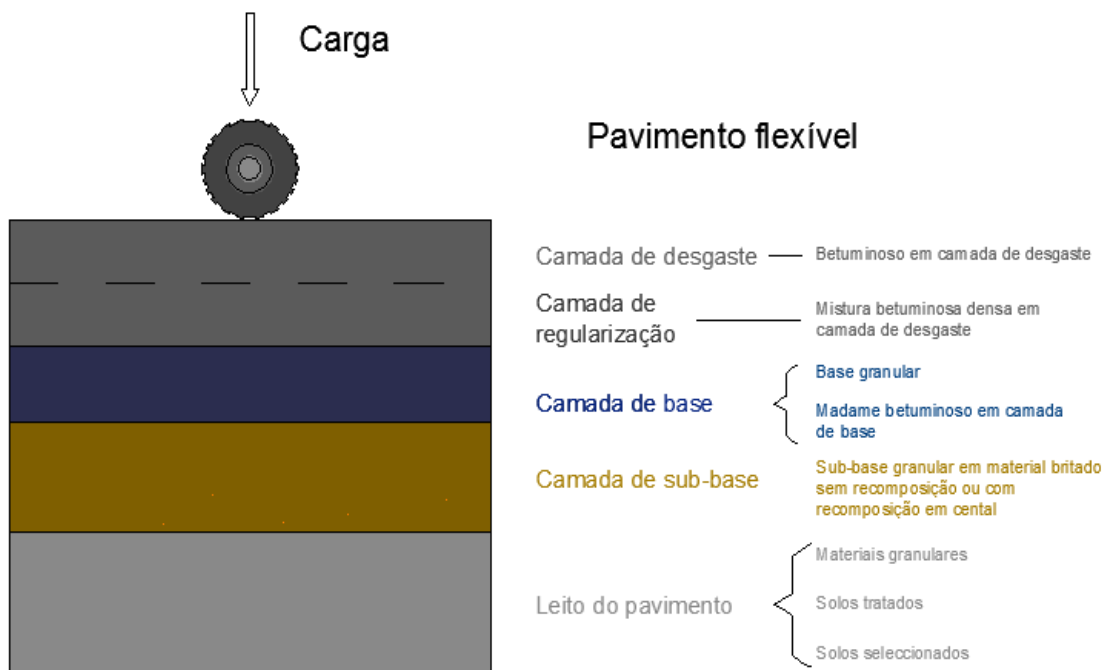


Imagem 18 - Composição característica de um pavimento flexível.

(Adaptado: (Fernandes, 2010))

#### 4.4 DEGRADAÇÕES DOS PAVIMENTOS AERONÁUTICOS

Tal como acontece com os pavimentos rodoviários, os pavimentos aeronáuticos encontram-se submetidos a várias ações externas que acarretam uma redução gradual da qualidade inicial, atingida logo após a construção.

A ação do tráfego e as condições climáticas geram solicitações que alteram as características iniciais dos materiais, originando degradações. E assim começa um ciclo, em

que as degradações iniciais evoluem, e dão origem a novas deformações, e estas, por sua vez, agravam as primeiras.

As degradações podem levar à ruína do pavimento.

Existem dois tipos de ruína do pavimento, a estrutural e a funcional. A primeira é caracterizada pela rotura total ao parcial da estrutura do pavimento, ou de um dos seus componentes e, pode ser acompanhada pela ruína estrutural. Esta faz com que o pavimento não desempenhe corretamente as suas funções, provocando insegurança, desconforto e induzindo solicitações impróprias ao trem das aeronaves.

(adaptado: (Silva, Benta, & Macedo, 2010))

As anomalias que se podem encontrar nos pavimentos aeroportuários dividem-se nos grupos que se seguem (adaptado de (Silva, Benta, & Macedo, 2010)):

- **Fissuras:** fissuras (longitudinais, transversais, diagonais, de canto e de bordo), fendilhação generalizada, canto partido e laje partida.

Os assentamentos, os esforços de retração, a insuficiente capacidade de suporte das camadas e a má execução das juntas são os principais fatores que estão na origem das fissuras longitudinais, transversais e diagonais.

As fissuras de canto e de bordo estão associadas ao ciclo gelo-degelo, à dilatação das lajes de betão e à perda de suporte, verificando-se nos pavimentos rígidos.

Fendilhação generalizada é a designação para um conjunto de fissuras interligadas. Esta patologia surge nos pavimentos rígidos por excesso sobrecarga ou perda de capacidade de suporte das várias camadas e, emerge nos pavimentos flexíveis através das retrações térmicas.

O canto partido resulta de sobrecarga excessiva na zona em questão, do empenamento da laje ou ainda por uma transferência inadequada dos esforços através dos varões das juntas.



Imagem 19 – Fissura transversal.

(Fonte: (Calo, 2012))

- **Assentamentos:** elevação total ou parcial da laje e assentamento.

A elevação total ou parcial pode verificar-se devido à expansão do solo pelo aumento do teor em água e, o assentamento pela consolidação do solo ou pelo seu empobrecimento.



Imagem 20 - Elevação parcial do pavimento.

(Fonte: <http://dc228.4shared.com/doc/8tMQvzdhd/preview.html>)

- **Desagregações:** podem ser de canto, de junta e superficiais.

Os dois primeiros tipos de desagregações advêm das tensões excessivas, do ciclo gelo-degelo da água nas juntas e da presença de elementos incompressíveis no seu interior. A última é fruto do envelhecimento do pavimento e da erosão provocada pelo tráfego.

- **Deformações:** ondulação, depressões e rodeiras, deslizamento lateral e empolamento.

Da associação entre ação de tráfego e deficiente ligação entre as camadas do pavimento surge a ondulação. As depressões e as rodeiras são o resultado do abatimento da resistência dos materiais ou de uma compactação ineficaz na fase de construção. O

deslizamento lateral é causado pela presença de misturas betuminosas inconstantes e, o empolamento deve-se à expansão do solo devido à ação da água



Imagem 21 - Ondulações no pavimento.

(Fonte: <http://dc228.4shared.com/doc/8tMQvzdh/preview.html>)

- **“Desincrustações:** Desincrustações e ejeção de água e elementos finos.

As desincrustações são o resultado do ciclo gelo-degelo em conjunto com agregados expansivos, em que a sílica reage com substâncias alcalinas, desincrustando os agregados e, a ejeção de água e elementos finos é provocada pela selagem incorreta das juntas, drenagem deficiente e tráfego intenso.



Imagem 22 - Desincrustação do pavimento.

(Fonte: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/geologo-diz-como-aumentar-a-vida-util-dos-pavimentos-251756-1.aspx>)

- **Deficiências de atrito:** exsudação, polimento dos agregados, erosão e derrame de combustíveis.

A associação do excesso de betume, com o baixo índice de vazios do pavimento e elevadas temperaturas leva à exsudação, ou seja, à evaporação da água presente na composição da laje. O polimento dos agregados provém da utilização de agregados com fracas

propriedades e ao tráfego intenso. A erosão surge devido à carbonização do ligante hidráulico presente no pavimento pelo escape dos motores e, o derrame de combustíveis que vem do derrame de óleos, de combustíveis e de outros solventes.

#### 4.5 ESTADO DO PAVIMENTO

É necessário conhecer em que estado se encontra o pavimento, nomeadamente superfície, estrutura e fundação, para se conseguir traçar planos de conservação, atendendo à segurança e comodidade de circulação das aeronaves, capacidade de carga, desempenho do pavimento e análise económica.

A avaliação de um pavimento compreende a sua observação, para que com os dados obtidos se possam realizar sistemas de gestão e manutenção adequados.

Os parâmetros que caracterizam o desempenho dos pavimentos são a capacidade estrutural, regularidade, estado superficial e resistência ao deslizamento.

O pavimento é avaliado pelo seu lado funcional e estrutural. O primeiro define a qualidade do pavimento relativamente à comodidade e segurança de circulação, o segundo refere-se ao nível de cumprimento com comportamento mecânico do pavimento, quando sujeito ao tráfego e das condições climatéricas.

É importante diferenciar estas duas condições uma vez que, um pavimento pode revelar vários tipos de degradações superficiais e mesmo assim possuir capacidade para suportar as cargas a que está sujeito, sendo que o contrário também se pode verificar, ou seja, um pavimento que aparentemente não apresenta patologias significativas, mas no entanto possui alguma debilidade estrutural que não lhe permite todo o tipo de solicitações impostas. (adaptado: (Fernandes, 2010))

Para avaliar o estado do pavimento pode-se fazer o ensaio de cargas repetidas, que consiste na aplicação de uma força na vertical, que é distribuída por um friso que gera

compressão na direção vertical e tração na horizontal e, o índice de suporte da Califórnia, que mede a resistência do solo, através da comparação do valor de compressão do mesmo com um valor padrão.



Imagem 23 - Ensaio de cargas repetidas para misturas asfálticas.

(Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/333820/>)

#### 4.6 JUNTAS

Os pavimentos de betão possuem juntas transversais e longitudinais nas quais a transmissão de cargas se realiza, ou por interpenetração do agregado ao nível dos seus bordos, ou através de varões de transmissão de carga. A função das juntas é de reduzir a fissuração no betão, devida tanto à retração como às tensões induzidas pelas variações da temperatura.



Imagem 24 - Juntas com selante.

(Fonte: <http://www.kiir.com.br/junta-pavimento.html>)

As juntas nos pavimentos rígidos são determinadas de acordo com a sua função no pavimento. Podem ser de expansão, de contração e de construção.

Seguidamente são realizadas considerações acerca das juntas, baseadas no documento *Airport Pavement Design and Evaluation*, publicado pela organização FAA, no ano de 1995.

As juntas de expansão têm a funcionalidade de isolar dois tipos de pavimentos, A e B. As do tipo A, por passador (imagem 25), são usadas quando é necessária transferência de carga entre as lajes do pavimento, possuem barras de transferência de cargas e são preenchidas por um material compressível resistente à extrusão, com espessura de 19 milímetros.

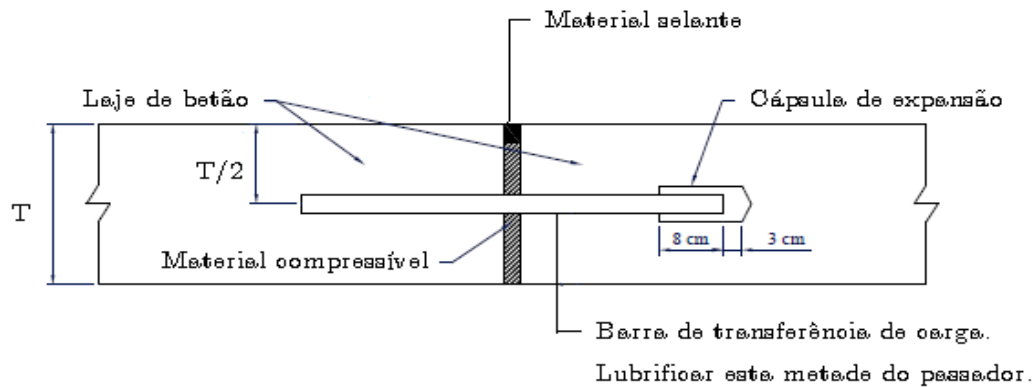


Imagem 25 - Junta tipo A, Passador.

(Fonte: (Silva L. F., 2009))

As juntas do tipo B, por bordo espesso (imagem 26), também com 19 milímetros, são utilizadas quando se empregam dispositivos de transferência de carga, ou quando o pavimento confina uma estrutura ou ainda quando possam ocorrer diferenciais de movimento horizontais no pavimento. Estas são formadas pelo aumento da espessura do pavimento do longo do bordo da laje, e não possuem barras de transferência de carga.

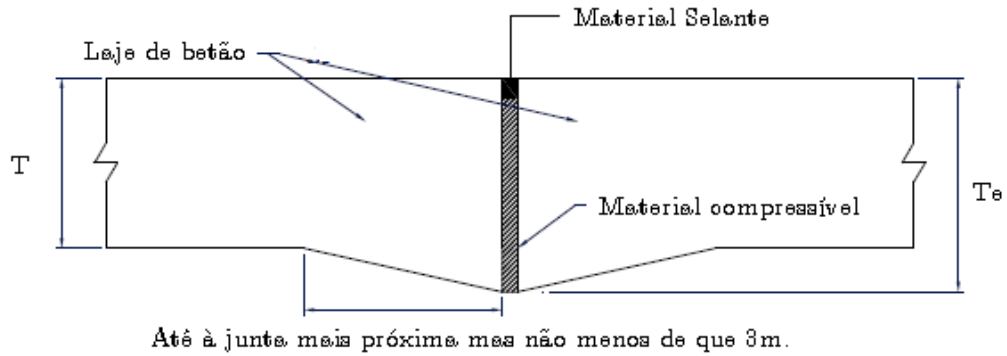


Imagem 26 - Junta tipo B, por bordo espesso.

(Fonte: (Silva L. F., 2009))

As juntas de contração controlam a fendilhação das lajes de betão do pavimento, devida às tensões geradas neste e provenientes da resistência provocada pelas camadas subjacentes. Os fenómenos que geram a variação do comprimento das lajes são a retração do betão, depois da pavimentação, e as variações de temperatura. Além dos problemas provenientes das oscilações de comprimento das lajes, existem os problemas de empenamento das mesmas, devidos também às mudanças de temperatura.

As juntas de construção são necessárias nos casos em que se procede à colocação de lajes adjacentes, em espaços de tempo diferentes, como por exemplo, a continuação dos trabalhos de pavimentação no dia seguinte.

Os varões, em aço, que executam a ligação entre as placas do pavimento podem ser do tipo passadores ou do tipo barras de ligação. Os primeiros possibilitam movimentos longitudinais entre as placas e permitem a transferência de carga nas mesmas. As segundas não têm a função de transferência de carga mas impedem o afastamento das placas, mantendo-as em contacto fechado.

De uma forma geral, pode dizer-se, que nos pavimentos rígidos sem presença de sub-base estabilizada, o espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais não deve exceder 24 vezes a espessura da laje.

Os pavimentos rígidos com presença de sub-base estabilizada, estão sujeitos a esforços elevados devido aos gradientes térmicos, logo verifica-se o empenhamento da laje que, sendo contrariado pela sub-base tratada, gera esforços significativos. Deste modo, o espaçamento entre as juntas da laje é determinado em função do raio de rigidez relativo,  $l$ , da laje, definido por Westergaard e representado na seguinte equação. (adaptado: (Silva L. F., 2009))

O rácio entre o espaçamento das juntas e o raio de rigidez relativa da laje tem de estar compreendido entre 4 e 6.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times K}} \quad [1]$$

Sendo que:

$E$  – Módulo de elasticidade do betão (psi).

$h$  – espessura da laje de betão (polegadas).

$\nu$  – Coeficiente de Poisson do betão.

$K$  – módulo de reação do leito do pavimento (psi).

O raio de rigidez relativo,  $l$ , tem a dimensão de comprimento e, quando calculado com as unidades presentes na equação e na sua legenda, toma o valor de polegadas.

Os pavimentos armados podem, ou não, possuir juntas transversais, designando-se os que não têm juntas por pavimentos de betão armado contínuo.

Nos pavimentos armados correntes a armadura funciona como a resistência à retração e aos efeitos provocados pelas modificações de temperatura.

No caso dos pavimentos estruturalmente armados a armadura tem também a função de resistir, em conjunto com o betão, à carga exercida pelo tráfego.

Nos pavimentos de betão armado contínuo a armadura deverá permitir a limitação das fissuras que seriam circunscritas por eventuais juntas transversais. Como nestes pavimentos não existem juntas transversais, existindo lajes de comprimento elevado, deverá ser feita a previsão de juntas de expansão adequadas que compensem as variações de comprimento provocadas pelos gradientes térmicos.



Imagem 27 - Pavimento em betão armado.

(Fonte: [http://www.ibts.org.br/jornal/jor0102\\_tx02.htm](http://www.ibts.org.br/jornal/jor0102_tx02.htm))

### ➤ JUNTAS DE DILATAÇÃO

As pistas de voo devem possuir juntas de dilatação, metálicas ou de borracha, e devem estar projetadas e ajustadas ao sistema de proteção. No seu projeto são considerados (Silva L. F., 2009):

- O tamanho da placa;
- Temperatura de instalação;
- Temperatura máxima que poderá ocorrer na face superior;
- Temperatura máxima correspondente na face inferior;
- Temperatura mínima na face superior;
- Temperatura mínima correspondente na face inferior.

O que dificulta o seu dimensionamento, para além do supracitado são as deformações irreversíveis do betão (retração e deformação lenta), que normalmente se verificam ainda na fase de realização da junta e que podem conduzir, no Inverno, a grandes aberturas.

A imagem 28 mostra o pormenor da selagem das juntas.

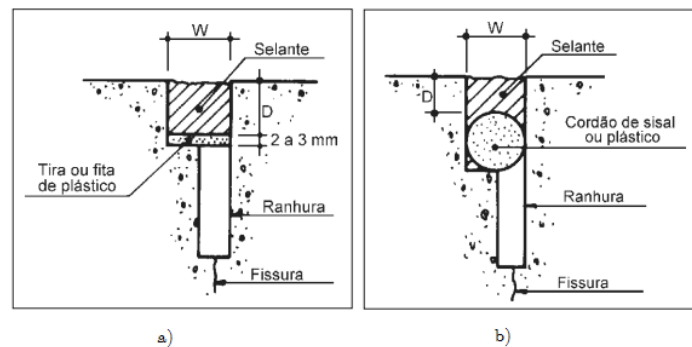


Imagem 28 - Detalhes do selante nas juntas. a) Utilização de tira ou fita de plástico.

(fonte: (Portland, Associação Brasileira de Cimento))

É possível otimizar o tamanho das placas dos pavimentos aeroportuários, de modo a se ter juntas por simples justaposição, preenchidas com selante.

Todas as juntas devem ser mantidas sempre limpas.

#### 4.7 REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS EXISTENTES

A reabilitação dos pavimentos aeroportuários é muito importante porque visa aumentar a vida útil do pavimento e melhorar o conforto e segurança dos usuários, além de poder implementar regulamentos atualizados, caso existam.

A sua execução é imprescindível quando a qualidade de segurança de circulação estão comprometidas.

A reabilitação de pavimentos existentes deve ser feita pela seguinte sequência (adaptado: (Nascimento, 2009)):

- ✓ Interdição da pista;
- ✓ Fresagem;
- ✓ Recuperação das fissuras;
- ✓ Aplicação de betão betuminoso;
- ✓ Sinalização.

A seguir serão retratadas com maior detalhe estas etapas, visto que são essenciais para a segurança das pessoas envolvidas no trabalho e dos usuários do aeroporto.

#### ➤ **INTERDIÇÃO DA PISTA**

A primeira fase consiste na interdição da pista. É feita a montagem da sinalização em forma de “X” que indica às aeronaves que estão no ar, que é proibido aterrar naquela pista. Seguidamente, deve ser desinstalada a iluminação de pista que compõe o sistema de balizamento noturno. (adaptado: (Nascimento, 2009)).

Os veículos que atravessam a área em obras necessitam de ter os pneus lavados e não podem ficar objetos espalhados pela pista.

#### ➤ **FRESAGEM**

Em primeiro lugar é realizada a fresagem da faixa central, sujeita ao tráfego e mais deteriorada e, posteriormente nas faixas dos bordos. Em seguida, realiza-se um levantamento planimétrico de todo o terreno, onde são definidas as espessuras de fresagem transversalmente e longitudinalmente.

Realiza-se fresagem e faz-se imediatamente a remoção do material fresado e limpeza da camada excedente (imagem 29).



Imagem 29 - Sequência de passos para a fresagem. a) Exemplo de espessuras de fresagem. b) Exemplo de remoção do material fresado.

(Fonte: (Nascimento, 2009))

Tem de existir um controlo topográfico rígido quanto às espessuras de fresagem, sendo que qualquer irregularidade nesta etapa pode acarretar um maior consumo de betão.

A textura da superfície submetida à fresagem deve ser regular, e os sulcos não podem ter um valor superior a 0,50cm.

O controlo do acabamento da superfície fresada deve ser feito com o auxílio de duas régua compridas, uma colocada perpendicularmente ao eixo da rodovia, e outra colocada de modo a formar um ângulo reto com a anterior. A variação da superfície em relação às régua não deve ultrapassar os 0,50cm.

### ➤ RECUPERAÇÃO DAS FISSURAS

Após a fresagem pode verificar-se que em certos pontos da pista continuam a apresentar fissuras, ou seja, estas não são apenas fruto do desgaste e deterioração da camada de revestimento, e estão presentes nas camadas mais profundas do pavimento.

As fissuras encontradas devem voltar a ser marcadas para uma nova fresagem. Quando estas fissuras desaparecem apenas com uma segunda fresagem são aplicados apenas

cilindros compressores, caso elas não desapareçam desta maneira, deve ser aplicada uma grelha flexível de poliéster (*hatelit*).



Imagem 30 - Janela cadastrada. a) Exemplo de janela após fresagem. b) Exemplo de janela após segunda fresagem.

(Fonte: (Nascimento, 2009))

## ➤ APLICAÇÃO DO BETÃO BETUMINOSO

- **Trecho experimental**

Antes de se iniciar o trabalho propriamente dito, é necessário realizar previamente um trecho experimental. Neste trecho podem ser efetuadas análises ao betão para melhorar a granulometria aplicada e fazer ajustes nos cilindros compactadores e pavimentadoras.

Também se devem realizar na amostra ensaios, nomeadamente, macrotextura, microtextura, atrito e irregularidade da superfície, para verificar os índices de segurança.

- **Betão betuminoso**

A garantia dos adequados índices de atrito da camada de superfície está diretamente relacionada com a granulometria da mistura asfáltica. Uma faixa granulométrica com muito finos, que resulte numa textura muito fechada, diminui a aderência da camada. Em

contrapartida, uma mistura que proporcione uma textura muito rugosa aumenta o desgaste dos pneus das aeronaves e interfere no seu conforto (adaptado: (Nascimento, 2009)).

É necessário obter uma faixa granulométrica o mais adequada possível para atender às necessidades de segurança e conforto da superfície, sempre tendo em conta o tipo de solo local.

- **EQUIPAMENTOS**

Os equipamentos geralmente utilizados são as pavimentadoras, os cilindros compressores e veículos de transporte da mistura.

As pavimentadoras servem para o espalhamento e acabamento. Adequam a mistura ao alinhamento e cotas requeridos. Devem possuir alisadores e mecanismos para aquecimento dos mesmos, à temperatura solicitada, para que a mistura fique o mais regular possível.



Imagem 31 - Pavimentadora.

(Fonte: <http://www.machineryzone.com.br/usado/1/pavimentadoras-asfalto.html>)

Os cilindros compressores devem possuir, pelo menos, um rolo pneumático e um rolo metálico liso, tipo tandem. Os rolos compressores, tipo tandem, devem ter uma massa entre 8 a 12 toneladas. Os rolos pneumáticos autopropulsores devem ter pneus que permitam a calibragem de 0,25MPa a 0,84MPa (35 a 120psi). (adaptado: (Nascimento, 2009)).



Imagem 32 - Cilindro compactador.

(Fonte: <http://ytobrazil.com.br/2a-hydraulic-drum-roller-2.html>)

Os veículos de transporte da mistura são os camiões tipo basculante, que devem ter caixas de carga metálicas, limpas e lisas e um pouco lubrificadas, de modo a evitar a aderência da mistura às paredes da caixa. Não é permitido que se utilizem para a lubrificação produtos passíveis de diluir o ligante betuminoso, como por exemplo óleo diesel, gasolina, etc (adaptado: (Nascimento, 2009)).

Todos os camiões devem ter os pneus lavados, antes de entrarem na pista, para não contaminarem a superfície de aplicação do betão.



Imagem 33 - Veículo de transporte da mistura betuminosa.

(Fonte: <http://www.metongportugal.com/1d-tank-trailer.html>)

- **SINALIZAÇÃO**

Um dos mais importantes componentes de uma pista é a sinalização horizontal e luminosa (balizamento noturno).

Após a conclusão da aplicação camada betuminosa inicia-se a pintura da sinalização horizontal, com a superfície do pavimento bem limpa.

Para que a pista fique de novo apta para as operações das aeronaves, deve ser retirado todo o sistema de sinalização provisória para as obras, realizada a última lavagem de todo o pavimento e recolhidos quaisquer objetos que estejam nas áreas circundantes do mesmo.

No final, é realizada uma vistoria final ao longo de todo o pavimento, às condições de sinalização e limpeza e é feita a reabertura da pista.



Imagem 34 - Sinalização de uma pista nova.

(Fonte: <http://canalpiloto.com.br/pistas-de-pouso/>)

## 5. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

O cálculo de pavimentos de aeroportos e aeródromos é um processo complexo que abarca um grande número de variáveis.

Nesta secção são descritos os procedimentos e critérios vigentes, que se consideram necessários seguir para projetar este tipo de pavimentos, nomeadamente o Método dos Estados Unidos (FAA) e o Método ACN/PCN.

### 5.1 MÉTODO DOS ESTADOS UNIDOS (FAA)

A FAA (*Federal Aviation Administration*) elegeu um método de calcular e mostrar a resistência dos pavimentos de um aeroporto em função do peso bruto da aeronave e do tipo de trem de aterragem.

O método consiste em utilizar as curvas de cálculo criadas pelo FAA para encontrar as diferentes espessuras das camadas do pavimento, que diferem nos pavimentos flexíveis e rígidos (ICAO, 1995).

#### 5.1.1 CÁLCULO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os pavimentos flexíveis são constituídos pela camada de desgaste (camada superior de misturas betuminosas) sobre uma base (camada de base granular) e, por último camada de sub-base (camada granular).

Apresentam-se curvas separadas para trens de aterragem simples, de rodado duplo, dois rodados e curvas separadas para aeronaves de fuselagem larga (ICAO, 1983).

Para a utilização das curvas de cálculo é necessário auferir o valor de CBR para o material do terreno de fundação e para a camada de sub-base, o peso bruto da aeronave de cálculo (ou crítica) e o seu número de saídas anuais equivalentes.

As curvas indicam a espessura total do pavimento e a espessura da camada betuminosa. A camada base tem uma espessura mínima, que se calcula em função da espessura total do pavimento e dos valores de CBR.

(adaptado: (Iguar, Outubro 2011)).

### ➤ ÁREAS CRÍTICAS E NÃO CRÍTICAS

As curvas de cálculo mostram a espessura total crítica do pavimento, ou seja a espessura crítica “T”.

Pode aplicar-se um fator de  $0,9T$  no pavimento não crítico às camadas de base e sub-base (não se retira das camadas betuminosas porque são as que se extraem das curvas de cálculo).

O mínimo admissível deve ser de  $0,7T$  para a espessura da base e, a espessura da camada de sub-base deve ser aumentada nas zonas em que a espessura da base é reduzida para não se verifiquem descontinuidades à superfície por razões de drenagem e também porque a base da camada de fundação fica sempre ao mesmo nível cota da construção.

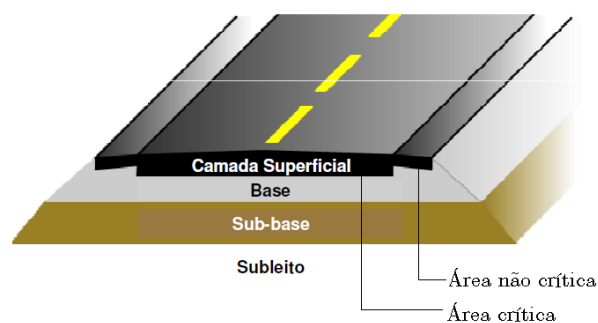


Imagem 35 - Estrutura tipo de um pavimento aeroportuário.

(fonte: (ANAC A. N.-B., 2010))

### ➤ CAMADA BASE E SUB-BASE ESTABILIZADA

Quando a aeronave crítica apresenta um peso máximo de descolagem superior a 45.400 quilogramas é necessária a estabilização da base e da sub-base, para substituir a camada

granular. Para que a estabilização destas camadas não seja obrigatória é necessário que se utilizem agregados britados de granulometria extensa com resistência mecânica. (adaptado: (Igal, Outubro 2011))

### 5.1.2 CÁLCULO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

As curvas de cálculo dos pavimentos rígidos são baseadas no estudo Westergaard de cargas nos bordos.

Neste estudo, a análise das cargas nos bordos foi alterada de modo a imitar uma situação de bordo de junta em que as curvas de cálculo se proporcionam para as zonas em que o tráfego tem direção paralela às juntas. Estes critérios de cálculo baseiam-se na hipótese de carga no centro da laje. O comportamento que se observa nesta análise indica que as fendas produzidas estão maioritariamente no bordo da junta e se propagam para o interior da laje, facto devido às tensões dos pavimentos serem maiores nos bordos das juntas.

Tal como nos pavimentos flexíveis, nas curvas de cálculo destes pavimentos encontram-se linhas para cinco volumes de tráfego anual.

A espessura que obtém através da leitura destas curvas refere-se apenas à espessura da laje, sendo que a espessura da camada de sub-base é determinada de outro modo.

(adaptado: (Igal, Outubro 2011)).

São utilizadas curvas de cálculo similares à dos pavimentos flexíveis, ou seja para vários tipos de trem de aterragem e, para que os seus cálculos sejam efetuados são necessários os seguintes parâmetros:

- **Resistência característica aos 90 dias do betão à flexão:** a espessura do pavimento está relacionada com a resistência do betão utilizado na execução do pavimento.

Pode-se presumir que a resistência à flexão aos 90 dias é aproximadamente 10% superior à resistência aos 28 dias.

- **Módulo de reação do solo, k:** trata-se de uma constante elástica do material de fundação e que indica o valor de resistência desse material.

Em geral, obtém-se com um ensaio de carga de placa estática, mas pode também ser obtido pelo uso de ensaios de defletómetro de impacto (FWD – *Falling Weight deflectometer*).

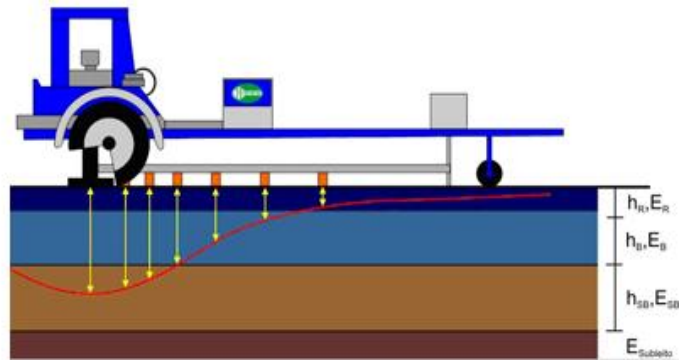


Imagem 36 - Ensaio de defletómetro de impacto (FWD – *Falling Weight deflectometer*).

(Fonte: <http://www.cprengenharia.com.br/equipamentos.php>)

- **Peso bruto da aeronave:** é indicado em cada curva de cálculo.

Todas as curvas mostram uma ampla gama de pesos brutos, para auxiliar nas interpolações e, em todos os casos, a gama de pesos é suficiente para abranger os pesos das aeronaves atuais.

- **Saídas anuais da aeronave de cálculo:** são calculadas como nos pavimentos flexíveis. A sua explicação é feita no capítulo 5.3.4.

(adaptado: (Igual, Outubro 2011)).

#### ➤ REQUISITOS DA CAMADA DE SUB-BASE

Esta camada tem como objetivo proporcionar um suporte seguro e regular às camadas superiores e deve apresentar uma espessura mínima de 10cm.

Em certos casos, pode ser interessante aumentar a espessura mínima da camada de sub-base para que conseqüentemente aumente o módulo de reação do terreno e se reduza a espessura da laje de betão solicitada.

### ➤ DETERMINAÇÃO DO VALOR “K” DAS SUB-BASES GRANULARES

Quando a camada de sub-base é constituída por materiais granulares não estabilizados é utilizado o ábaco que se visualiza no anexo II.2, para retirar o valor de “K”, que está relacionado com as espessuras das camadas.

Este valor é apenas orientador e pode ser adotado de acordo com a experiência local.

### ➤ CAMADA DE SUB-BASE ESTABILIZADA

É necessária uma camada de sub-base estabilizada em todos os pavimentos rígidos novos avaliados para aeronaves cujo peso seja igual ou superior a 45.400 quilogramas. A vantagem da mesma incide no módulo de reação do terreno.

Para determinar o valor de “k” desta camada é necessário ter em conta o efeito do módulo “k” da camada sem estabilizar.

O valor provável de “k” pode obter-se através do anexo II.3.

O valor do “K” auferido aplica-se em camadas estabilizadas com cimento ou de betume asfáltico. A partir do momento em que é conhecido o valor de “K” da camada de sub-base estabilizada, o procedimento é idêntico.

(adaptado: (Igal, Outubro 2011)).

### ➤ VOLUME DE TRÁFEGO ELEVADO

O volume de tráfego é dado pelo número de saídas equivalentes, ou seja, o número de descolagens efetuadas durante um dia num aeroporto.

Se o número de saídas equivalentes atingir valores superiores a 25000 saídas é necessário corrigir o valor da espessura, utilizando para isso a seguinte equação:

$$T_{TOTAL} = T_{25000} \times \left( 1 + 0,133 \times \log \left( \frac{N}{25000} \right) \right) [2]$$

Em que:

N - número de saídas;

$T_{25000}$  - a espessura para 25000 saídas;

$T_{TOTAL}$  - a espessura final corrigida.

Nestes casos é necessário incrementar 3cm à espessura da camada de desgaste.

### 5.1.3 APLICAÇÃO INFORMÁTICA (UTILIZAÇÃO DE PROGRAMA DE CÁLCULO)

Existem alguns softwares de design de aeroportos que apoiam o projeto do pavimento e a reduções de custos. Os programas disponíveis incluem, entre outros, o FAARFIELD, o COMFAA e o COMPSYS.

Várias etapas das aplicações informáticas para o dimensionamento de pavimentos foram desenvolvidas a partir da teoria das camadas elásticas ou em sistemas numéricos que consideram o comportamento dos materiais de pavimentação sob condições de tráfego e, casualmente climáticas.

Os parâmetros de entrada destes métodos são os módulos de resiliência das camadas superiores do pavimento, uma vez que os materiais usados na pavimentação apresentam comportamentos de tensão-deformação provocados pela elasticidade, quando a estrutura é descarregada, e pela plasticidade, que dá origem às deformações permanentes.

Atualmente a FAA elege o FAARFIELD como programa padrão para o cálculo das tensões e deformações desenvolvidas na estrutura de dimensionamento, em substituição do programa LEDFAA, de acordo com a publicação da circular consultativa AC 150/5320-6E, a 30 de Setembro de 2009.

O seu *software* conta com novas metodologias de projeto e avaliação de pavimentos rígidos e flexíveis, dependente de procedimentos e parâmetros característicos dos aviões modernos.

O uso da AC não é obrigatório, exceto quando os projetos são financiados com verbas governamentais pelo Programa de Melhoria de Aeroportos (AIP) e com a receita do Programa de Facilidade de Carga de Passageiros (PFC – *Passenger Facility Charge*).

Por uma limitação dos ábacos existentes, a metodologia referida anteriormente, e que se baseia no método do CBR, não permite o dimensionamento de pavimentos para aeronaves de grande porte, com complicadas geometrias de trens de aterragem.

A nova tecnologia do FAARFIELD, que possui um banco de dados com vários tipos de aeronaves e trens de aterragem, permite ao projetista executar a composição real do tráfego aéreo, considerando as cargas por roda de cada aeronave. O novo programa calcula os efeitos destruidores de cada aeronave num tráfego misto. Deste modo, a noção de consumo de fadiga, exposto pelo Fator Acumulativo de Danos (CDF), substitui a da aeronave crítica.

O somatório dos efeitos destruidores das aeronaves é feito com base na lei de Miner, que assenta na hipótese de que os efeitos de cada aeronave se sobrepõem, sendo que é feito um somatório dos consumos de resistência à fadiga correspondente a cada aeronave.

O dimensionamento realiza-se através de iterações em que a totalidade das espessuras determinadas para as camadas resulte num CDF igual a um.

O CDF é estabelecido para os critérios de rutura da camada betuminosa e da sub-base para cada aeronave. (adaptado: <http://btdt.bce.unb.br/tedesimplificado/>)

Resumidamente, o valor de CDF define a fração da vida útil consumida pelas cargas impostas, ou seja, um valor de CDF igual a um representa que, para um certo critério, as cargas a que se submete o pavimento consumiram a totalidade da vida útil considerada.

Quando os valores são maiores que a unidade, significa que o pavimento atingirá a rutura antes do período esperado. Acontece o contrário quando o valor de CDF é menor que a unidade, ou seja, pavimento foi superdimensionado para o tráfego existente.

O programa está dividido em 8 passos para pavimentos rígidos e 10 para flexíveis, tendo em comum a identificação do aeroporto, informações sobre as condições de geada e a sub-base e a combinação de tráfego. No dimensionamento de pavimentos rígidos são necessárias informações sobre o valor do K do terreno e no dimensionamento de pavimentos flexíveis sobre o CBR do terreno.

## 5.2 MÉTODO ACN/PCN

Segundo o Anexo 14 do ICAO 2004, o método ACN/PCN especifica a resistência dos pavimentos determinados para aeronaves com massa superior a 5700kg.

As siglas que dão nome ao método têm o seguinte significado:

- ✓ **ACN:** número que indica o efeito relativo duma aeronave sobre um pavimento, para determinada resistência normalizada do terreno de fundação (ICAO, 2004).
- ✓ **PCN:** número que indica a resistência de um pavimento para poder ser utilizado sem restrições por um avião com ACN inferior (ICAO, 2004).

Este método apenas fornece dados sobre a resistência dos pavimentos, como tal não serve para cálculo nem para avaliação dos mesmos. Deste modo, o método confere uma importância maior ao cálculo do ACN que ao dos pavimentos, uma vez que a resistência dum pavimento verifica-se em função da carga das aeronaves que este consegue suportar, sem qualquer restrição quando à sua tipologia.

De modo a facilitar a utilização do método, os produtores das aeronaves fornecem para além das características das aeronaves, como peso máximo de descolagem, comprimento, altura, distância entre eixos das rodas, entre outras, o ACN calculado para a massa máxima na plataforma e para a operação em vazio, tanto para pavimentos rígidos como

flexíveis, consoante as categorias normalizadas da resistência do terreno de fundação. No anexo II.1 é possível visualizar o ACN de algumas aeronaves comerciais.

É de notar que a massa aplicada no ACN é estática, não prevendo tolerância para o aumento de carga por efeitos dinâmicos (Igual, Outubro 2011).

Antes de descrever o método ACN/PCN, é necessário definir dois termos importantes, o CBR e o módulo de reação do terreno “K”, que indicam a resistência à deformação provocada pelo tráfego. Quanto menor for a deformação melhor é a capacidade de suporte da fundação.

## I. CBR

O índice de CBR vem da comparação entre a força necessária para que o pistão penetre uma dada profundidade e a força necessária para que penetre a mesma profundidade numa amostra normalizada de material granular britado e, pode ser obtido através da Prensa de Ensaio Californiana (imagem 37).



Imagem 37 - Prensa de Ensaio Californiano.

(Fonte: <http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmes/equipamentos.php>)

## II. Módulo de reação (K)

O módulo de reação (K) é o valor que advém da comparação entre a pressão por superfície e a deformação que a mesma origina. Segundo a norma AASHTOO-T-222, pode calcular-se por ensaios de placa de carga de 762mm de diâmetro.



Imagem 38 - Ensaio de placa de carga.

(Fonte: <http://pertangola.com/produtos/equipamento-ensaio-de-carga-em-placa/#!prettyPhoto>)

O método ACN/PCN obriga ao registo da seguinte informação (Igual, Outubro 2011):

1) Tipo de pavimento:

- ✓ Flexível (F)
- ✓ Rígido (R)

2) Categoria do terreno de fundação.

- ✓ Alta (A)

Pavimento flexível:  $CBR > 13$ ; valor tipo  $CBR = 15$

Pavimento rígido:  $K > 120 \text{ MN/m}^3$ ; valor tipo  $K = 150 \text{ MN/m}^3$

- ✓ Média (M)

Pavimento flexível:  $8 < CBR < 13$ ; valor tipo  $CBR = 10$

Pavimento rígido:  $60 < K < 120 \text{ MN/m}^3$ ; valor tipo  $K = 80 \text{ MN/m}^3$

- ✓ Baixa (B)

Pavimento flexível:  $4 < CBR < 8$ ; valor tipo  $CBR = 6$

Pavimento rígido:  $25 < K < 60 \text{ MN/m}^3$ ; valor tipo  $K = 40 \text{ MN/m}^3$

- ✓ Ultra Baixa (B)
  - Pavimento flexível:  $CBR < 4$ ; valor tipo  $CBR = 3$
  - Pavimento rígido:  $K < 25 \text{ MN/m}^3$ ; valor tipo  $K = 20 \text{ MN/m}^3$
- 3) Pressão máxima admissível dos pneumáticos.
  - ✓ Alta (W): sem limite de pressão
  - ✓ Mediana (X): até 1,50 MPa
  - ✓ Baixa (Y): até 1,00 MPa
  - ✓ Muito baixa (Z): até 0,5 MPa
- 4) Método de avaliação:
  - ✓ Avaliação técnica (T)
  - ✓ Por experiência da aeronave usuária (U).

No que concerne à pressão máxima admissível dos pneumáticos, é de notar que, na maioria dos casos, que os efeitos da pressão dos pneus são insignificantes atendendo a fatores como a carga e a sua distribuição sobre o pavimento. Como tal, nesta classificação adota-se a sigla W (pressão ilimitada), salvo quando existe risco evidenciado para a camada de desgaste.

O cálculo dos valores de ACN e de PCN é realizado no anexo II.4.

### **5.3 CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS AERONAVES**

#### **5.3.1 TIPO E GEOMETRIA DO TREM DE ATERRAGEM**

Para o correto dimensionamento dos pavimentos é necessário conhecer bem certos conceitos das aeronaves.

A configuração do trem de aterragem está intrinsecamente relacionada com o modo de transmissão da carga para o pavimento.

Em alguns métodos de análise e dimensionamento de pavimentos, convertem-se os trens das diferentes aeronaves que servirão o aeroporto, no trem da aeronave de projeto, de modo a obter um número de descolagens equivalente a esta aeronave.

Tabela 4 - Fatores de conversão de trens de aterragem.

Geometria do trem a converter		Fator de conversão
De:	Para:	
Rodado simples	Rodado duplo	0,8
Rodado simples	2 Rodados duplos em “Tandem”	0,5
Rodado duplo	Rodado simples	1,3
Rodado duplo	2 Rodados duplos em “Tandem”	0,6
2 Rodados duplos em “Tandem”	Rodado simples	2,0
2 Rodados duplos em “Tandem”	Rodado duplo	1,7
2 Rodados quádruplos em “Tandem”	2 Rodados duplos em “Tandem”	1,0
2 Rodados quádruplos em “Tandem”	Rodado duplo	1,7

(Fonte: (FAA, 1995))

A pressão dos pneus tem de estar situada entre 0,52 MPa e 1,38 MPa, em função da configuração do trem e do peso bruto.

À medida que o peso bruto da aeronave cresce, a pressão dos pneus apresenta menos interferência nas tensões do pavimento. O máximo de 1,38MPa de pressão pode ser ultrapassado se não forem excedidos outros parâmetros em simultâneo.

A imagem 39 revela os tipos de trens de aterragem que podemos encontrar nas atuais aeronaves.

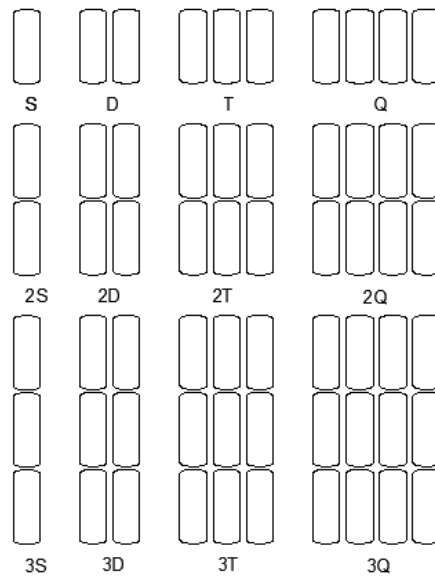


Imagem 39 - Ilustração dos trens de aterragem.

Legenda:

S – Rodado Simples	2S – 2 Rodados Simples	3S – 3 Rodados Simples
D – Rodado duplo	2D – 2 Rodados Duplos	3D – 3 Rodados duplos
T - Rodado Triplo	2T – 2 Rodados Triplos	3T – 3 Rodados Triplos
Q – Rodado Quádruplo	2Q – 2 Rodados Quádruplos	3Q – 3 Rodados Quádruplos

(adaptado: (Nunes & Arnaldo, 2011))

Em seguida apresentam-se, a título de exemplo, algumas aeronaves comerciais com diferentes geometrias de rodados:

- Airbus A320 - duas vezes dois rodados duplos no trem de aterragem principal e dois rodados simples no trem do nariz da aeronave;
- Boeing 777 – duas vezes três rodados duplos no trem principal e dois rodados simples no trem do nariz (imagem 40);
- Airbus A380 - apresenta três grupos de trem de aterragem: o trem aterragem do nariz que apresenta dois rodados simples, o trem das asas com dois rodados duplos em cada asa e, o trem principal com duas vezes três rodados duplos.



Imagem 40 - Tipo de trem de aterragem do Boeing 777.

(Fonte: <http://aviacao.pt/forum/index.php?topic=102.120>)

### 5.3.2 CARGAS

O método de cálculo tem por base o peso bruto da aeronave, o MTOW (*Maximum Take-Off Weight*) ou PDM (Peso Máximo de Descolagem). Para o cálculo do pavimento deve considerar-se o peso máximo de descolagem da aeronave, atendendo a que 95% do peso bruto é sustentado pelo trem de aterragem principal e 5% pelo trem de nariz.

No anexo I.5 são apresentadas as características dos principais aviões presentes no mercado.

### 5.3.3 DETERMINAÇÃO DA AERONAVE DE CÁLCULO

A aeronave de cálculo é a que requer uma maior espessura de pavimento. Para cada aeronave deve verificar-se a espessura de pavimento, utilizando a curva de cálculo adequada, atendendo ao número de previsões de saídas anuais das aeronaves.

### 5.3.4 VOLUME DE TRÁFEGO E DETERMINAÇÃO DAS SAÍDAS ANUAIS DA AERONAVE DE CÁLCULO

As saídas anuais por tipo de aeronave representam o volume de tráfego do aeroporto e, o seu conhecimento é fundamental para o dimensionamento do pavimento. Os registos das

mesmas encontram-se presentes nos planos principais de operação do aeródromo ou aeroporto, nas previsões da área terminal, no plano nacional de sistema de aeroportos, nas estatísticas da atividade aeroportuária e na atividade de tráfego aéreo.

Sendo a previsão de tráfego uma mistura de diversas aeronaves que possuem diferentes trens de aterragem e pesos, é necessário ter em conta os efeitos do tráfego equivalente em termos de aeronave, para interpretar melhor os dados.

Através dos fatores de conversão da tabela 4, convertem-se os trens das várias aeronaves ao mesmo tipo de trem de aterragem que a aeronave de cálculo.

Após agrupadas as aeronaves com a mesma configuração de trem de aterragem, procede-se à conversão para as saídas anuais equivalentes da aeronave crítica, através da seguinte equação:

$$LOG (R1) = LOG(R2) \times \left(\frac{W2}{W1}\right)^{\frac{1}{2}} [3]$$

Em que:

R1 – saídas anuais equivalentes da aeronave de cálculo;

R2 – saídas anuais da aeronave em análise expressas em termos de trem de aterragem da aeronave de cálculo;

W1 – carga sobre a roda da aeronave de cálculo;

W2 - carga sobre a roda da aeronave em análise.

As aeronaves de fuselagem larga são consideradas de forma especial, uma vez que os seus trens de aterragem são bastante diferentes. Nestas aeronaves, ao calcular as saídas anuais equivalentes, cada fuselagem larga é tratada como uma aeronave de rodado duplo e quatro rodas.

Aquando da determinação das saídas anuais equivalentes o cálculo prossegue utilizando a curva de cálculo indicada para a aeronave de cálculo.



Imagem 41 - Aeronave de fuselagem larga, Aisbus A380.

(Fonte: <http://asesdovoo.blogspot.pt/2011/08/como-funciona-o-trem-de-pouso.html>)

## 6. SINALIZAÇÃO

### 6.1 SINALIZAÇÃO HORIZONTAL

A sinalização horizontal tem um papel primordial nos aeroportos, sendo que representa um auxílio visual para os pilotos das aeronaves que operam nas vias de serviço, levada a cabo através da pintura do pavimento.

O ICAO é o regulamento que serve de base para a especificação da sinalização que se a seguir de expõe.

(adaptado: (Igual, Outubro 2011))



Imagem 42 - Sinalização da pista de um aeroporto.

(Fonte: <http://canalpiloto.com.br/pistas-de-pouso/>)

Existem regras para a demarcação da sinalização no pavimento. Seguidamente, são descritas algumas regras para os casos em que existe a interseção de várias pistas (adaptado (Lages, Costa, Raposo, & Luzio, 2009)):

- ✓ Intersecção de duas ou mais pistas - a pista principal mantém a sua sinalização, sendo as marcações das outras pistas interrompidas, exceto para os sinais da faixa lateral. Os sinais de faixa lateral da pista principal podem continuar ou ser interrompidos.
- ✓ Intersecção de uma pista de aterragem com pistas de táxi - o traçado da pista mantém-se e os sinais dos *taxiways* são interrompidos, salvo os sinais de faixa lateral que podem ser interrompidos.

A ordem de importância de preservação dos sinais das pistas é igual à importância das pistas, com a ordem que se segue:

- ✓ Pista de abordagem precisa;
- ✓ Pistas de abordagem não precisa;
- ✓ Pista de voo visual.

### **6.1.1 CORES E PERCETIBILIDADE**

Os sinais das pistas são brancos e, nos locais em que o pavimento da pista é mais claro, pode aumentar-se a sua visibilidade destacando os sinais brancos com uma delimitação preta.

Os sinais dos *taxiways*, das plataformas de viragem e de estacionamento das aeronaves são amarelos. A linha de segurança da plataforma deve ter uma cor que contraste com a dos sinais de estacionamento de aeronaves e, nos aeródromos que funcionam durante a noite, os sinais presentes nos pavimentos devem ter materiais refletores de modo a melhorar a sua visibilidade.

Os *taxiways* não pavimentados devem ter, sempre que possível, a sinalização prescrita para as pavimentadas.

### **6.1.2 SINAIS**

Os vários tipos de sinais serão descritos em seguida.

#### **➤ DESIGNAÇÃO DA PISTA**

É o sinal que indica a pista, composto por um número de dois dígitos e, em pistas paralelas esse número será acompanhado por uma letra.

O número de figuras (números e letras) corresponde ao número inteiro mais próximo da décima parte do azimute do eixo magnético da pista, avaliado no sentido dos ponteiros do

relógio a partir do norte magnético, visto na direção de aproximação ((DO) & (DOGP), 2006).

As marcações de designação de pista devem ser colocadas no limite da pista pavimentada.

Nas proximidades dos *taxiways* sem pavimento asfáltico devem estar disponíveis sinais que designam a faixa.

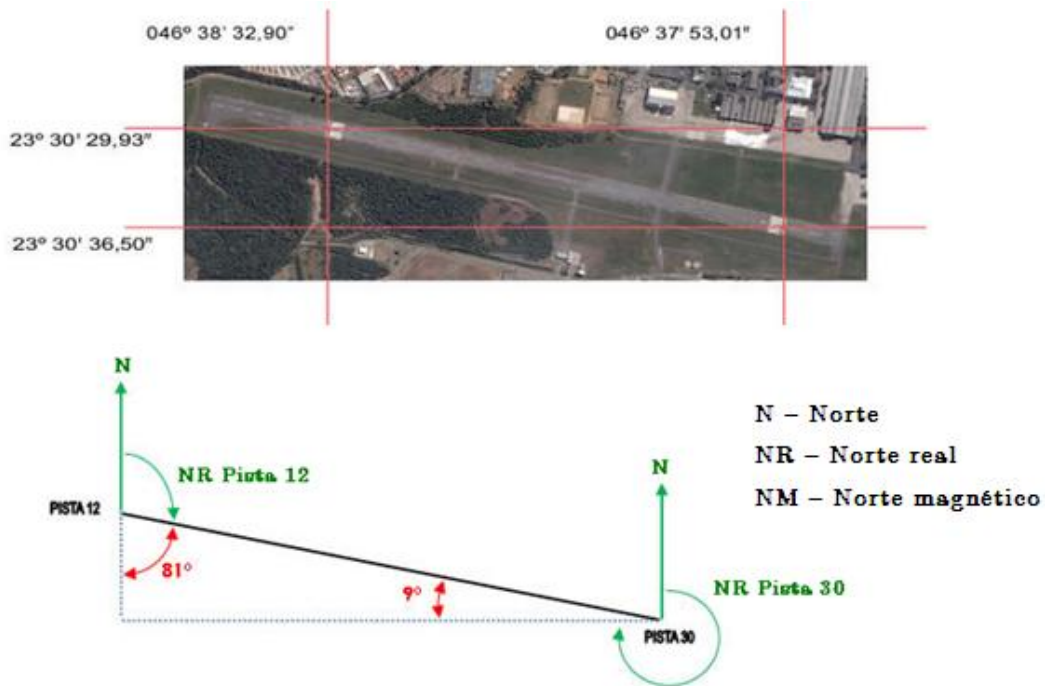


Imagem 43 - Cálculo do Norte magnético.

(Fonte: <http://www.pilotopolicial.com.br/calculando-distancias-e-direcoes-utilizando-coordenadas-geograficas/>)

A imagem 43, mostra um exemplo do cálculo do azimute o eixo magnético da pista, ou Norte magnético. Com as coordenadas das duas cabeceiras, obtém-se a distância das mesmas e a sua diferença de altura. Com estes dados, descobrem-se os ângulos que se mostram na imagem 38 e, através das equações que a seguir se apresentam, encontra-se o número da pista.

$$NR \text{ Pista } 12 = 180^\circ - 81^\circ = 99^\circ [4]$$

$$NR \text{ Pista } 30 = 270^\circ + 9^\circ = 279^\circ [5]$$

$$NM \text{ Pista } 12 = 99^\circ + 21^\circ = 120^\circ \rightarrow \text{Pista } 12 [6]$$

$$NM \text{ Pista } 30 = 279^\circ + 21^\circ = 300^\circ \rightarrow \text{Pista } 30 [7]$$

### ➤ EIXO CENTRAL DA PISTA

Este sinal é representado por uma linha com traços espaçados de maneira uniforme, em que a soma do comprimento de um traço e do intervalo deve estar entre os 50m e 75m. O comprimento de cada traço deve ser pelo menos igual ao comprimento do espaço, ou 30m consoante o maior valor.

A largura dos traços deve ser:

- ✓ 0,90m (ou valor superior) - pistas de categoria II e III de abordagem precisa;
- ✓ 0,45m - pistas de Categoria I de abordagem precisa e nas pistas de abordagem não precisa com código 3 ou 4;
- ✓ 0,30m - pistas de voo visual e nas pistas de abordagem não precisa com código 1 e 2.

(adaptado: (Lages, Costa, Raposo, & Luzio, 2009))

### ➤ LIMIAR DE PISTA

É constituído por um conjunto de faixas longitudinais de dimensões uniformes dispostas de um modo simétrico relativamente ao eixo da pista (imagem 44). O número de faixas deve estar de acordo com a largura da pista, conforme exposto na tabela 5.

Tabela 5- Número de faixas do sinal limiar de pista em função da largura da pista.

Largura da Pista	Nº de faixas
18	4
23	6
30	8
45	12
60	16

(fonte: (ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).))

Este sinal deve existir nas pistas pavimentadas de abordagem precisa e nas pistas pavimentadas de voo visual, cujo código é 3 ou 4 e estão determinadas para o transporte aéreo comercial internacional.

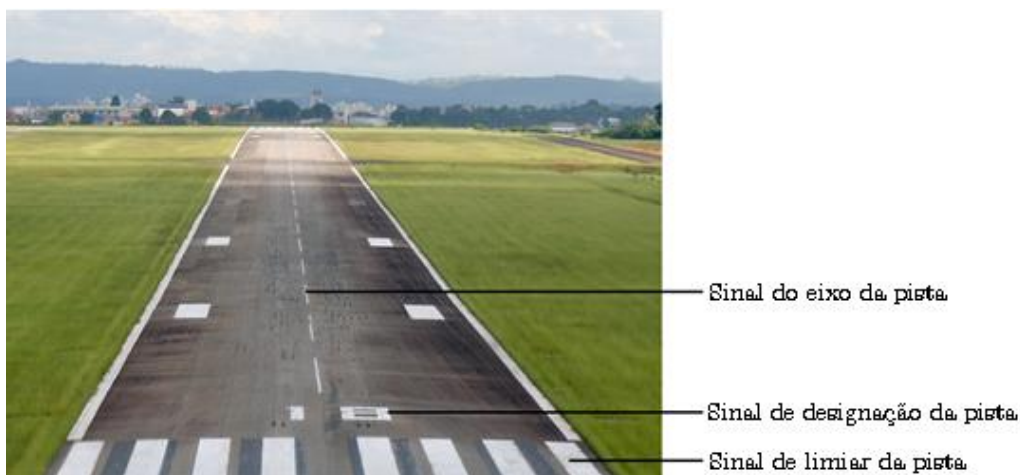


Imagem 44 - Sinal de designação de pista, eixo central da pista e limiar de pista.

(Fonte: <http://www.spotterjpanoar.com/2012/03/aviacao-nacional-aeroporto-de-sorocaba.html>)

### ➤ ÁREA ANTERIOR À CABECEIRA

Quando o pavimento anterior à cabeceira for superior a 60 metros de comprimento e não for adequado tráfego de aeronaves, toda a área antecedente à cabeceira deve possuir sinalização horizontal com padrão “V”, conforme indica a imagem 45. A sua cor deve ser amarela e a largura igual ou superior a 0,90 metros.

(adaptado: ((DO) & (DOGP), 2006).)

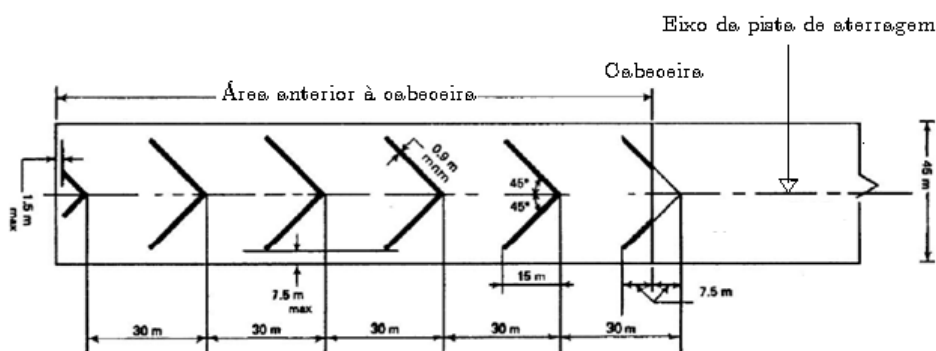


Imagem 45 - Sinalização horizontal para a área anterior à cabeceira.

(fonte: (ANAC A. N.-B., 2010))

### ➤ PONTO DE VISADA

Este sinal consiste em duas faixas retangulares, posicionadas uma de cada lado do eixo longitudinal da pista. A tabela 6 expressa a distância entre a cabeceira e a faixa, o

comprimento, a largura e distância entre os seus lados internos. Quando existe sinalização de zona de contato, a distância lateral entre esta a sinalização do ponto de visada deve ser a mesma.

Este deve estar nos extremos de aproximação das pistas de voo cujo código é 2, 3 ou 4.

Para aumentar a perçetibilidade do ponto de visada este deve ser colocado em cada extremo de aproximação das pistas pavimentadas de voo visual em que o código de pista é 3 ou 4 e, das pistas pavimentadas de voo com código 1.

Tabela 6 - Localização e dimensões do ponto de visada.

Localização e dimensões	Distância entre cabeceiras (D)			
	D<800	800m≤D<1200m	1200m≤D<2400m	2400≥D
Distância da cabeceira ao início da faixa	150m	250m	300m	400m
Comprimento da faixa	30 - 35m	30 - 35m	40 - 65m	40 - 65m
Largura da faixa	4m	6m	6 - 10m	6 - 10m
Espaço lateral entre os lados internos da faixa	6m	9m	18 - 22,5m	18 - 22,5m

(Fonte: (ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).))

### ➤ TOMADA DE CONTATO

O sinal de tomada de aproximação ou contato, consiste em pares de sinais retangulares, simétricos relativamente ao eixo da pista e o número de pares depende da distância de aterragem disponível. Os sinais devem ter no mínimo 22,5 metros de comprimento e 3 metros de largura.

Este sinal deve estar presente nas pistas pavimentadas para aproximações de precisão cujo código da pista é 2, 3 ou 4.

Na tabela 7 estão expressas as distâncias de aterragem disponíveis e os pares de sinais associados.

Tabela 7 - Pares de sinais para as distâncias de aterragem.

<b>Distância de aterragem disponível (distância entre limites)</b>	<b>Pares de sinais</b>
Menos de 900m	1
De 900m a 1200m	2
De 1200m a 1500m	3
De 1500m a 2400m	4
2400m ou mais	6

(Fonte: (ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).))

Se este sinal coincidir ou estiver localizado a menos de 50 metros do sinal de ponto de visada, apenas se coloca o sinal de ponto de visada nessa zona do pavimento. (adaptado: (ANAC A. N.-B., 2010))

Na imagem 52 pode ver-se a disposição desta sinalização numa pista, bem como a distância entre elas.

#### ➤ FAIXA LATERAL DA PISTA

Quando não exista um contraste entre os bordos da pista e os das margens do terreno circundante deve haver um sinal de faixa lateral entre os limiares de uma pista pavimentada. Independentemente do contraste referido anteriormente, as pistas de abordagem precisa devem ter um sinal de faixa lateral.

O sinal de faixa lateral consiste em duas faixas ao longo da pista, uma em cada lado, de modo a que o bordo exterior de cada faixa coincida com o bordo da pista, a não ser nos casos em que a pista tem mais de 60 metros ou as faixas estarem dispostas a 30 metros do eixo da pista.

A largura mínima dos sinais é de 0,90 metros nas pistas com 30 metros de largura e, 0,45 metros nas mais estreitas. (adaptado: (ANAC A. N.-B., 2010))

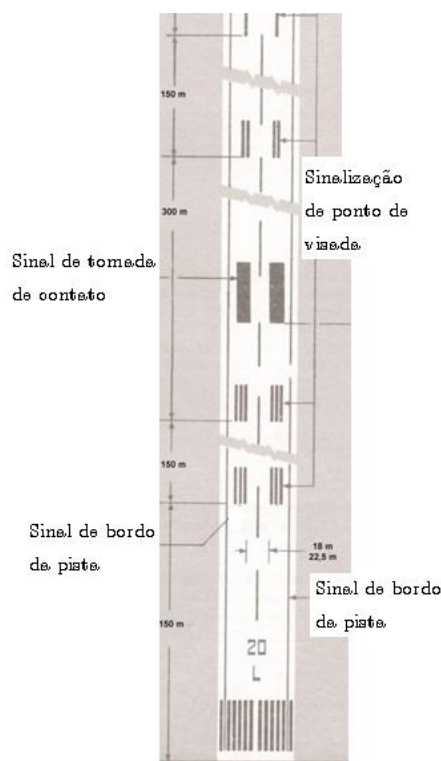


Imagem 46 - Sinais de ponto de visada e tomada de contato.

(adaptado: (ANAC A. N.-B., 2010))

### ➤ EIXO CENTRAL DOS *TAXIWAYS*

Os *taxiways* pavimentados devem possuir sinais de eixo central nos seguintes casos

(adaptado: (ANAC A. N.-B., 2010)):

- ✓ Nas plataformas pavimentadas quando o código da pista for 3 ou 4, de modo a proporcionarem continuidade do eixo da pista aos estacionamentos das aeronaves;
- ✓ Nas plataformas pavimentadas que façam parte do itinerário normal de rodagem e que não haja sinais de eixo;
- ✓ Nas plataformas pavimentadas em que a linha do eixo central dos *taxiways* não coincida com o eixo central da pista. Nesta interseção o sinal do eixo central dos *taxiways* deve realizar uma curva e unir-se ao eixo da pista.

O sinal do eixo central dos *taxiways* deve ter pelo menos 0,15 metros de largura e ser de traço contínuo, exceto quando interseção algum sinal de ponto de espera.

(adaptado: (Goldner, 2010))



Imagem 47 - Sinalização horizontal de um *taxiway*.

(Fonte: <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/imprensa/noticias/5560-29-avancam-obras-no-patio-de-aeronaves-do-aeroporto-de-navegantes.html>)

### ➤ PONTO DE ESPERA

Em todos os locais de espera da pista têm que existir sinais de ponto de espera.

Quando estes sinais são instalados numa interseção de duas pistas devem ser perpendiculares ao eixo da pista que faz o itinerário normal de rodagem.

A imagem 48 mostra a sinalização horizontal dos *taxiways*.

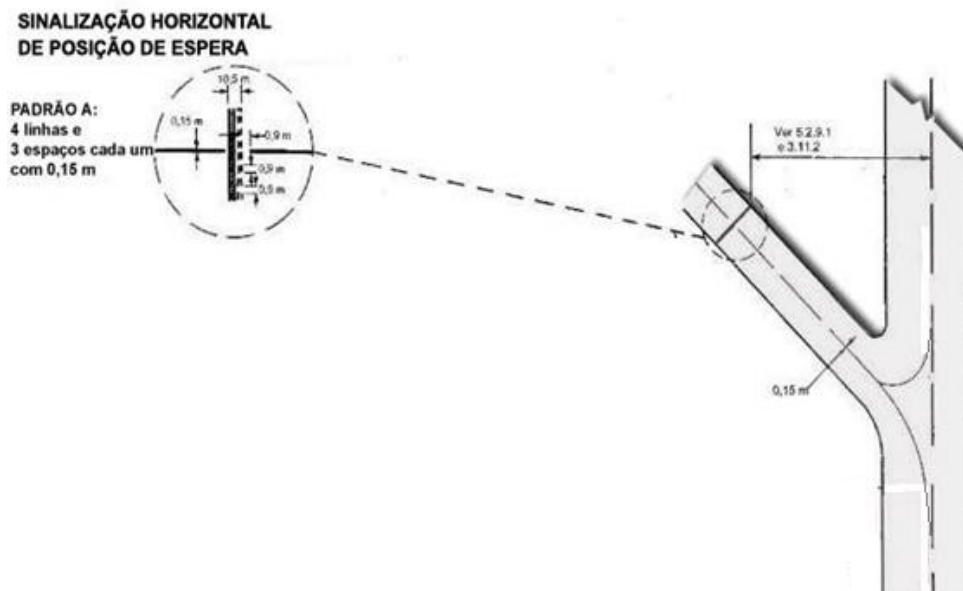


Imagem 48 - Sinalização horizontal do ponto de espera dos *taxiways*.

(adaptado: (ANAC A. N.-B., 2010))

➤ **OUTROS SINAIS**

- **Sinal de posto de abastecimento das aeronaves**

Este sinal inclui a identificação do posto, linha de entrada, barra de viragem, barra de alinhamento, linha de parada (*stopway*) e linha de saída de modo a ter a configuração do estacionamento e completar com outras ajudas de estacionamento.

Deve implementar-se uma identificação do posto de abastecimento das aeronaves, com números ou letras, depois do começo da linha de entrada e deve ficar a curta distância da mesma. A altura da identificação deve estar ajustada de modo a ser nítido no *cockpit* da aeronave que utilize o posto de estacionamento.

- **Linhas de segurança das plataformas**

Nas plataformas pavimentadas que exijam configurações de estacionamento e nas instalações terrestres devem existir linhas de segurança nas plataformas.

A sua implantação deve definir a zona destinada ao uso por parte de equipas de serviço das aeronaves e veículos terrestres, de modo a existir uma separação segura em relação às aeronaves.

São linhas contínuas com uma largura mínima de 0,10 metros.

- **Sinais som instruções obrigatórias**

Quando não for possível colocar as instruções obrigatórias nos sinais verticais, estas devem ser implantadas sobre a superfície do pavimento. Os letreiros de instruções obrigatórias devem ser complementados com os sinais de instruções obrigatórias quando as pistas de rodagem excedam os 60 metros de largura e nos casos em que for necessário do ponto de vista das operações.

- **Sinal de informação**

Os sinais de informação (localização / direção) são instalados nos pavimentos, antes e depois das interseções com pistas de rodagem, bem como nos locais onde a experiência operacional indique o adicionamento de um sinal de localização da pista de rodagem.

O sinal dispõe-se transversalmente na superfície da plataforma necessária e deve localizar-se de maneira a que se possa ler desde o *cockpit* de uma aeronave que se aproxime.

## 6.2 INDICADORES E DISPOSITIVOS DE SINALIZAÇÃO

### ➤ INDICADORES DA DIREÇÃO DO VENTO

Uma pista deve estar munida de pelo menos um indicador de direção do vento, instalado numa zona em que seja visível pelos aviões em circulação, e de maneira a que não sofra perturbações de ar produzidas pelos objetos que estejam na sua proximidade.

O indicador da direção do vento deve apresentar uma forma cónica seccionada e deve possuir pelo menos 3,6 metros de comprimento e 0,9 metros de diâmetro na base maior. O seu propósito é mostrar a direção do vento na superfície e dar uma ideia da sua velocidade. As suas cores devem ser visíveis a pelo menos uma altura de 300 metros, tendo em conta a base sobre o qual está, e devem ser preferencialmente o branco e o laranja.

(adaptado: (Lages, Costa, Raposo, & Luzio, 2009))



Imagem 49 - Indicador de vento

(Fonte: <http://www.domtotal.com.br/colunas/detalhes.php?artId=31560>)

### ➤ INDICADORES DE ATERRAGEM

O indicador de aterragem deve ter a forma de “T”, ser colocado num lugar de realce no aeroporto e deve ter as dimensões apresentadas na imagem 50. A sua cor deve ser branca ou laranja, pois estas são as cores que melhor contrastam com o fundo. Aquando da utilização noturna, o “T” deve ser iluminado ou o seu perímetro deve estar delineado por luzes brancas.

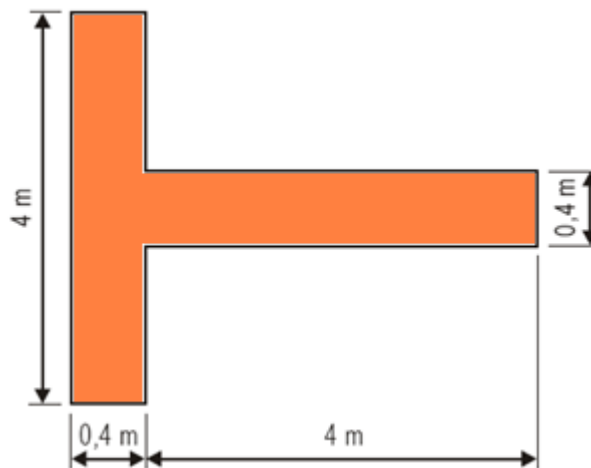


Imagem 50 - Sinal de direcção de aterragem.

(adaptado: (ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).))

### ➤ ILUMINAÇÃO DE SINAIS

As torres de controlo dos aeródromos têm de possuir uma iluminância adequada de originar sinais de cor vermelha, verde e branca.

A iluminância poder ser dirigida manualmente, para produzir uma das cores citadas anteriormente e / ou produzir um sinal numa qualquer outra cor seguido de uma das cores anteriores.

Esta iluminância pode também para enviar uma mensagem em código Morse numa qualquer destas três cores, a uma velocidade igual ou superior a quatro palavras por minuto.

(adaptado: (Lages, Costa, Raposo, & Luzio, 2009))



Imagem 51 - Lâmpada de sinais.

(Fonte: (MDA, Parte 4 – ajudas visuais))

### ➤ PAINÉIS DE SINALIZAÇÃO E ÁREA DE SINAIS

A área de sinais tem de ser visível em todos os ângulos de azimute, sobre de um ângulo de 10° da horizontal, quando visto de uma altura de 300m. (adaptado; (ANAC, PROJETO DE AERÓDROMOS - REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL, 2012))

A área de sinais deve ser plana, quadrada e com pelo menos 9m de lado.



Imagem 52 - Painéis de sinais.

(Fonte: (MDA, Parte 4 – ajudas visuais))

## 6.3 LUZES

A sinalização luminosa pode ser elevada ou de superfície e encontra-se nas pistas, zonas de paragem (*stopways*) e pistas de táxi (*taxiways*).

As luzes elevadas (imagem 53) servem para fazer o balizamento noturno, para que o piloto da aeronave reconheça perfeitamente a localização da pista de aterragem.



Imagem 53 - Exemplo de luzes para pavimentos de aeroportos.

(Fonte: <http://canalpiloto.com.br/category/artigos/page/58/>)

As luzes aeronáuticas superficiais estão dimensionadas e preparadas para aguentarem a passagem das rodas de uma aeronave sem que existam danos quer para a aeronave quer para as luzes.



Imagem 54 - Luz aeronáutica superficial encastrada.

(Fonte: <http://www.avioesemusicas.com/luzes-no-aeroporto-%E2%80%93-quais-sao-e-para-que-servem-%E2%80%93-parte-2.html>)

Contudo, existem luzes que não são aeronáuticas e que quando situadas na superfície de um aeroporto podem por em causa a segurança das aeronaves, assim como causar confusão ou impedir a clara perceção das luzes aeronáuticas. Nesse caso, devem ser eliminadas ou modificadas de modo a eliminar a causa desse perigo. Outro fator que pode perturbar a segurança das aeronaves é as emissões laser de certos equipamentos.

A iluminação da pista deve ser ajustada para garantir as condições necessárias para a visibilidade e luz ambiente. Como tal, a intensidade da iluminação deve ter meios para a sua regulação. Os sistemas aos quais a intensidade de iluminação da pista tem de ser compatível são (Lages, Costa, Raposo, & Luzio, 2009):

- ✓ Sistema de iluminação de aproximação;
- ✓ Luzes de bordo da pista;
- ✓ Luzes de limiar da pista;
- ✓ Luzes de extremo da pista;
- ✓ Luzes de eixo central da pista;
- ✓ Luzes de zona de tomada de contacto;
- ✓ Luzes de eixo central dos *taxiways*.

(adaptado: (Lages, Costa, Raposo, & Luzio, 2009))



Imagem 55 - Iluminação da pista de um aeroporto.

(Fonte: <http://www.avioesemusicas.com/luzes-no-aeroporto-%E2%80%93-quais-sao-e-para-que-servem-%E2%80%93-parte-2.html>)

Os sinais que foram mencionados anteriormente devem ser acompanhados por luzes, para que as aeronaves possam circular durante a noite sem qualquer problema. Estas luzes também podem ser utilizadas em condições de má visibilidade, como por exemplo condições atmosféricas adversas.

Quando não existe um sistema de energia elétrica secundário no aeroporto, é necessário que este seja provido de luzes de iluminação de emergência instaladas pelo menos na pista principal, para o caso de uma falha do sistema de iluminação normal. As luzes de

iluminação de emergência devem ser adaptadas, no mínimo, à configuração solicitada para uma pista de voo visual.

Na imagem 56 pode ver-se as luzes que devem constar numa pista de Categoria II.

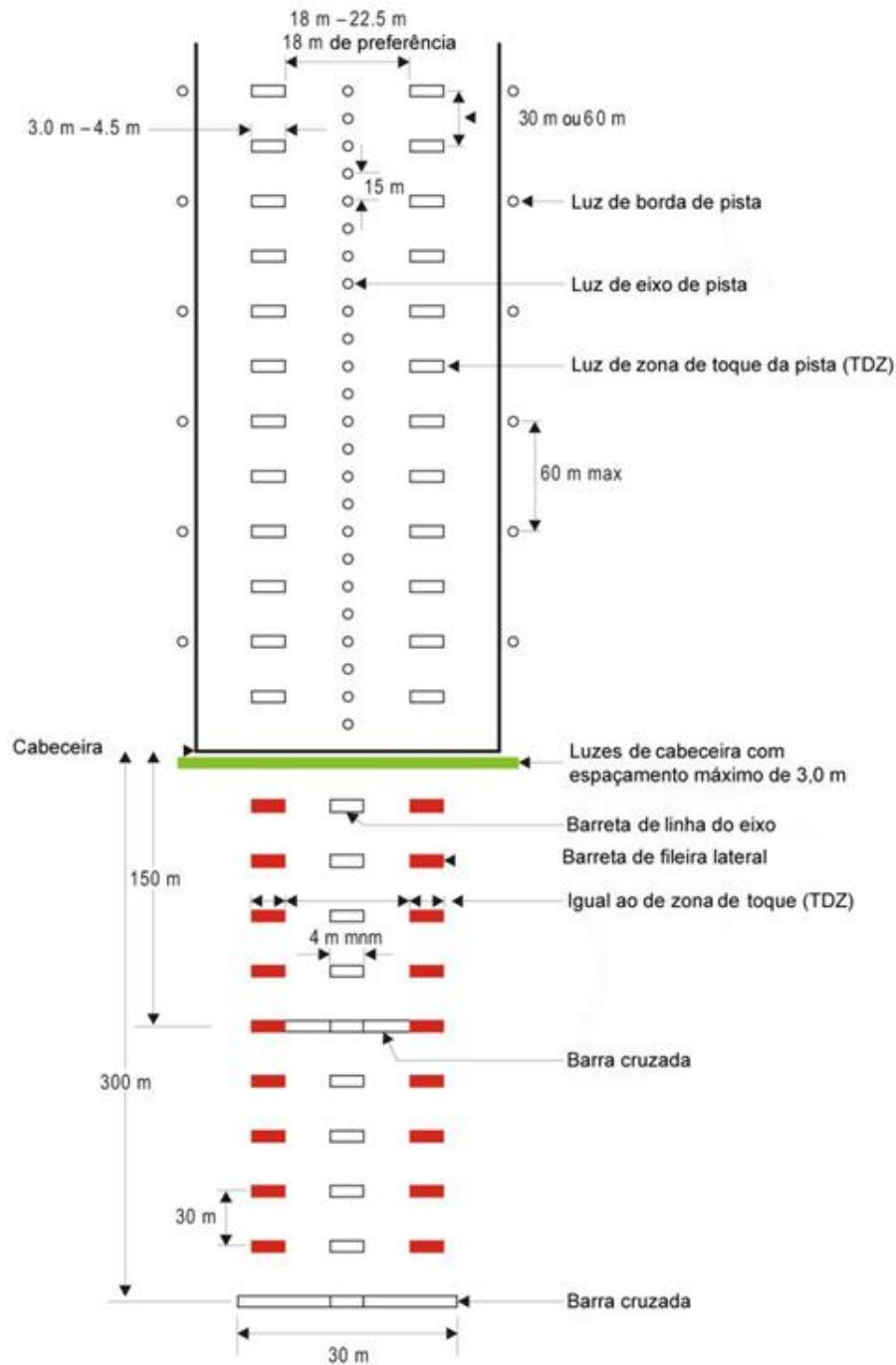


Imagem 56 - Luzes de pista de aterragem para aproximação de precisão Categorias II e III.

(ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).)

➤ **LUZES DE LATERAIS DE PISTA**

Estas luzes são utilizadas para pistas onde se realizem operações noturnas e pistas de aproximação de precisão. São fixas na cor branca, paralelas e equidistantes do eixo da pista.

São uniformemente espaçadas em intervalos em que:

- Pista de precisão - o espaçamento tem de ser menor ou igual a 60 metros;
- Pista visual - o espaçamento tem de ser menor ou igual a 100 metros.

(ANAC, PROJETO DE AERÓDROMOS - REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL, 2012)

Os sinais podem ser amarelos nos últimos 600 metros ou 1/3 da pista, o que for menor para a pista em questão. E quando exista uma cabeceira deslocada, utiliza-se a cor vermelha, para indicar a direção de aproximação, entre o início da pista e da cabeceira.

(Fonte: (Lages, Costa, Raposo, & Luzio, 2009))

➤ **LUZES DE CABECEIRA**

As luzes de cabeceira são utilizadas nos mesmos casos em que é necessário utilizar luzes de lateral de pista, sendo colocadas nas extremidades das pistas, não mais do que 3 metros para fora.

Apresentam pelo menos 6 luzes para pistas visuais e de não precisão e, 3 metros de espaçamento entre luzes de lateral de pista de precisão de Categoria I.

➤ **LUZES DE FIM DE PISTA**

Utilizam-se em pistas providas de luzes de bordo de pista.

Quando a cabeceira estiver disposta na extremidade da pista, os equipamentos que servem como luzes de cabeceira podem ser utilizados como luzes de fim de pista.

Estas luzes são colocadas o mais próximo possível da extremidade da pista, perpendicular ao eixo da pista, a uma distância não superior a 3 metros além da extremidade.

(ANAC, PROJETO DE AERÓDROMOS - REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL, 2012)

➤ **LUZES DE LINHA CENTRAL DE PISTA**

São empregadas nas pistas de precisão, localizadas no eixo ou afastadas não mais que 60 metros. A sua é branca exceto nos últimos 300 metros que é vermelha.

O seu espaçamento longitudinal depende da categoria.

➤ **OUTRO TIPO DE LUZES**

- **Luzes de zona de zona de contato** - utilizadas nas pistas de precisão de Categoria II e III e em THR até 900 metros, sendo de cor branca.
- **Luzes do eixo central da pista de táxi** – têm a cor verde e apresentam intervalos menores que 30 metros.
- **Luzes laterais** - colocadas em pátios e estacionamentos, quando utilizadas à noite. São também utilizadas nas pistas de táxi com espaçamentos menores ou iguais a 60 metros, com cor azul.
- **Luzes de *stopway*** - colocadas quando se irão utilizar os *stopways* à noite, aplicadas em todo o comprimento, de cor vermelha e unidirecional.

(ANAC, PROJETO DE AERÓDROMOS - REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL, 2012)

## 7. ESTUDO DE CASO

O presente projeto refere-se ao Aeroporto de Ondjiva em Angola e visa requalificá-lo de modo a tornar possível a correta acomodação da aeronave Boeing 737-800, e aviões similares. Seguidamente é feito o estudo da situação.

### 7.1 INTRODUÇÃO PARA ESTUDO DO AEROPORTO DE ONDJIVA

A cidade de Ondjiva possui um posicionamento único na rede de comunicações entre a Namíbia e Angola, o que faz da cidade a central administrativa da província do Cunene, bem como o maior aglomerado populacional. Como tal, estabelece um ponto de passagem indispensável para a circulação migratória e comercial. A cidade depende diretamente do seu posicionamento estratégico face às Vias de Comunicação e da sua afirmação enquanto centro administrativo, de serviços e de produção na região. Considera-se, deste modo, que a cidade deverá apostar no progresso das áreas de logística e de produção, tirando o máximo partido dos fluxos comerciais e de passageiros entre a Namíbia e Angola e na implementação de serviços e equipamentos de referência regional, aumentando consideravelmente o número de voos.

Ondjiva situa-se numa área singular no sector das características biofísicas do Sul de Angola. O clima ostenta características de semiaridez, assinalado por uma grande e irregular alternância entre eventos de chuva e de seca, o que determina uma fragilidade inerente dos processos naturais autóctones a modificações antrópicas.

(adaptado: (SINFIC, 2005))

## 7.2 LOCALIZAÇÃO

O aeroporto de Ondjiva, também denominado como Aeroporto 11 de Novembro, localiza-se no Sul de Angola e é um aeroporto de Categoria II, e a única companhia que nele opera é a TAAG *Angola Airlines*. As suas características geográficas mostram-se na tabela 8.

Tabela 8- Ficha técnica e características geográficas do aeroporto de Ondjiva, Angola.

Ficha Técnica e Características Geográficas do Aeroporto	
Nome do Aeroporto	Ondjiva Pereira
Código IATA do aeroporto	VPE
Cidade	Ondjiva
País	Angola
Continente	África
Código do país	AO
Ponto de referência e coordenadas geográficas	17°02'36"S 015°41'02"E
Distância do centro da cidade	NW/5.5 Km de Ondjiva
Altura / Temperatura de referência	1087M /3567pés/29.0 °C
Declinação Magnética	9.1°W (2008)
Tipos de tráfego permitido (IFR/VFR)	IFR/VFR

(Adaptado: <http://www.europelowcost.pt/aeroportos/ondjiva-ondjiva-pereira-vpe.aspx>)

## 7.3 TRÁFEGO

A tabela 9 mostra o tráfego utilizado para o cálculo dos pavimentos<sup>1</sup>. Estima-se que para os próximos 5 anos o número de operações seja de 28 por dia.

<sup>1</sup> A informação cedida é acerca da aeronave crítica e do número esperado de operações para um período de 5 anos. Como a informação acerca das restantes aeronaves é muito escassa, estimou-se que estas realizassem metade das operações diárias esperadas.

Tabela 9 - Tráfego de dimensionamento para o aeroporto de Ondjiva, Angola.

Aeronave	% de operações/dia	Operações diárias	Operações anuais	Saídas anuais
Boeing 737-800	50%	$\frac{28}{2} = 14$	$14 \times 366 = 5124$	$\frac{5124}{2} = 2562$
Outras aeronaves	50%	...	...	...

Como não foi possível obter informação acerca das restantes aeronaves que operam no aeroporto e nem do número de voos que efetuam, atribuiu-se uma percentagem de 50% de operações diárias totalidade das mesmas.

#### 7.4 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS PELO MÉTODO FAA

Nesta secção descreve-se como se procedeu ao cálculo dos pavimentos das pistas de voo, pistas de táxi, cabeceiras e da plataforma de estacionamento, utilizando o método da FAA de cálculo de pavimentos.

O método da FAA utiliza o peso máximo (“*gross weight*”), que no caso de projeto é o peso máximo de descolagem, PMD.

Não é adotado o valor do Peso Máximo de Aterragem, uma vez que este é cerca de 75% do PMD.

O dimensionamento dos pavimentos flexíveis é baseado no Método do CBR e o de pavimentos rígidos na teoria de Westergaard.

Em relação à aeronave é necessário conhecer a carga e o tipo de trem de aterragem.

Para determinar o volume de tráfego tem de se proceder ao levantamento do número de saídas anuais por tipo de aeronave.



Imagem 57 - Tipos de pavimentação propostos para o aeroporto de Ondjiva.

## 7.4.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O pavimento flexível é utilizado nas pistas de aterragem e nas pistas de táxi.

Através de dados obtidos da ENANA a aeronave crítica, ou seja a de projeto, é a Boeing 737-800, que apresenta rodado duplo.

### 7.4.1.1 DETERMINAÇÃO DAS SAÍDAS ANUAIS EQUIVALENTES

Tal como visto anteriormente, estão previstas 2562 saídas anuais mas, para facilitar em termos de leitura do gráfico, utiliza-se o valor aproximado de 3000 saídas anuais.

### 7.4.1.2 CÁLCULO DAS ESPESSURAS DO PAVIMENTO

Para o cálculo da espessura são utilizados os seguintes dados:

- CBR do terreno de fundação: 10% (adotado).
- 3000 saídas anuais previstas do B737-800.
- PMD: 79000kg (174000lb).
- CBR da sub-base: 35% (adotado).

A obtenção das várias espessuras é feita do modo que se segue:

- Em primeiro lugar utiliza-se o ábaco referente à curva de cálculo do pavimento flexível para rodados duplos, apresentada no anexo II.5.

Entra-se no gráfico com o CBR de 10% e traça-se uma linha na vertical é chegar ao PMD de 174000lb, a partir daí segue-se uma linha na horizontal até intercectar a linha das 3000 saídas anuais e, desse ponto vai-se por uma linha vertical onde se obtém a espessura total do pavimento.

A espessura total obtida para o pavimento é 24in (*inches*), ou seja, 61cm.

- Utiliza-se o mesmo gráfico para retirar a espessura das camadas betuminosas.

Prevê-se que o CBR do subleito seja de 35%. Entrando com este valor de CBR a espessura obtida é de 9,5in, ou seja, 24,1cm.

- A espessura da base é a diferença entre as duas anteriores.

$$61-24,1=36,9\text{cm}$$

- Por último, procede-se à verificação da espessura mínima referente à camada de base estabilizada segundo a ICAO. Se não se atingir a espessura mínima, é utilizada esta em detrimento da obtida pelos ábacos.

Para a averiguação da espessura mínima, entra-se no gráfico do anexo II.6 com a espessura total do pavimento, 61cm, e traça-se uma linha reta até ao valor do CBR do terreno de fundação, que é de 10%, de seguida sobe-se numa linha vertical, onde se retira a espessura mínima, que no caso em análise é de 29cm.

A espessura da base obtida (36,9cm) pode ser utilizada, uma vez que é maior que a espessura mínima (29cm).

$$36,9\text{cm} > 29\text{cm} , \text{cumpre o requisito.}$$

#### 7.4.1.3 ZONAS CRÍTICAS E NÃO CRÍTICAS

Consideram-se as áreas críticas compreendidas a 7,5m para cada lado do eixo da pista, a partir dos primeiros 150m, e também os caminhos de circulação na totalidade.

Como zonas não críticas, consideram-se as zonas a partir de 15m de cada lado do eixo da pista, incluindo as bermas.

Chama-se de zona de transição à zona intermédia entre os 7,5m e os 15m.

Nas zonas não críticas será utilizada apenas 70% da espessura do pavimento.

$$0,7 \times 24,1\text{cm} = 16,9\text{cm} \rightarrow \text{Misturas betuminosas [8]}$$

$$0,7 \times 36,9\text{cm} = 25,8\text{cm} \rightarrow \text{Base [9]}$$

$$16,9 + 25,8 = 42,7\text{cm} \rightarrow \text{Espessura Total [10]}$$

Estes dados são utilizados para a verificação da espessura mínima, no gráfico do anexo II.6. A espessura mínima é de 18cm (inferior à espessura da base que é 25,8cm), logo a partir dos 15 m após o eixo da pista, utilizam-se os 70% da espessura da base.

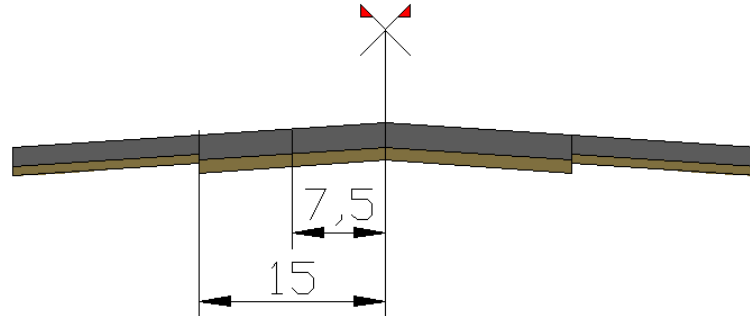


Imagem 58 - Esquema de um corte transversal.

É de notar que para se conseguir cumprir uma boa drenagem superficial, é necessário adicionar uma camada com uns centímetros de espessura a mais nas zonas críticas da base, ou acrescentar uma sub-base de espessura variável.

O fato de se mudar a espessura do pavimento provoca complicações construtivas, mas compensa devido à grande diferença de espessura.

Por isto, decide-se usar a espessura crítica ao longo da superfície até aos 15m de cada lado do eixo e da pista e, nos restantes, incluindo as bermas, é utilizada a espessura das zonas não críticas. O anexo I.4 mostra-se os perfis transversais tipo.

#### 7.4.1.4 ESTABILIZAÇÃO DA BASE

Serão utilizados agregados britados de granulometria extensa nas camadas de base e sub-base, como valores de CBR de 10% e 35%, respetivamente, que garantem uma boa resistência.

#### 7.4.2 PAVIMENTOS RÍGIDOS

O pavimento rígido é utilizado nas cabeceiras e na plataforma de estacionamento do aeroporto porque permite distribuir as cargas verticais sobre uma grande área e com

pressões muito reduzidas, para além de apresentar deflexões muito baixas, que podem até ser consideradas desprezáveis, exceto nos bordos das lajes e juntas sem passadores. São também pavimentos de alta resistência às grandes pressões e contato das aeronaves (como por exemplo nas suas operações de viragem).

#### 7.4.2.1 DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA LAJE

Os parâmetros necessários para a utilização das curvas são:

- Resistência característica do betão à flexão aos 90 dias (psi): Adota-se o valor de 5MPa (725lb/polg<sup>2</sup>) aos 90 dias, o que implica que aos 28 dias o valor seja de 4,5MPa, ou seja 10% da resistência final. O betão utilizado é o C20/25.
- Módulo de reação do terreno de fundação, K (pci): normalmente, este valor é obtido através de ensaios de carga estáticos, quer na zona da plataforma de estacionamento de aeronaves quer nas zonas das pistas.

Como no presente caso, não temos acesso a quaisquer ensaios realizados, foi adotado o valor de 80MN/m<sup>3</sup> (292,68lb/polg<sup>3</sup>), atuando deste modo com alguma prudência.

- Peso bruto da aeronave (PMD): B 737-800 com 79000kg (174000lb).
- Saídas anuais da aeronave (R1): 3000 (valor aproximado, como já foi visto anteriormente).

Os dados supra indicados, são utilizados nas curvas de cálculo de pavimento rígido para rodado duplo, anexo II.7.

$$5MPa \rightarrow \frac{5}{0,0069} = 725psi [11]$$

$$\frac{80MN}{m^3} \rightarrow \frac{80}{0,272} = 294pci [12]$$

A ordenada da esquerda na curva de cálculo é a resistência do betão à flexão. Traça-se uma projeção horizontal, desde os 725psi até a linha do módulo de reação do terreno de fundação de 294pci, seguidamente traça-se uma projeção a partir desse ponto até ao peso bruto da aeronave correspondente a 174000 lb e, por último, traça-se uma projeção horizontal desde esse ponto até à ordenada da direita que contém as saídas anuais. Ai lê-se que a espessura obtida para a laje de betão é de 13,5in (anexo II.7).

A espessura do pavimento indicada refere-se apenas à espessura da laje de betão, sem ter em conta a camada de sub-base.

#### 7.4.2.2 REQUISITOS DA CAMADA DE SUB-BASE

A camada de sub-base tem o objetivo de proporcionar um apoio seguro e regular para as lajes do pavimento. É requerida uma espessura mínima de 4'' (10cm), exceto nas situações assinaladas na tabela 10.

Tabela 10 - Condições onde não é requerida a sub-base (X).

Classificação unificada do solo de fundação	Boa drenagem		Má drenagem	
	Sem possibilidade de gelo-degelo	Com possibilidade de gelo-degelo	Sem possibilidade de gelo-degelo	Com possibilidade de gelo-degelo
GW	X	X	X	X
GP	X	X	X	
GM	X			
GC	X			
SW	X			

(fonte: (ICAO))

O material de que se dispõe, as condições meteorológicas e de drenagem são as que, de acordo com o quadro anterior, requerem uma camada por debaixo da laje de betão. Para além desta camada é fundamental a existência de uma boa drenagem nas cabeceiras e da plataforma de estacionamento das aeronaves.

A camada de sub-base para o pavimento rígido será composta por material granular britado de granulometria extensa tratado com cimento e, com um “K” de 80MN/m<sup>3</sup>, procedente dos solos GW, GP, GM e GC (Pedregulho bem-graduado, mal-graduado, silteoso e argiloso, respetivamente).

#### 7.4.2.3 CAMADA DE SUB-BASE ESTABILIZADA

A camada de sub-base deve ser estabilizada uma vez que o peso da aeronave é superior a 45.400kg.

O valor de “K” da camada de sub-base sem estabilizar é de 80MN/m<sup>3</sup>, para a espessura mínima da camada de sub-base. O incremento do valor de “K” para a camada estabilizada retira-se do ábaco presente no anexo II.3. O valor total de “k” passa para 95MN/m<sup>3</sup>, ou seja 330pci.

Utiliza-se o gráfico do anexo II.7 e retira-se a espessura da camada betuminosa com o “k” incrementado pela camada de sub-base estabilizada.

$$\frac{95MN}{m^3} \rightarrow \frac{95}{0,272} = 330pci [13]$$

Com o novo valor de “k”, a espessura da laje de betão obtida é de 13,2in.

#### 7.4.2.4 VERIFICAÇÃO DA ESPESSURA MAIS ECONÓMICA

Pode aumentar-se a espessura da camada de sub-base de modo a aumentar o módulo de reação do terreno e diminuir a espessura da camada betuminosa. Os custos da utilização da espessura extra da camada de sub-base devem ser ponderados em função da poupança na espessura de betão.

Seguidamente experimentam-se várias espessuras para a camada de sub-base e, entrando com os valores nos dois gráficos, incremento de “k” e espessura da laje, verifica-se qual a mais económica.

Tabela 11 - Espessura da laje de betão para o Aeroporto de Ondjiva, em função da espessura da camada de sub-base.

Espessura da camada de sub-base (cm)	Módulo de reação (k) total		Espessura da laje de betão	
	lb/ pulg	MN/m <sup>3</sup>	cm	in
20	400	110	33,53	13,2
15	375	100	34,04	13,4
10	350	95	34,54	13,6

Em primeiro lugar verificam-se quais os valores de “k” referentes às espessuras de sub-base de 10, 15 e 20cm, seguidamente utilizam-se esses valores nos gráficos, e retiram-se as espessuras das lajes de betão associadas.

A conclusão que se retira é que a espessura da laje de betão diminui pouco com o aumento da camada de sub-base.

## I. ESTIMATIVA ORÇAMENTAL

Para se perceber qual a influência que irá ter no valor global, a diferença de espessura verificada anteriormente, realiza-se um cálculo para 1m<sup>2</sup> de pavimento em cada uma das espessuras de sub-base referidas.

Admitindo:

$$1m^3 \text{ Betão} = 2,3 \text{ ton (2300kg)} [14]$$

$$1m^3 \text{ material britado} = 1,6 \text{ ton (1600kg)} [15]$$

Tabela 12 - Peso específico de materiais.

Material	Peso específico Kg/m <sup>3</sup>
Areia seca	1300
Brita basáltica	1700
Cascalho de rocha seco	1500
Seixo arenoso	1600

$$Média = 1525kg/m^3 \rightarrow 1600kg/m^3$$

**Opção 1: Camada de sub-base com 20cm de espessura.**

$$\text{Camada de desgaste e laje de betão} - 1 \times 1 \times 0,3353 = 0,3353m^3 \text{ [16]}$$

$$0,3353m^3 \times 2,3 = 0,77ton \text{ [17]}$$

$$\text{Sub-base} - 1 \times 1 \times 0,2 = 0,2m^3 \text{ [18]}$$

$$0,2m^3 \times 1,6 = 0,32ton \text{ [19]}$$

**Opção 2: Camada de sub-base com 15cm de espessura.**

$$\text{Camada de desgaste e laje de betão} - 1 \times 1 \times 0,3404 = 0,3404m^3 \text{ [20]}$$

$$0,3404m^3 \times 2,3 = 0,78ton \text{ [21]}$$

$$\text{Sub-base} - 1 \times 1 \times 0,15 = 0,15m^3 \text{ [22]}$$

$$0,15m^3 \times 1,6 = 0,24ton \text{ [23]}$$

**Opção 3: Camada de sub-base com 10cm de espessura.**

$$\text{Camada de desgaste e laje de betão} - 1 \times 1 \times 0,3454 = 0,3454m^3 \text{ [24]}$$

$$0,3454 \times 2,3 = 0,79ton \text{ [25]}$$

$$\text{Sub-base} - 1 \times 1 \times 0,10 = 0,1m^3 \text{ [26]}$$

$$0,10m^3 \times 1,6 = 0,16ton \text{ [27]}$$

Tabela 13 - Estimativa orçamental para 1m<sup>2</sup> de pavimento.

Material	Quantidade	Preço (€)	Total
Opção 1			
Camada de desgaste e laje de betão	0,77	60	46,2
Sub-base	0,32	30	9,6
			55,8€/m <sup>2</sup>
Opção 2			
Camada de desgaste e laje de betão	0,78	60	46,8
Sub-base	0,24	30	7,2
			54,0€/m <sup>2</sup>
Opção 3			
Camada de desgaste e laje de betão	0,79	60	47,4
Sub-base	0,16	30	4,8
			52,2€/m <sup>2</sup>

Ao analisar a tabela anterior, verifica-se que é mais vantajoso utilizar a espessura mínima e aumentar a espessura da laje de betão, uma vez que esta terá pouco aumento.

Como a diferença de espessuras das lajes de betão não é muito diferente, o valor não se torna muito significativo no orçamento final.

#### 7.4.2.5 ÁREAS CRÍTICAS E NÃO CRÍTICAS

Nas áreas não críticas utiliza-se 90% da espessura. A mudança de espessura nas transições deve ser levada a cabo em todo o comprimento e largura da laje.

Nas áreas de espessura variável, a espessura das camadas inferiores deve ser ajustada de modo a que não existam descontinuidades à superfície por razões de drenagem superficial e porque a plataforma de fundação fica sempre à mesma cota.

Neste caso considera-se como zonas não críticas apenas os bordos das cabeceiras e da plataforma de estacionamento. Assim sendo, estas podem ficar com uma espessura de laje de betão de:

$$33,53 \times 0,9 = 30,18\text{cm} [28]$$

## 7.5 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS PELO MÉTODO ACN/PCN

Mediante este método, pode expressar-se, a capacidade suporte de um pavimento por um único número, sem necessidade de especificar qual a aeronave de projeto. O sistema está estruturado de modo a indicar que um pavimento que tenha um valor de PCN calculado suporta qualquer aeronave que tenha um valor ACN igual ou menor que o seu.

Como a cálculo dos pavimentos que se levou a cabo foi feito com a aeronave Boeing 737-800, o seu ACN servirá de valor nominal para dos dois tipos de pavimentos, e será comparado com os valores do PCN.

Assim, seguindo o método explicado anteriormente, no capítulo 5.2., para o cálculo do PCN do pavimento flexível, e com as características de um terreno de fundação de resistência mediana, sem limite de pressão de pneus e pelo método de avaliação técnica, resulta:

PCN 42/F/M/W/T

### Cálculo PCN para pavimento flexível:

1º - Carga equivalente por roda simples, SER.

$$RSE = \frac{e^2}{\frac{1}{C1 \times CBR} - \frac{1}{C2 \times pn}} [29]$$

Atendendo às espessuras:

Misturas betuminosas – 24,1cm

Camada de base – 36,9cm.

Espessura total – 61cm.

$$RSE = \frac{61^2}{\frac{1}{0,5695 \times 10} - \frac{1}{32,035 \times 125}} = 21221,28 [30]$$

2º - Pressão normalizada, PCNpn.

$$PCN_{pn} = \frac{1}{500} RSE \quad [31]$$

$$PCN_{pn} = \frac{1}{500} 21221,28 = 42,44 \quad [32]$$

3º - PCN corrigido

$$PCN = PCN_{pn} \times \frac{\frac{1}{C1 \times CBR} - \frac{1}{C2 \times q}}{\frac{1}{C1 \times CBR} - \frac{1}{C2 \times pn}} \quad [33]$$

Admitindo que a pressão efetiva é 1,25MPa.

$$PCN = 42,44 \approx 42 \quad [34]$$

Pavimento flexível – F

Valor normalizado do terreno de fundação (CBR=10%) – M

Sem limite de pressão – W

Método de avaliação por avaliação técnica - T

E para o pavimento rígido, com um terreno de resistência média, sem limite de pressão de pneus e pelo método experimental:

PCN 46/R/M/W/U

#### **Cálculo PCN para pavimento rígido:**

ACN aeronave crítica = PCN pavimento =46

Pavimento rígido – R

Valor normalizado do terreno de fundação (K=100MN/m<sup>3</sup>) – M

Sem limite de pressão – W

Método de avaliação por avaliação técnica - U

O aeroporto pode receber, qualquer aeronave com um ACN inferior ao PCN indicado.

O ACN da Boeing 737-800 para o pavimento flexível é 40. Como é menor que o valor do PCN pode operar no pavimento.

Para o pavimento rígido, o método utilizado para o cálculo do PCN é o método experimental, em que o maior valor de ACN das aeronaves que utilizam o pavimento é o valor de PCN do mesmo. Assim sendo, como valor do ACN da aeronave crítica para o pavimento rígido é 46 (valor de ACN maior), o valor do PCN também é 46.

## 7.6 CÁLCULO DOS PAVIMENTOS PELO PROGRAMA FAA DESIGN 150/5320-6D

Para confirmar o resultado obtido pelas curvas de cálculo do mesmo método, foi realizado um dimensionamento utilizando um programa, o FAARFIEL, para os dois tipos de pavimentos. O método é explicado na circular consultiva AC 150/5320-6D, que visa fornecer orientações sobre a conceção estrutural e avaliação de pavimentos aeroportuários.

O procedimento para a obtenção da espessura dos pavimentos flexíveis e rígidos do aeroporto de Ondjiva é desenvolvido em seguida.

### 7.6.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – FAA DESIGN 150/5320-6D

O programa FAA *Flexible Pavement Design* AC 150/5320-6D encontra-se estruturado em 10 passos.

Os passos devem ser seguidos por ordem, mas há a possibilidade de alterar algum dado a qualquer momento.

- O **passo 1** é a introdução dos dados, em que como o nome indica, são introduzidos dados acerca do aeroporto e do autor do projeto, para que o mesmo seja identificado.

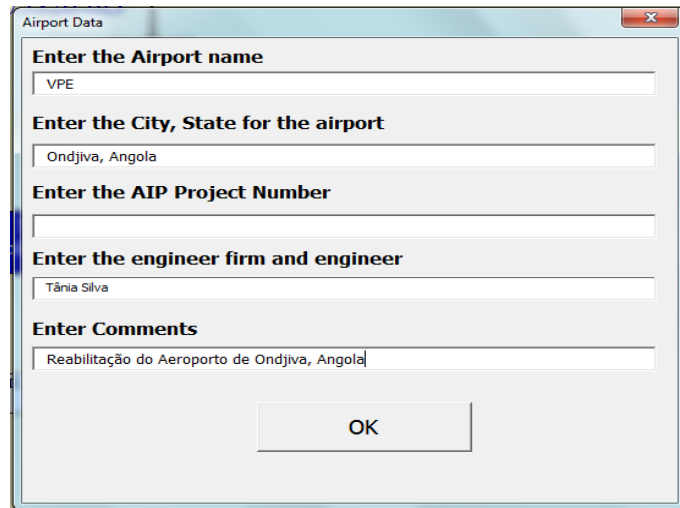


Imagem 59 - Passo 1 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Introdução de dados.

Não é obrigatório preencher todos os campos deste passo.

- O **passo 2** refere-se ao CBR do terreno de fundação e à formação de geada.

É colocado o CBR do terreno, 10%, e quanto à formação de geada é referenciado que não existem condições de geada no caso em estudo

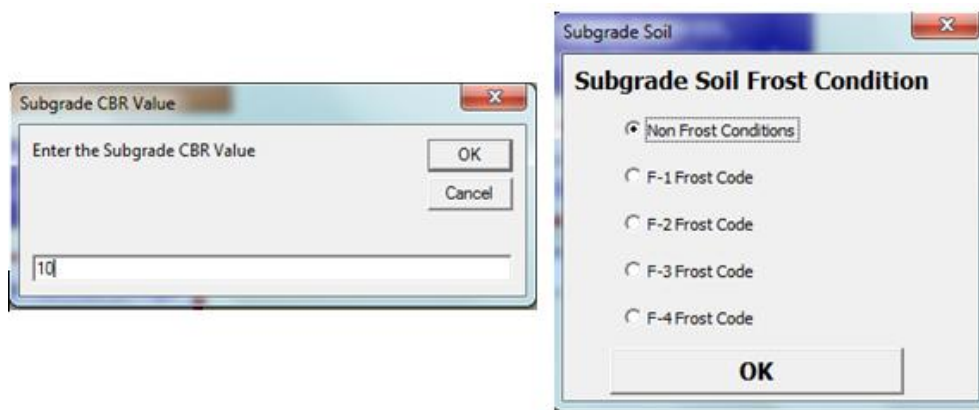


Imagem 60 - Passo 2 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Introdução do CBR da fundação e do código de geada.

- O **passo 3** é respeitante à informação sobre a sub-base.

Em primeiro lugar diz-se quantas sub-bases irão existir no pavimento, e depois qual o valor de CBR das mesmas e, refere-se novamente que não existem condições de geada.

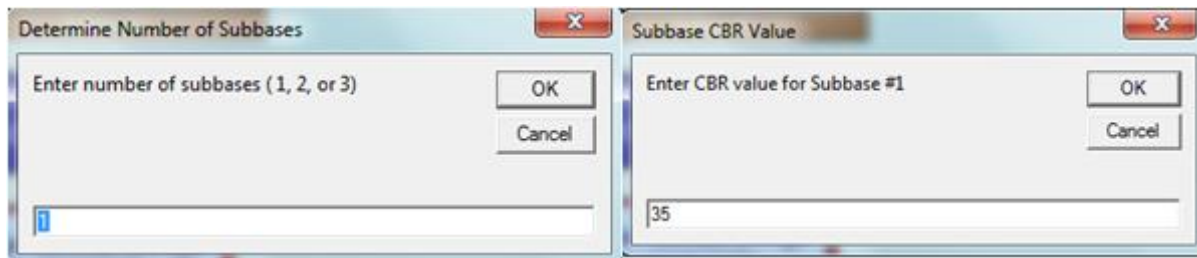


Imagem 61 - Passo 3 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Informação sobre a sub-base.

- No **passo 4** tem de ser feita uma seleção da base de agregação padrão.

O padrão FAA para a base granular é P209, que significa sub-base tratada com cimento.

O P-208 e o P211 são utilizados para base granular para aeronaves com peso menor ou igual a 60000 lbs e base de rocha, respetivamente.

Neste caso seleciona-se a opção P209 por exclusão de partes, uma vez que a aeronave crítica apresenta um peso superior aos outros dois parâmetros. Apesar de não ser tratada com cimento, os materiais de que é composta conferem-lhe bastante resistência.

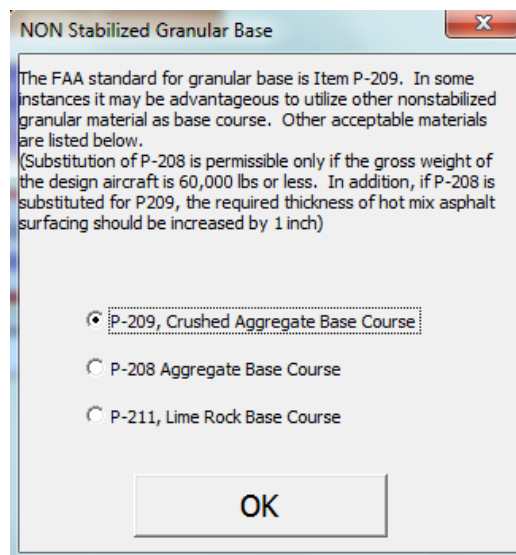
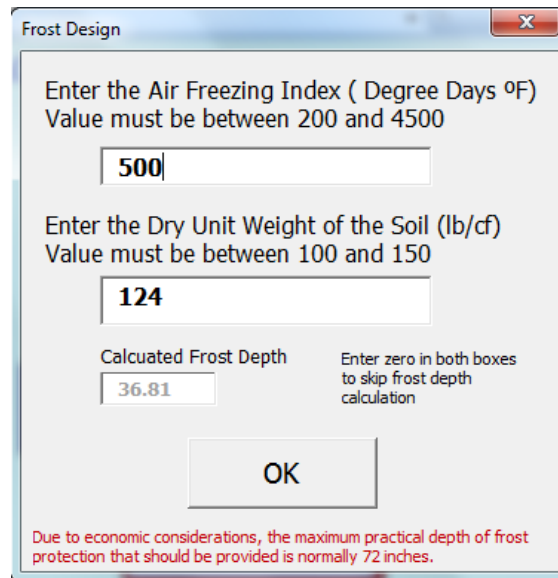


Imagem 62 - Passo 4 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Seleção da base de agregação padrão.

- O **passo 5** é destinado ao cálculo da profundidade de penetração da geada.

Para o aeroporto de Ondjiva são utilizados os valores predefinidos do programa, nomeadamente, 500 graus-dia, para o índice de congelamento e, 124 lb/cf para a unidade de peso seco do solo.



Frost Design

Enter the Air Freezing Index ( Degree Days °F)  
Value must be between 200 and 4500

500

Enter the Dry Unit Weight of the Soil (lb/cf)  
Value must be between 100 and 150

124

Calculated Frost Depth

36.81

Enter zero in both boxes  
to skip frost depth  
calculation

OK

Due to economic considerations, the maximum practical depth of frost protection that should be provided is normally 72 inches.

Imagem 63 - Passo 5 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Profundidade de penetração da geada.

- Os **passos 6, 7 e 8** estão agrupados no programa, porque são referentes às aeronaves e tipo de tráfego que o aeroporto irá ter.

Por defeito o programa não contém a aeronave Boeing 737, como tal, escolhe-se um modelo similar, que neste caso é o Dual200. Dá-se preferência ao Dual200 (200000 lbs) em detrimento do Dual150 (150000 lbs), para dar primazia à pior situação.

Seguidamente escolhe-se outro modelo, de uma gama inferior, para simular o restante tráfego que o aeroporto possa ter (o maior avião que opera no aeroporto de Ondjiva é o Boeing 737-800).

Tabela 14 - Passos 6, 7 e 8 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Mistura das aeronaves para o dimensionamento.

Step 6 ENTER AIRCRAT DATA		Step 7 Find Required Thickness For Each Aircraft		Step 8 Accept Critical Aircraft (Return)		
Enter up to 21 aircraft (in any order) also enter Max weight & Annual Departures						
Clear All aircraft Information	User's name for Aircraft (optional) e.g. Citation IV	Aircraft grouping --- Gear type AC 150/5320-6D	Default Weight	Max Takeoff weight MTOW	Annual Departures	Thickness Required for Each Individual Aircraft
		DUAL200 - 200,000 lbs		200.000	3.000	25,90
		C-9 - 110,000 lbs		110.000	3.000	17,77
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00
		NONE		0	0	0,00

Após este passo o programa informa sobre a necessidade de estabilizar a base, uma vez que a aeronave tem um peso superior a 100000lbs.

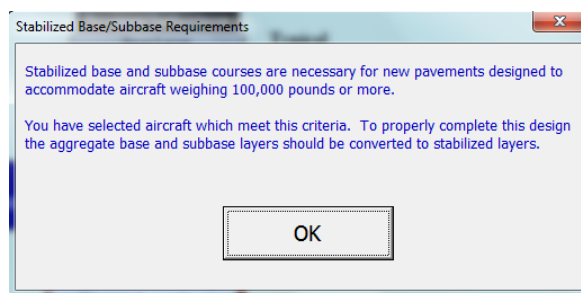


Imagem 64 - Informação para estabilizar a base do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis.

➤ No **passo 9** são feitos os cálculos para a camada estabilizada.

Escolhe-se o material para a estabilização da base. As opções fornecidas são:

- P-304 – Base tratada com cimento.
- P-306 – Sub-base tratada com betão
- P-411 – Base tratada com aglutinante betuminoso

Após a escolha do material, digita-se o fator de equivalência correspondente.

A estabilização adequada é a base tratada com cimento, com um fator de equivalência de 1,6.

Conclui-se que a sub-base não necessita de ser estabilizada.

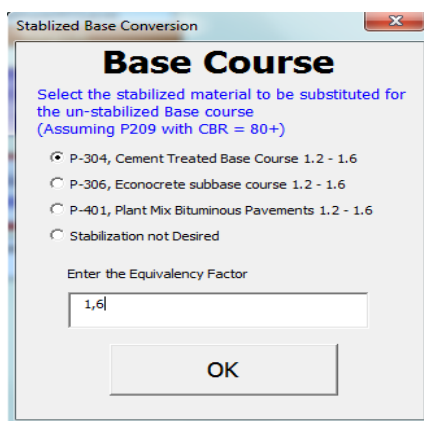


Imagem 65 - Passo 9 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Calcular a base estabilizada.

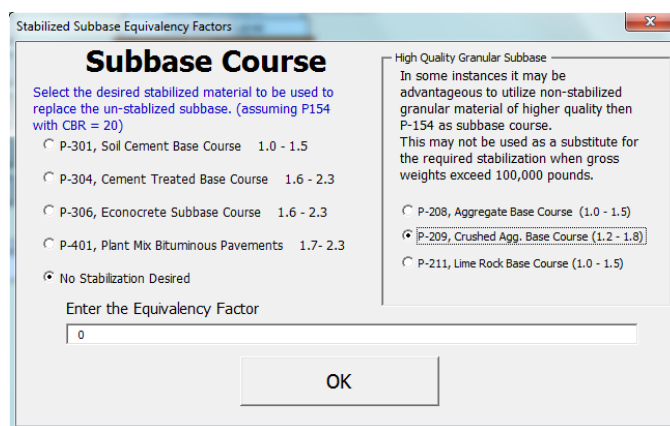


Imagem 66 - Passo 9 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos flexíveis. Calcular a sub-base estabilizada.

- O **passo 10** constitui o resumo do projeto, onde é apresentada a espessura final e informações acerca do projeto.

A espessura total é de 24 in, ou seja, 61 cm, valor igual ao auferido nos ábacos.

Pela análise aos gráficos obtidos, quanto maior o número de saídas anuais da aeronave de cálculo maior é a espessura do pavimento requerida e que quanto maior é o valor de CBR, menor espessura é necessária para o pavimento.

No anexo II.8 podem visualizar-se os dados obtidos através da utilização deste programa para o cálculo do pavimento flexível no aeroporto de Ondjiva.

### 7.6.2 PAVIMENTOS RÍGIDOS – FAA DESIGN 150/5320-6D

O programa FAARFEILD da AC 150/5320-6D para pavimentos rígidos encontra-se dividido em 8 passos em que, tal como nos pavimentos flexíveis, a sua ordem de pode ou não ser seguida.

- O **passo 1** é semelhante ao primeiro passo para o dimensionamento de pavimentos flexíveis. É feita a introdução de alguns dados acerca do aeroporto para o rosto do resumo.
- No **passo 2** são inseridas informações sobre a geada do subleito, o valor do K do subleito e sobre a sub-base.

Subgrade / Stabilized subbase / Aggregate subbase

Enter the subgrade k-value and the thickness of the stabilized and/or aggregate subbase

Concrete Pavement

4 Enter the Thickness of the Stabilized Subbase Layer Improved k-value  
minimum thickness is 4 inches after all layers  
Enter 0 if no stabilized layer is present 380

0 Enter the thickness of subbase aggregate layer k-value on top of  
minimum aggregate layer is 4 inches aggregate layer  
Enter 0 if no aggregate layer is present 368

Crushed Aggregate  Uncrushed Aggregate

0 Free Draining Non-Frost susceptible Layer  
(If present, typically a 4" free draining material with 4" filter layer  
see chp 5 of TMS-818-2 / AFM 88-6 chp 4)

368 Enter the Foundation Modulus (k value) for the S k-value from  
(Maximum permissible value is 500 psi) Frost design  
0

OK

Imagem 67 - Passo 2 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos rígidos. Introdução do valor da espessura da sub-base e o valor de K do subleito.

Mais uma vez, o efeito da geada não é considerado para o aeroporto de Ondjiva.

Seguidamente introduz-se, para o pavimento de betão, o valor de “K” do terreno e a espessura da sub-base estabilizada.

O valor de K é 368pci, que representa 100MN/m<sup>3</sup>.

Os passos a seguir são:

1 – Introdução da espessura da camada de sub-base, sendo que a espessura mínima é de 4” polegadas para sub-bases estabilizadas. Coloca-se a espessura mínima que é de 4”. No dimensionamento pelos ábacos verificou-se que a espessura mínima para a camada de sub-base é a mais económica.

2 – Introdução da espessura da camada de sub-base agregada, sendo que a espessura mínima é de 4 polegadas. Neste caso coloca-se 0 (zero) porque não existe uma camada de sub-base agregada estabilizada.

3 - Drenagem livre para situações em que não há geada. Coloca-se 0 (zero), uma vez que se considera que não há condições de geada.

4 – Identificar o valor de K. Neste caso é 368pci.

➤ O **passo 3** é relativo às características do betão.

Inserem-se as propriedades do betão, nomeadamente a resistência à flexão do betão novo, 5MPa, correspondente a 725 psi.

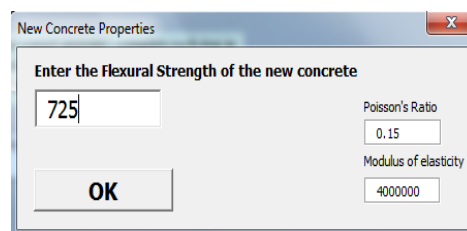


Imagem 68 - Passo 3 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos rígidos. Introdução da resistência à flexão do betão.

- Os **passos 4 e 6** referem-se à mistura das aeronaves para o dimensionamento. Este tópico é semelhante aos passos 6, 7 e 8 do procedimento referido anteriormente.
- O **passo 7** refere-se à sobreposição de projeto, mas é uma opção que não vai ser realizada.

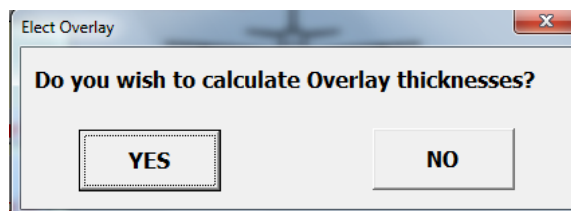


Imagem 69 - Passo 3 do programa de dimensionamento Design AC 150/5320-6D, para pavimentos rígidos. Sobreposição de projeto.

- O **passo 8** é o resumo e indica a espessura da camada de betuminoso.

A espessura obtida é de 9,0”, o equivalente a 22,05 cm.

Conclui-se que a espessura obtida pelos ábacos e pelo programa não é igual.

Após várias tentativas, alterando o efeito da geada, pois este é o único elemento que não foi considerado, o valor não se aproxima ao obtido pelos ábacos. Como tal, opta-se pela situação mais gravosa, os 34,54 cm obtidos através dos ábacos.

No anexo II.9 podem visualizar-se os dados obtidos através da utilização deste programa para o cálculo do pavimento rígido no aeroporto de Ondjiva.

## 7.7 MEDIDAS A IMPLEMENTAR NO PAVIMENTO

Na presente dissertação as medidas geométricas da pista de Ondjiva são verificadas com base no código de referência do aeródromo (ARC – *Aerodrome Reference Code*) da ICAO. O ARC constitui um termo de compatibilidade entre o pavimento aeroportuário e a aeronave que nele circula. É constituído por dois trâmites, sendo que o primeiro se refere a

particularidades de desempenho da aeronave e o segundo resulta de características geométricas da mesma.

Na tabela 15 são apresentadas algumas características desta aeronave crítica.

A tabela 1, já apresentada anteriormente, relaciona o ARC com intervalos das especificidades das aeronaves, segundo a ICAO. Segundo a mesma e tendo em conta a aeronave crítica no dimensionamento, o aeroporto de Ondjiva pertence ao grupo dinâmico 4 e ao grupo geométrico C.

Tabela 15 – Características do Boeing 737-800.

Boeing 737-800	
Comprimento (m)	39,5
Envergadura (m)	34,2
Pista mínima de descolagem (m)	2400
Distância entre eixos (m)	15,6
Distância entre rodas exterior (m)	5,7

### 7.7.1 LARGURA DA PISTA DE ATERRAGEM

A largura recomendada pela ICAO para a pista aterragem obedece à tabela 18 presente no anexo II.10 e, conforme a mesma a largura da pista deve ser no mínimo de 45m.

A ICAO prevê larguras mínimas para os bordos das pistas aterragem para os grupos geométricos D, E e F, de modo a acondicionar as aeronaves durante qualquer desvio que possam ter, permitindo que regressem para a superfície da pista em segurança.

(adaptado: (Silva E. J., 2012))

Mesmo pertencendo ao grupo C, e não ser necessário ter bordos, prevê-se que num perímetro de pelo menos 3 metros em torno da pista, o solo seja estabilizado e livre de vegetação.

### 7.7.2 ÁREA ANTERIOR À CABECEIRA

Segundo a ICAO, recomenda-se que a sua largura seja igual à largura da pista combinada com a largura dos bordos. Já o comprimento depende do tamanho da aeronave crítica, sendo que para aeronaves como o B747 ou A380 o comprimento deve ser 120m e para aeronaves menores deve ser de 60m. (adaptado: (Silva E. J., 2012))

Sendo o Boeing 737 uma gama inferior à do Boeing 747, a área anterior à pista deve ser de 60m.

### 7.7.3 LARGURA DOS TAXIWAYS

A largura dos *taxiways* tem em conta o critério de folga do pavimento, sendo que para tramos retilíneos, a largura mínima é a soma entre o *Wheel span* e o dobro da folga do pavimento.

Os padrões da ICAO para a folga do pavimento e para a largura da pista de um *taxiway* num tramo retilíneo, estão contidos na ICAO anexo 14 (2004<sup>a</sup>, p.3-11), e estão apresentados no anexo II.19, tabela 19.

Através dos dados recolhidos da tabela anterior e sabendo as características do Boeing 737-800, obtém-se a largura mínima para a pista de táxi:

$$5,7 + 2 \times 3 = 11,7m [35]$$

Por medida de segurança, adota-se o 15m, como indicado na tabela 19, anexo II.10.

As funções dos bordos da pista de táxi e da pista aterragem são similares, já as suas especificações diferem quer ao nível dos desvios das aeronaves quer da largura das pistas de táxi e de aterragem.

Os bordos devem prolongar-se simetricamente na direção das laterais da pista de táxi e, nas curvas e interseções destas, onde se verifica um incremento da área pavimentada

(sobrelarguras ou *fillets*), os bordos não devem ser menores do que nos tramos retilíneos das pistas de táxi.

No anexo II.10, tabela 20, apresentam-se as larguras mínimas para os *taxiways*, largura combinada entre *taxiways* e bordos, bem como a largura restante para os bordos.

Assim sendo, a largura do taxiway retilíneo é de 15m.

Atendendo às folgas de pavimento e tendo em conta os desvios das aeronaves que podem ocorrer ao longo das curvas, aparecem as sobrelarguras (*fillets*) nas curvas dos *taxiways*, que devem possuir a mesma capacidade de suporte do pavimento.

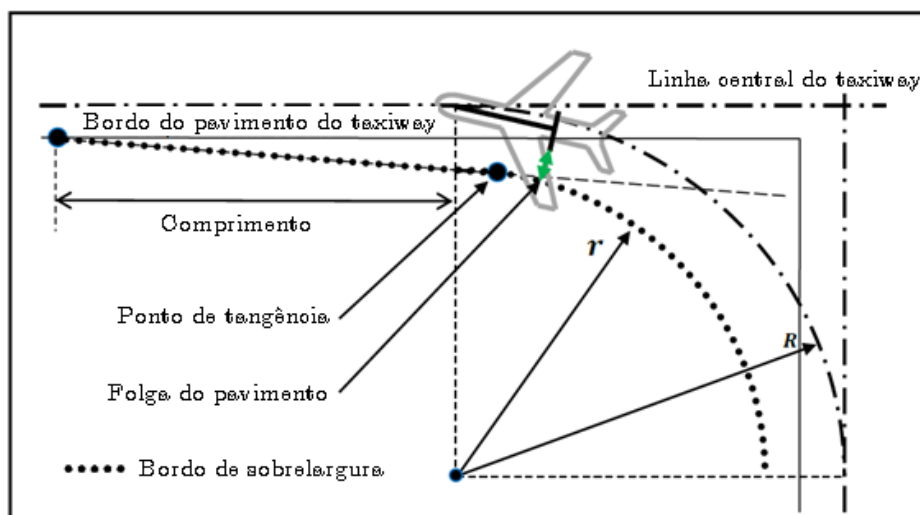


Imagem 70 – Esquema da sobrelargura.

(fonte: (Silva E. J., 2012))

#### 7.7.4 JUNTAS

As cabeceiras e a plataforma de estacionamento, sendo pavimentos rígidos, necessitam de juntas, que serão realizadas numa malha de 5 metros por 5 metros.

Estas juntas são executadas para que, no caso de surgirem fissuras, estas apareçam sob a junta, sem que isso altere a aparência, o desempenho e a duração da vida útil do pavimento.

A variação da temperatura é a principal causa das fissuras longitudinais e de algumas fissuras transversais no pavimento e variação da humidade.

Nas juntas longitudinais serão colocados varões de aço, de forma a manter unidas as duas lajes contíguas. Estas barras ao mesmo tempo que permitem o encurvamento das lajes devido aos gradientes térmicos, impedem a abertura da junta e o assentamento diferencial das lajes sob a ação do tráfego.

As causas da fissuração transversal são a retração térmica e a retração volumétrica do betão. As juntas transversais serão formadas pela abertura de um pequeno sulco, por serragem, no sítio onde se quer criar a junta. A posterior retração do betão vai provocar a abertura de uma fenda nesse local onde a secção resistente está enfraquecida. Para melhorar a transmissão de cargas entre lajes colocam-se passadores, constituídos barras lisas de aço, aderentes ao betão numa das lajes e não aderentes na outra para permitir os movimentos relativos das lajes. Estas barras situam-se a meio da espessura, paralelas entre si e ao eixo da via.

Tanto nas juntas longitudinais e como nas transversais será aplicado selante a frio.

### Juntas no pavimento rígido

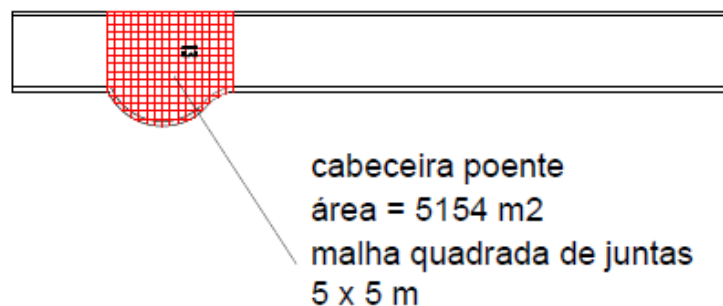


Imagem 71 - Juntas executadas, na cabeceira Noroeste do Aeroporto de Ondjiva.

➤ **Processo de execução das juntas transversais**

Ambas as juntas, longitudinais e transversais, devem ser cortadas com o betão semi-endurecido e têm de ser retas em todo o seu comprimento.

As transversais devem abranger toda a largura do pavimento e ser perpendiculares ao eixo longitudinal do mesmo.

A sequência dos cortes transversais deve diminuir progressivamente a área com betão entre os cortes, de modo a aliviar as tensões resultantes das variações de volume.

Antes da selagem, as juntas devem ser bem limpas com ferramentas apropriadas para penetrar as juntas e, com jatos de ar comprimido.

### **7.7.5 REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE**

As laterais da pista, o *taxiway* Sudeste e uma plataforma de estacionamento contígua à existente são os pavimentos que serão executados de raiz. Os restantes serão reabilitados.

Os novos pavimentos serão executados com os materiais prescritos e espessuras dimensionadas, sendo todas as camadas bem compactadas.

A camada superficial de desgaste será betonada em conjunto com o pavimento que vai ser reabilitado.

Nas plataformas que serão reabilitadas procede-se ao levantamento planimétrico do local faz-se a fresagem.

Quando se obtiver uma superfície uniforme será realizado o tratamento das fissuras mais profundas, que devem ser submetidas a uma nova fresagem, seguida do seu preenchimento e compactação com os cilindros compactadores.

No final faz-se a aplicação do betão betuminoso, até à espessura pretendida em faixas como exemplificado na imagem 70, recorrendo a veículos de transporte da mistura e cilindros compactadores.

Para a aplicação do betão betuminoso, a pista será dividida transversalmente em 9 faixas construtivas (imagem 72). Considerando duas faixas para bordos de 3 metros cada um, a largura total da pista é de 51 metros, sendo que dos 45 metros restantes considera-se que o toque dos trens de pouso das aeronaves ocorrerá dentro dos 30 metros centrais.

Devido à importância estrutural de cada faixa construtiva, devem ser utilizadas diferentes granulometrias para a mistura asfáltica. Os bordos e as faixas 1 e 9 devem ter menor espessura e a textura mais fechada, e as restantes faixas apresentar maior espessura e mais rugosidade criando maior atrito.

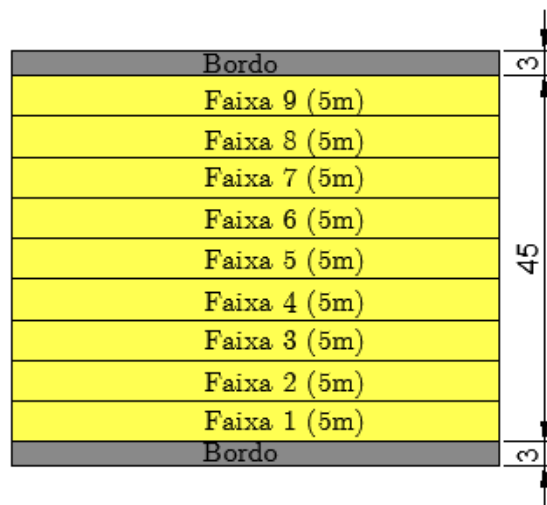


Imagem 72 - Faixas construtivas do betão asfáltico.

A construção das faixas inicia-se de dentro para fora, ou seja, a primeira faixa a ser pavimentada é a número 5, a seguir a 4 e a 6, e assim sucessivamente até aos bordos.

A faixa número 5 deverá receber um cuidado especial porque nela passa o eixo da pista, que é o ponto mais alto da secção.

O excessivo número de vezes que os cilindros compactadores lisos vibratórios passam sobre o pavimento pode esmagar os agregados, mas se passarem poucas vezes podem não garantir o correto adensamento da mistura.

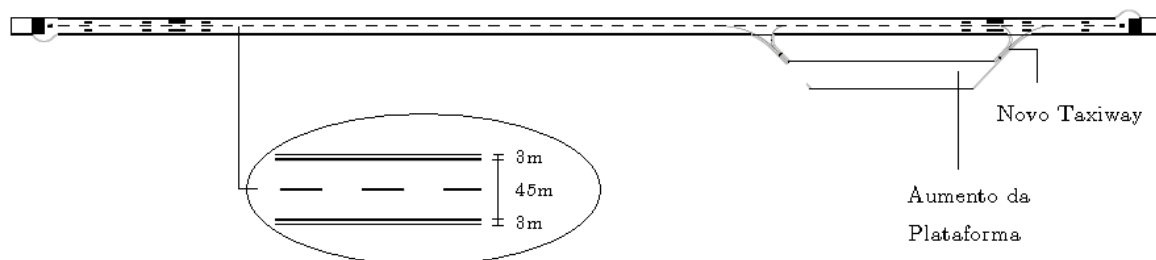


Imagem 73 - Pista do aeroporto de Ondjiva reabilitada.

## 7.8 SINALIZAÇÃO

### 7.8.1 SINALIZAÇÃO DA PISTA DE ATERRAGEM

O aeroporto de Ondjiva pertence à Categoria II e constitui uma pista de precisão.

Os sinais da pista serão brancos e terão materiais refletores de modo a melhorar a sua visibilidade e para serem vistos à noite.

O sinal de designação da pista será composto pelos números 13 e 31, sendo este a orientação magnética da pista (números já indicados na pista).

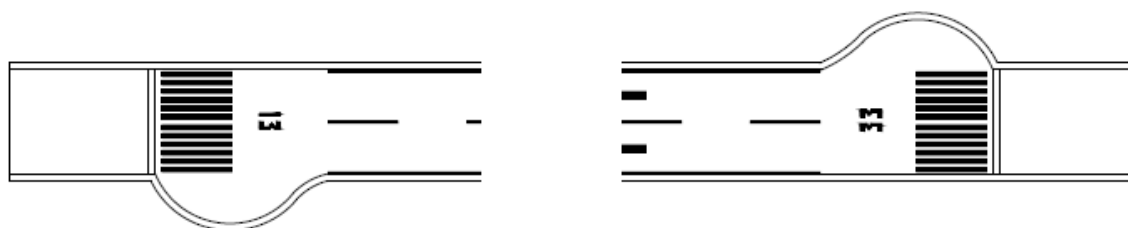


Imagem 74 - Sinais de designação da pista do aeroporto de Ondjiva em Angola.

O sinal da linha central da pista será constituído por uma linha com traços espaçados invariavelmente, sendo que a soma entre um traço e um intervalo é de 60m.

$$\text{Mínimo comprimento traço} = 30\text{m [47]}$$

$$60m = 30m (\text{traço}) + 30m (\text{intervalo}) [48]$$

*Comprimento traço = 30m ≥ mínimo exigido → cumpre o requisito [49]*

A largura dos traços será o mínimo para as pistas de abordagem precisa de categoria II, que é de 0,90m.

No limiar da pista, será colocada a sinalização na cabeceira, composta por faixas longitudinais dispostas simetricamente em relação ao eixo da pista, com 30 metros de comprimento. De acordo com a tabela 6 apresentada anteriormente, para uma pista com 45 metros de largura, o número de faixas a aplicar será 12.

No alinhamento do eixo da linha central da pista será deixado um espaço com a largura do mesmo e, serão colocadas seis faixas de cada lado, até aos bordos da pista, em que os espaços e as faixas têm a mesma largura.

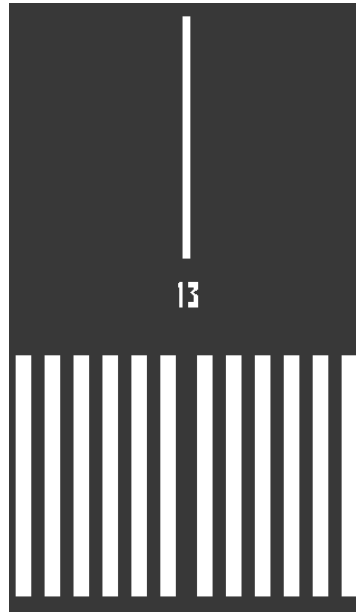


Imagem 75 - Sinais de designação da pista, eixo central da pista e de limiar de pista, para o aeroporto de Ondjiva, Angola.

A área anterior à cabeceira tem 60 metros de comprimento e a largura da pista em conjunto com os bordos, perfaz um total de 51 metros. Como o comprimento não ultrapassa os 60 metros, nesta área não é necessária a marcação da área anterior às cabeceiras.

O sinal de visada será colocado a uma distância da cabeceira de 400 metros. Cada uma das suas faixas terá 45 metros de comprimento, 6 de largura e o espaço lateral interno entre elas será de 20 metros.

O sinal de tomada de contacto utiliza-se nesta pista, uma vez que o seu código é 2. Será composto por 6 pares de retângulos, uma vez que a distância de pouso disponível é de aproximadamente 3000 metros, dispostos simetricamente ao eixo da pista, cada um com 22,5 metros de comprimento e três de largura.

Estes pares de sinalizações horizontais serão colocados em espaçamentos longitudinais de 150 metros, a contar da cabeceira.

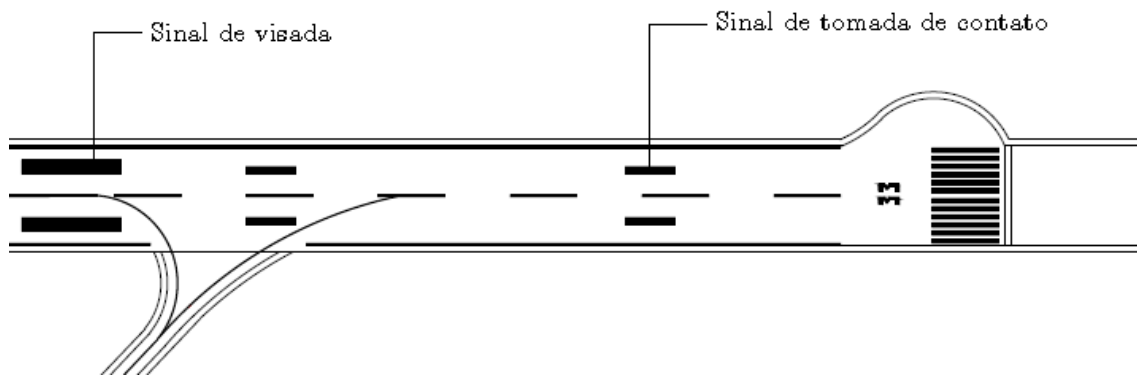


Imagem 76 - Sinal de visada e de tomada de contacto do aeroporto de Ondjiva em Angola.

Será colocada a sinalização de bordo da pista para separar a pista dos bordos.

Serão colocadas duas faixas ao longo de cada um dos bordos da pista, e estas coincidirão com as extremidades longitudinais da pista.

Como a largura da pista é maior que 30 metros, a largura das faixas de bordo será de 0,90 metros.

No final da pista serão colocados os painéis de sinalização.

## 7.8.2 SINALIZAÇÃO DAS PISTAS DE *TAXIWAY*

É obrigatório o sinal de eixo central dos *taxiways*, uma vez que fazem parte do itinerário das aeronaves.

Na intercessão das pistas de táxi com a pista de voo serão colocados os sinais de espera (imagem 80), constituídos por duas faixas contínuas e duas faixas tracejadas, pintadas perpendicularmente ao eixo da pista de táxi, com 0,15 metros de largura cada faixa e de cor amarela. A distância em relação à sinalização da pista de voo é de 90 metros.

O eixo das pistas de táxi será composto por uma linha de cor amarela com 0,15 metros e que será contínua exceto quando intercectar com a sinalização horizontal de posições de espera da pista.



Imagem 77 - Sinalização do ponto de espera.

(Fonte: [http://www.spotterjpanoar.com/2012\\_06\\_01\\_archive.html](http://www.spotterjpanoar.com/2012_06_01_archive.html))

Nas curvas da pista de táxi a sinalização continuará a partir do tramo retilíneo da pista de táxi a uma distância constante do bordo da curva, até ao eixo central da pista de aterragem.

Como existe um grande contraste entre a borda da pista de táxi e o terreno adjacente, não é necessário utilizar sinais de borda de pista de táxi.

A planta do anexo I.3 mostra a sinalização realizada para o aeroporto reabilitado de Ondjiva.

### 7.8.3 ILUMINAÇÃO

A iluminação da pista será adequada às condições mínimas de visibilidade e luz ambiente. Serão adequadas ao tráfego de aeronaves e os sistemas de iluminação da pista serão compatíveis entre si.

As luzes da pista, zonas de paragem e pistas de táxi serão superficiais e embutidas no pavimento, suficientemente resistentes para suportarem a passagem das aeronaves sem qualquer tipo de prejuízos quer para a aeronave quer para as luzes.

O aeroporto também deverá ser provido de um sistema de energia elétrica secundário, para não existir o risco das plataformas ficarem sem iluminação.

A pista contará com luzes de lateral de pista, invariavelmente espaçadas em intervalos de 60 metros e nos últimos 600 metros serão amarelas.

As luzes de linha central, localizadas no eixo da pista, serão contínuas e de cor branca, exceto nos últimos 300 metros onde a sua cor será vermelha.

As luzes de fim de pista serão as mesmas das luzes de cabeceira, uma vez que as cabeceiras se encontram no fim da pista. As luzes serão colocadas o mais próximo possível da extremidade da pista, perpendicular ao eixo da pista, a uma distância de 3 metros além da extremidade.

As luzes da zona de toque também serão brancas.

As linhas centrais das pistas de táxi serão verdes com intervalos de 20 metros e as suas luzes laterais terão espaçamentos de 60 metros e serão de cor azul.

A iluminação encontra-se explícita no anexo I.3, de acordo com o descrito anteriormente.

---

## 8. CONCLUSÃO

### 8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos deste projeto, foram descritos os métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuárias, os tipos de anomalias que podem apresentar e as respetivas soluções, os procedimentos para reabilitação de um pavimento existente e a sinalização das pistas. A partir do conhecimento adquirido, foi realizado o estudo de caso visando equacionar soluções para a reabilitação e dimensionamento do pavimento do aeroporto de Ondjiva, através dos métodos estudados. Foi realizada a comparação dos resultados obtidos com os valores fornecidos aquando o uso do programa de cálculo de espessuras dos pavimentos aeronáuticos.

Das caracterizações das soluções possíveis para pavimentos aeroportuários realça-se que os pavimentos rígidos transmitem cargas à fundação de forma mais suave que os flexíveis, e distribuem-nas por uma área maior, do que os pavimentos flexíveis. Por outro lado, têm o inconveniente de que nas zonas das juntas entre as lajes de betão, onde fenómenos como variações de comprimento das lajes, devidos a gradientes térmicos, se gerarem elevadas tensões localizadas que induzem fissuração.

Quanto às características funcionais dos pavimentos conclui-se que são muito importantes porque, além de afetarem o conforto de circulação das aeronaves afetam a segurança das movimentações das mesmas nos aeroportos.

Em relação às anomalias nos pavimentos aeroportuários, constata-se que quer nos pavimentos rígidos como nos flexíveis as fissuras são as mais identificadas.

A função das juntas nos pavimentos é de reduzir a fissuração no betão, devida tanto à retração como às tensões induzidas pelas variações da temperatura.

O método escolhido para o dimensionamento da espessura do pavimento do aeroporto de Ondjiva foi o Método do FAA.

Atendendo às 2562 saídas anuais da aeronave de projeto, do seu peso máximo de descolagem e do CBR do terreno de fundação e da sub-base, conclui-se que a espessura total do pavimento flexível, utilizado na pista de aterragem e nos *taxiways*, deve apresentar uma espessura total de 61 centímetros, sendo que a espessura das camadas betuminosas é de 24,1 centímetros e o restante para a camada de base. Nas zonas consideradas não críticas, ou seja, a partir dos 15 metros para cada lado do eixo da pista, houve uma redução de 30% na espessura das camadas do pavimento, passando a espessura total para 42,7 centímetros.

Relativamente aos pavimentos rígidos, onde se estimou uma resistência característica aos 90 dias de 4,5MPa, um módulo de reação do terreno de fundação de 80MN/m<sup>3</sup>, obteve-se um valor final para a camada de sub-base estabilidade de 10cm (valor mínimo) e com a espessura da laje de betão a 34,54 centímetros. Após uma análise económica concluiu-se que a diferença da espessura da camada de sub-base influenciava pouco a espessura da laje de betão e, que era mais lucrativo optar pela espessura mínima para a camada de sub-base. Nas áreas não críticas, é realizada uma redução de 10% à espessura da laje de betão.

A comparação destes resultados revelou, que para o pavimento rígido, o dimensionamento com as diretrizes do FAA é mais gravoso quando se comparam os ábacos e o programa de cálculo FAARFIEL 150/5320-6D, enquanto que para os pavimentos flexíveis o resultado é semelhante.

O método do ACN/PCN classifica o pavimento como possível de receber a aeronave crítica, o Boeing 737-800, apresentando para os pavimentos flexíveis um valor de 42, superior a 40 da aeronave para esse tipo de pavimentos e, para os pavimentos rígidos um valor de 46, valor igual ao ACN da aeronave.

Conclui-se também, que para que o aeroporto possa albergar a Boeing 737-800 é necessário que certas medidas da plataforma sejam alteradas. Assim sendo, o aeroporto de Ondjiva que pertence ao grupo dinâmico 4 e ao grupo geométrico C, tem de ter uma largura mínima de 45 metros, área anterior à cabeceira com 60 metros de comprimento, *taxiways* com largura mínima de 11,7 metros, mas que por questões de segurança optou-se por 15 metros. O seu comprimento, tendo em conta as aeronaves que suportar, deve estar compreendido entre 1600 e 2600 metros, como a pista apresenta um comprimento total de 3250 metros, não apresenta problemas neste ponto. Além das medidas supracitadas, prevê-se como ações complementares, o emprego de um bordo de 3 metros de largura em cada lado da pista.

Como a pista será reabilitada e aumentada, é necessário proceder-se à sua pintura horizontal e colocação de sinalização luminosa adequada ao aeroporto. As maiores diferenças em relação à sinalização anterior, visíveis nas imagens aéreas do local são a introdução do sinal de limiar de pista, do ponto de visada, de tomada de contato e a sinalização das pistas de táxi.

A sinalização luminosa não existe atualmente, mas tem de implementada para receber voos noturnos e porque é muito importante em casos de má visibilidade.

As principais alterações à plataforma inicial são o aumento da largura da pista de aterragem, a alteração da pista de táxi situada a Sudeste e o aumento do hangar.

Após este trabalho das infraestruturas aeroportuárias e do dimensionamento do seu pavimento, é importante salientar que no dimensionamento e na construção de pavimentos dever-se-á ter especial cuidado com as ligações entre as várias camadas do mesmo e entre lajes, pois a não consideração de um possível defeito na ligação poderá comprometer a vida útil do pavimento.

Portanto, conclui-se que, de um modo geral, os objetivos principais foram alcançados e demonstrados ao longo do desenvolvimento do projeto.

## **8.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Com o desenvolvimento deste trabalho foi fácil perceber que o completo conhecimento do comportamento dos pavimentos aeroportuários não é ainda um dado adquirido. Deste modo, é necessário investigar mais sobre o efeito da qualidade da fundação, as juntas entre lajes de betão, o comportamento dos pavimentos, a forma como variam as propriedades dos materiais durante a vida útil do pavimento e as suas leis de fadiga, o efeito do tamanho das lajes de betão no comportamento geral do pavimento, entre outros.

Por outro lado, o presente trabalho pode ser complementado por outros, no sentido de beneficiar ainda mais o desenvolvimento do aeroporto de Ondjiva, como por exemplo um estudo sobre o efeito do desvio da estrada nacional para o aeroporto poder receber outro tipo de aviões, e qual o efeito que teria na região e, um estudo aprofundado acerca da sinalização, das juntas e da drenagem do pavimento.

## 9. BIBLIOGRAFIA

Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia - UFMG . Portos e Aeroportos.

(DO), D. D., & (DOGP), S. D. (2006). DIRETORIA DE OPERAÇÕES (DO) SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO OPERACIONAL (DOGP). *SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO E GESTÃO (PRPG)* .

ACO. (s.d.). Obtido de <http://www.acodrenagem.com.br/aeroportos/>

Alves, C. J. (2014). MÓDULO 12 – HELIPORTOS .

*American Museum of Aviation*. (s.d.). Obtido de <http://www.prop-liners.com/dc3tech.htm>

ANAC. (19 de Dezembro de 1986). Código Brasileiro de Aeronáutica. *LEI Nº 7.565* . Brasil.

ANAC. (2012). *PROJETO DE AERÓDROMOS - REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL*.

ANAC. (17 de março de 2010). RBAC nº 121. *Requisitos Operacionais: Operações Doméstica de Bandeira Suplementares* .

ANAC, A. N.-B. (2010). *Sinalização e Qualidade do Pavimento Aeroportuário*.

ANAC, R. B. (2010). REQUISITOS OPERACIONAIS: OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E POR DEMANDA. *RBAC nº 135*.

*Angola Bela*. (s.d.). Obtido de <http://www.angolabelazebelo.com/2012/06/conheca-ondjiva-por-estas-imagens/>

Ashford, et al., 1996.

Aviação, G. (s.d.). Obtido em 2013, de <http://www.g9aviacao.com/?r=site/noticia&id=18>

*Aviões e músicas*. (s.d.). Obtido de Luzes no Aeroporto – Quais são e para que servem? – Parte 2: <http://www.avioesemusicas.com/luzes-no-aeroporto-%E2%80%93-quais-sao-e-para-que-servem-%E2%80%93-parte-2.html>

*Aviões e Músicas*. (s.d.). Obtido de <http://www.avioesemusicas.com/luzes-no-aeroporto-%E2%80%93-quais-sao-e-para-que-servem-%E2%80%93-parte-2.html>

Benedito, C. (5 de Janeiro de 2010). Luanda - Aeroportos Modernos e Seguros foram aposta da ENANA.

*Bidim O Original*. (s.d.). Obtido de Casos de Obra: <http://www.bidim.com.br/casosdeobra/aplicacao-do-geotextil-bidim-como-filtro-na-drenagem-profunda-da-rodovia-rs-239-novo-hamburgo-rs/>

Brandão, F. d. (Julho 1983). *Aeródromos*. Porto.

Calo, D. H. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN*.

- Canal Piloto Bianch.* (2010). Obtido de <http://canalpiloto.com.br/category/artigos/page/58/>
- César, C. (3 de Outubro de 2007). A Importância dos Transportes para a Competitividade das Economias da RUP no Âmbito da globalização.
- CESO CI, S. (2005). *Distribuição e Logística em Angola*. AIP/CCI – Associação Industrial Portuguesa / Câmara de Comércio e Indústria.
- Cuvelai - Water and people.* (2011). Development Workshop Angola.
- CUVELAI - Water and People.* (2011). Development Workshop Angola e Raison Namíbia.
- Dimensionnement des Chaussées.* (1983).
- Domtotal.* (s.d.). Obtido de <http://www.domtotal.com.br/colunas/detalhes.php?artId=31560>
- Envolverde, Jornalismo e Sustentabilidade.* (s.d.). Obtido de <http://envolverde.com.br/ambiente/arrancada-brasileira-para-um-rio-de-eletricidade/>
- Estudo Mecânico do dimensionamento da nova pista do AIB.* (s.d.). Obtido de [http://bdtd.bce.unb.br/tesesimplificado/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=5262](http://bdtd.bce.unb.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=5262)
- Europelowcost.* (s.d.). Obtido de Aeroporto de Ondjiva, Pereira (VPE): <http://www.europelowcost.pt/aeroportos/ondjiva-ondjiva-pereira-vpe.aspx>
- FAA AC 150/5300-13 (1989, p.1).
- Fernandes, C. I. (2010). *Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários Caracterização e Aplicabilidade*. Lisboa.
- Goldner, L. G. (2010). *Apostila dos Aeroportos*.
- Governo, R. D. (2006). Regima de Acesso a Áreas Restritas e Reservadas dos Aeroportos. *Decreto-Lei nº 2/2006*, (p. 9). Timor Leste.
- IBTS.* (s.d.). Obtido de [http://www.ibts.org.br/jornal/jor0102\\_tx02.htm](http://www.ibts.org.br/jornal/jor0102_tx02.htm)
- ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).
- ICAO. (1983). Manuel de Conception des Aédromes. In *Voies de Circulation, Aires de Trafic et Plates-Formes D'Attente de Circulation*.
- ICAO. (1984). *Manuel de Conception des Aérodromes - Pistes*.
- ICAO. (Mars 1983). Normes et Pratiques Recommandées Internationales, Aérodromes.
- Igual, J. Z. (Outubro 2011). *CATÁLOGO PARA PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS*. Lisboa.
- INFRAERO Aeroportos.* (s.d.). Obtido de <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/imprensa/noticias/5560-29-avancam-obras-no-patio-de-aeronaves-do-aeroporto-de-navegantes.html>

- Join Ville. (s.d.). Obtido de DEC - Departamento de Engenharia Civil:  
<http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmes/equipamentos.php>
- Kiir. (s.d.). Obtido de Fachadas prediais: <http://www.kiir.com.br/junta-pavimento.html>
- Lages, H. M., Costa, J. E., Raposo, A. F., & Luzio, M. A. (2009). *Características Geométricas de Aeroportos e Heliportos*. Porto: ISEP.
- Largepict. (s.d.). Obtido de B-2 SPIRIT WALLPAPERS FRESCOS: <http://www.largepict.com/hd-wallpapers/b-2-spirit-cool-wallpapers-235-images.html>
- Machineryzone. (s.d.). Obtido de Pavimentadoras de Asfalto:  
<http://www.machineryzone.com.br/usado/1/pavimentadoras-asfalto.html>
- Martell, D. W. (2009). *Dimensionamento de Pavimento Aeroportuário: Análise Mecânica com o Software Alizé*. Porto Alegre.
- Metong. (s.d.). Obtido de Road Machinery: <http://www.metongportugal.com/1d-tank-trailer.html>
- Meunier, G. (1957). *Conceptio, Construction et Gestion des Aerodromes*.
- Ministère de l'Equipement du Logement, d. l. (1988). *La Méthode ACN-PCN*.
- Ministère de l'Equipement, d. L. (1985). *Instruction Technique sur les aérodromes Civils - Environnement Choix de Site Plans*.
- Ministère de l'Equipement, d. L. (1986). *Instruction Technique sur les Aérodomes Civils*.
- Nascimento, R. R. (2009). *Restauração de Pavimento Aeroportuário - Estudo de Caso Aeroportuário Internacional de São Paulo / Guarulhos*. São Paulo.
- Nunes, R. G., & Arnaldo, S. (2011). *Reabilitação Estrutural de Pavimentos Aeronáuticos em Betão Pré-esforçado*. Lisboa.
- OLIVEIRA, F. H. (2009). *PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS BASEADAS NA MACROTEXTURA E NO ATRITO: ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA*. Brasil.
- Oliveira, F., & Júnior, E. (Outubro de 2009). IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço. *ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DOS PAVIMENTOS DO AEROPORTO*. Brasil.
- Paiva, Manuel. (Março 2007). *Aeroporto Francisco Sá Carneiro Um Novo Aeroporto*. Porto: DIA - Direção de Infraestruturas Aeronáuticas.
- Pertangola. (s.d.). Obtido de <http://pertangola.com/produtos/equipamento-ensaio-de-carga-em-placa/#!prettyPhoto>
- Pierce, L. M., Weston, J., & S.Uhlmeier, J. (Março 2009). *Dowel Bar Retrofit – Do's and Don'ts*. WSDOT Research Report.

*Pini web.* (s.d.). Obtido de Tecnologia & Materiais:

<http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/geologo-diz-como-aumentar-a-vida-util-dos-pavimentos-251756-1.aspx>

Portland, Associação Brasileira de Cimento. (s.d.). *Pavimento de Concreto - Práticas Recomendadas*. Obtido de <http://viasconcretas.com.br/>

*Produção de mistura asfáltica.* (s.d.). Obtido de <http://dc228.4shared.com/doc/8tMQvzd/preview.html>

Rodriguez, P. P. *Evaluación Estructural de Pavimentos Aeroportuarios*. Cuadernos Aena.

*Santos Dumont.* (2009). Obtido de <http://santos-dumont.net/controversia.htm>

SILVA, A. A. (2010). *DCTA Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial*. Obtido de <http://www.cta.br/missao.php>

Silva, E. J. (2012). *Análise dos Padrões e Recomendações da ICAO e da FAA para o Projeto Geométrico de Aeroportos*. São paulo, Brasil.

Silva, L. F. (2009). *Pavimentos Aeroportuários: Análise de Soluções Rígidas e de Soluções Flexíveis*. Aveiro.

Silva, L., Benta, A., & Macedo, J. (2010). *Gestão Sustentável de Pavimentos Aeroportuários*.

SINFIC, S. (2005). *Plano de urbanização da Cidade de Ondjiva*. Angola: Governo da Província do Kunene – Gabinete de Estudos, Planeamento e Estatística.

*Sopheakchan.* (s.d.). Obtido de [http://sopheakchan.blogspot.pt/2012\\_02\\_01\\_archive.html](http://sopheakchan.blogspot.pt/2012_02_01_archive.html)

*Test planes.* (s.d.). Obtido de [http://test-planes.wikia.com/wiki/Bell\\_X-1](http://test-planes.wikia.com/wiki/Bell_X-1)

(Junho de 2007). *Urban stratification in Angola (Luanda and Ondjiva)* de Cristina Udelsmann Rodrigue.

*Vitrina.* (s.d.). Obtido de Luzes da pista do aeroporto internacional destruídas por pessoas não identificadas: <http://www.vitrina.st/vitrina3610.htm>

*Wikimedia.* (s.d.). Obtido de

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Toronto\\_City\\_Center\\_Airport.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Toronto_City_Center_Airport.jpg)

## 10.ANEXOS

### **Anexo I – Plantas do Projeto de Reabilitação do Aeroporto de Ondjiva**

- I.1 – Enquadramento geográfico
- I.2 – Planta do aeroporto atual
- I.3 – Plantas de Reabilitação da pista do Aeroporto
- I.4 – Perfis Transversais Tipo.
- I.5 – Características técnicas das aeronaves mais utilizadas.

### **Anexo II – Elementos complementares**

- II.1 – ACN de algumas aeronaves comerciais
- II.2 – Valores de “K” a utilizar quando a camada de sub-base não é estabilizada em pavimentos flexíveis.
- II.3 – Aumento de “k” para a camada de sub-base estabilizada em pavimentos flexíveis.
- II.4 – Cálculo dos valores de ACN e de PCN.
- II.5 – Curva de cálculo do pavimento flexível para rodados duplos.
- II.6 – Espessura mínima para a base de pavimentos flexíveis.
- II.7 – Curva de cálculo do pavimento rígido para rodados duplos.
- II.8 – Cálculo dos pavimentos flexíveis – FAA Design 150/5320-6D
- II.9 – Cálculo dos pavimentos rígidos – FAA Design 150/5320-6D
- II.10 – Tabelas com as características geométricas dos aeroportos.

Aeroporto de Ondjiva



Avenida 11 de Novembro



Imagem aérea de Ondjiva



Mapa de África

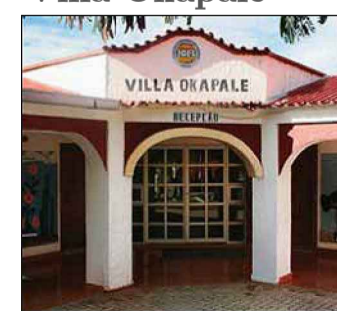


Mapa de Angola



Ondjiva

Villa Okapale



Hospital Provincial do Cunene



Planta 1



Legenda:

- 1 - Cabeceiras
- 2 - Pista
- 3 - Taxiways
- 4 - Plataforma de estacionamento actual
- Lado Ar
- Lado Terra
- 5 - Edifício / Hangar / estacionamento
- 6 - Armazenamento de combustíveis
- Estrada Nacional

Planta 2

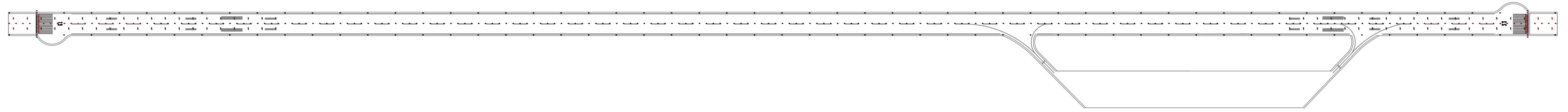


Legenda:

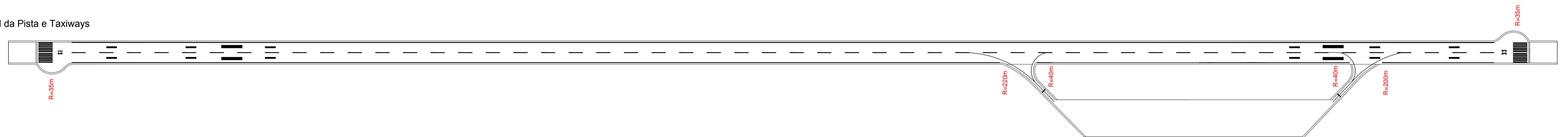
- Dique
- Pavimento Rígido
- Pavimento Flexível

## Sinalização

Sinalização Luminosa da pista



Sinalização Horizontal da Pista e Taxiways



## Pavimentação

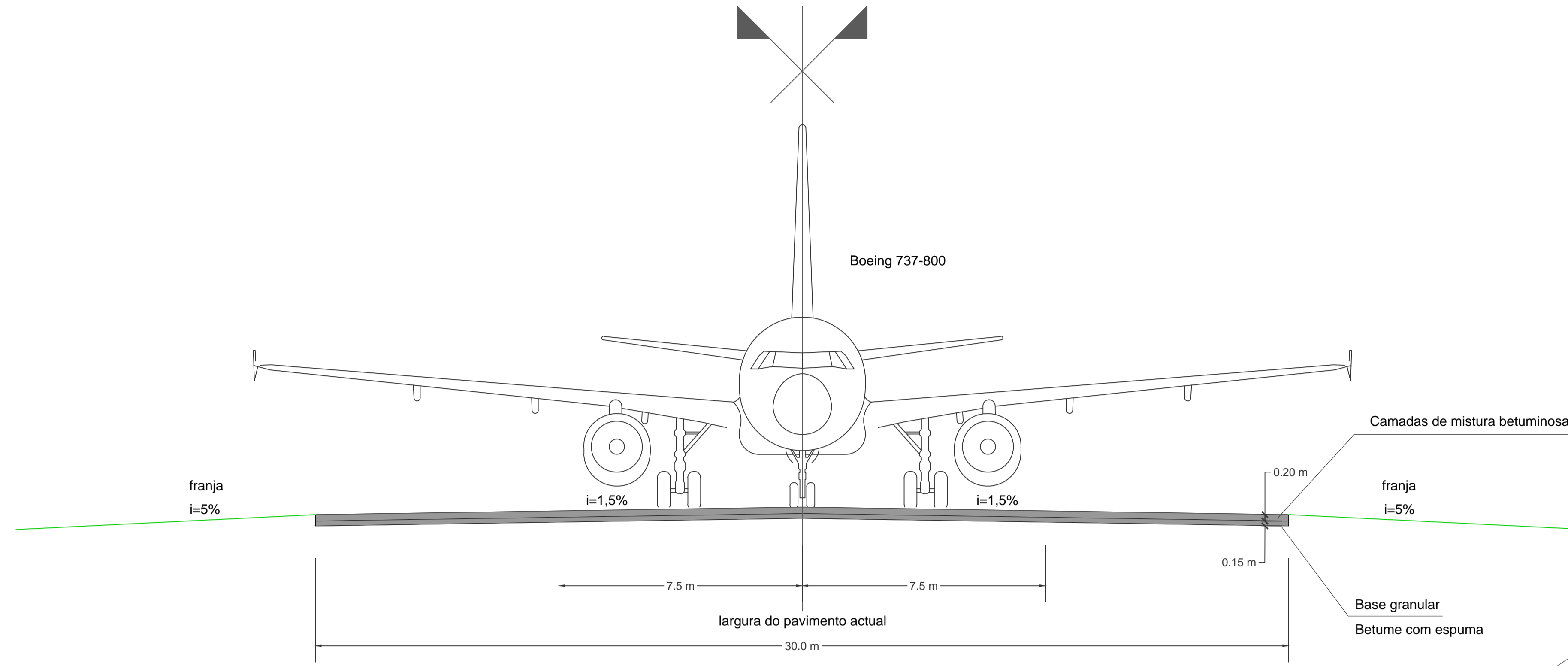
Tipologias de pavimentos



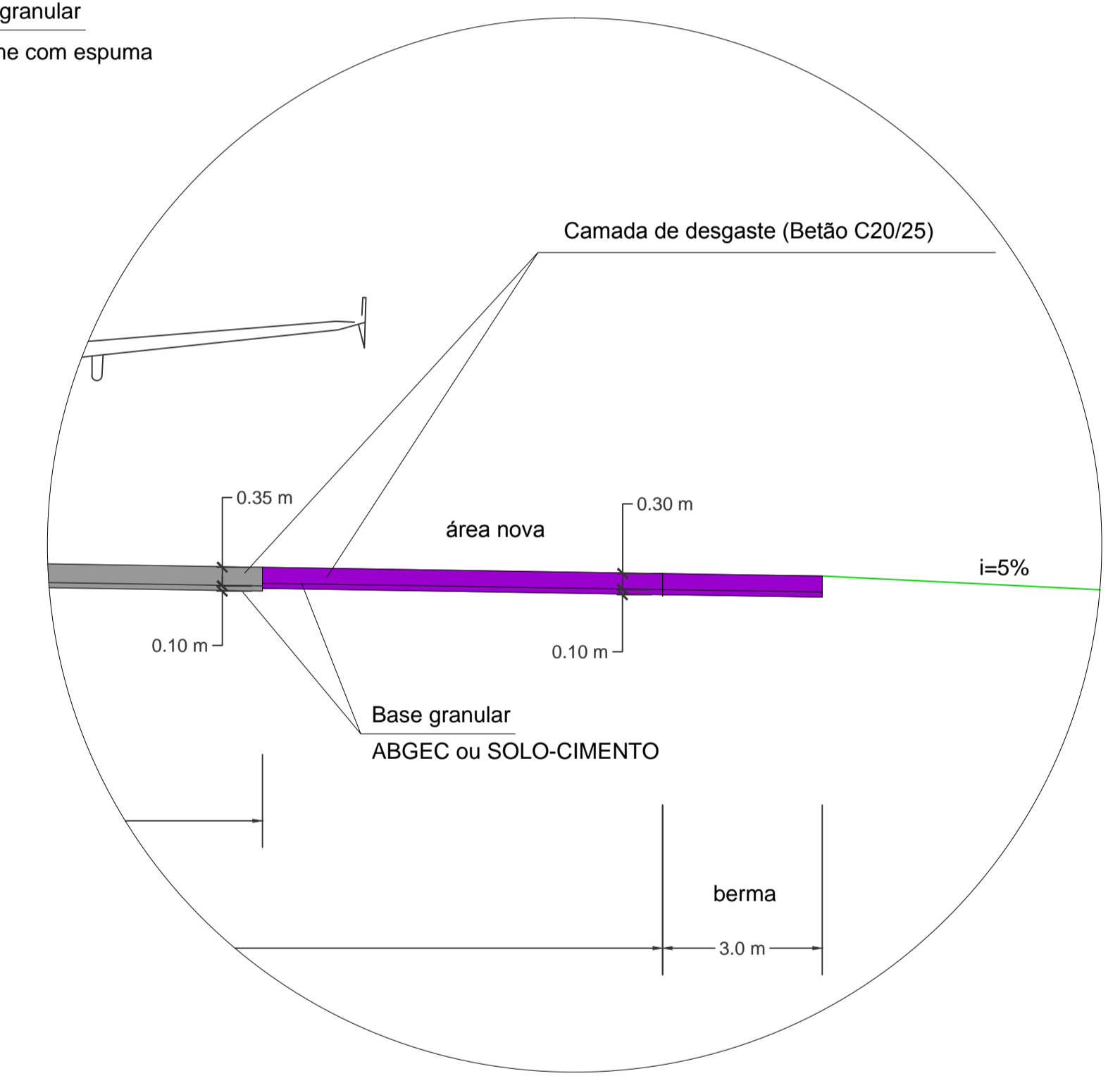
Juntas no pavimento rígido



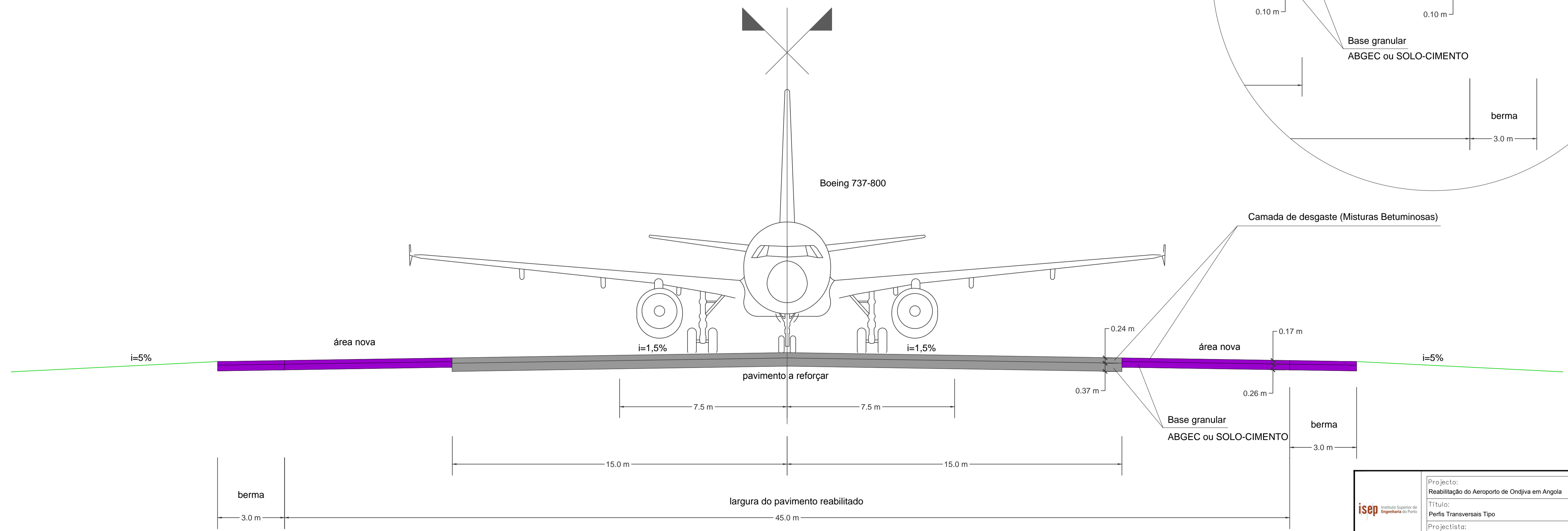
PERFIL TRANSVERSAL TIPO ACTUAL



Em pavimento rígido novo



PERFIL TRANSVERSAL TIPO ALARGADO



Projecto: Reabilitação do Aeroporto de Ondjiva em Angola		Escala: 1/100	
Título: Perfis Transversais Tipo		Data: Setembro de 2014	
Projectista: ISEP / DEC - DIPRE		Nº do Desenho: 04	
Tânia Manuela Babo da Silva - 1080300			

**AIRBUS**

	A318	A319	A320	A321
Comprimento (m)	31,44	33,84	37,57	44,51
Envergadura (m)	34,1	34,1	34,1	34,1
Altura (m)	12,66	11,8	11,76	11,81
Peso da aeronave (ton)	39,5	40,5	42,6	45,5
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	59 / 56	64 / 61	73 / 64	99 / 75
Motores	2x PW122A ou CFM56-5	2x IAE V2500 ou CFM56-5	2x PW122A ou CFM56-5	2x PW122A ou CFM56-5
Capacidade de combustível (mil litros)	24,1	24,2	24	24
Velocidade de cruzeiro (km/h)	829 (mach 0,78)	829 (mach 0,78)	829 (mach 0,78)	829 (mach 0,78)
Velocidade máxima (km/h)	871 (mach 0,82)	871 (mach 0,82)	871 (mach 0,82)	871 (mach 0,82)
Altitude de cruzeiro (Km)	12 (39 mil ft)	12 (39 mil ft)	12 (39 mil ft)	2,2 (39 mil ft)
Pista mínima para decolagem (km)	1,8	1,9	2,1	1,8
Alcance (km)	5900	6700	5600 / 6100 (com Sharklet)	5600 / 5950 (com Sharklet)
Passageiros	100 a 120	106 a 126	140 a 160	170 a 200
Tripulação	5	4-6	5-7	6-8



Imagem - Airbus A320



Imagem - Airbus A330-200

	A330-200	A330-300
Comprimento (m)	55,82	63,69
Envergadura (m)	60,3	60,3
Altura (m)	17,39	16,53
Peso da aeronave (ton)	119,5	124,5
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	230 / 150	230 / 155
Motores	2x CFM56-11 ou PW4000 ou	2x CFM56-11 ou PW4000 ou
Capacidade de combustível (mil litros)	189	97,5
Velocidade de cruzeiro (km/h)	871 (mach 0,82)	871 (mach 0,82)
Velocidade máxima (km/h)	913 (mach 0,86)	913 (mach 0,86)
Altitude de cruzeiro (Km)	12,5	12,5
Pista mínima para decolagem (km)	2,2	2,5
Alcance (km)	13400	10800
Passageiros	220 a 260	240 a 250
Tripulação	12	13

	A340-200	A340-300	A340-500	A340-600
Comprimento (m)	59,4	63,69	67,09	75,86
Envergadura (m)	60,3	60,3	63,45	63,45
Altura (m)	16,7	16,91	17,28	17,22
Peso da aeronave (ton)	129	130,2	170,9	177,8
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	275 / 151	275 / 190	372 / 243	363 / 209
Motores	4x CFM56-8C4/P	4x CFM56-8C4/P	4x RR Trent 556	4x RR Trent 556
Capacidade de combustível (mil litros)	155	140,6	215,2	193,5
Velocidade de cruzeiro (km/h)	871 (mach 0,82)	871 (mach 0,82)	881 (mach 0,85)	881 (mach 0,85)
Velocidade máxima (km/h)	913 (mach 0,86)	913 (mach 0,86)	913 (mach 0,86)	913 (mach 0,86)
Altitude de cruzeiro (Km)	12,5	12,5	12,5	12,5
Pista mínima para decolagem (km)	2,5	3	3	3,1
Alcance (km)	12400	13700	16670	14600
Passageiros	220 a 270		250 a 330	267 a 322
Tripulação	12	13	13	16



Imagem - Airbus A340



Imagem - Airbus A380

	A350-800	A350-900	A350-1000
Comprimento (m)	60,54	66,59	73,88
Envergadura (m)	64,75	64,75	64,75
Altura (m)	17,1	17,1	17,1
Peso da aeronave (ton)	151	192	220
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	259 / 193	265 / 205	305 / 233
Motores	2x Rolls-Royce Trent XWB	2x Rolls-Royce Trent XWB	2x Rolls-Royce Trent XWB
Capacidade de combustível (mil litros)	135	135	136
Velocidade de cruzeiro (km/h)	903 (mach 0,85)	903 (mach 0,85)	903 (mach 0,85)
Velocidade máxima (km/h)	945 (mach 0,89)	945 (mach 0,89)	945 (mach 0,89)
Altitude de cruzeiro (Km)	13,1	13,1	13,1
Pista mínima para decolagem (km)			
Alcance (km)	15700	13000	13600
Passageiros	270	314	350
Tripulação			



Imagem - Airbus A350

**BOEING**

	B 737-100	B 737-200	B 737-300	B 737-400	B 737-500	B 737-600	B 737-700	B 737-800	B 737-900
Comprimento (m)	26,65	30,53	33,4	36,4	31	31,2	33,6	39,5	42,1
Envergadura (m)	28,65	28,3	28,9	28,9	28,9	34,8	34,3	34,3	34,3
Altura (m)	11,28	11,28	11,1	11,1	11,1	12,6	12,5	12,5	12,5
Peso da aeronave (ton)		27	32	34	31	36,5	35,1	41,4	44,6
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)		46 / 44	62 / 51	65 / 56	60 / 50	66 / 55	69 / 58	79 / 66	79 / 66
Motores	2x PW JT3D-7	2x PW JT3D-11A	2x CFM1 CFM56-3B1	2x CFM1 CFM56-3B2	2x CFM1 CFM56-3B1	2x CFM1 CFM56-7B	2x CFM1 CFM56-7B36	2x CFM1 CFM56-7B37	2x CFM1 CFM56-7B
Capacidade de combustível (mil litros)		15	20,1	23,5	23,5	26	26	26	29,6
Velocidade de cruzeiro (km/h)	750 (mach 0,74)	750 (mach 0,74)	750 (mach 0,74)	750 (mach 0,74)	750 (mach 0,74)	828 (mach 0,785)	828 (mach 0,785)	828 (mach 0,785)	828 (mach 0,785)
Velocidade máxima (km/h)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)	876 (mach 0,82)
Altitude de cruzeiro (Km)		10,7 (35 mil ft)	11,3	11,3	11,3	12,5	12,5	12,5	12,5
Pista mínima para decolagem (km)		2	1,9	2,5	2,4	1,7	1,6	2,4	2,4
Alcance (km)	2350	2960 a 3700	2990 a 2790	3400 a 4625	3330 a 5550	3645 a 5970	6230	5665	4996
Passageiros	96 a 124 (1ª Classe) 85 (2ª Classe) 97 a	98 a 136 (1ª Classe) 85 (2ª Classe) 97 a	120 a 140	130 a 150	100 a 120	100 a 120	120 a 140	130 a 150	170 a 190
Tripulação		6	6	7	5	5	6	7	5



Imagem - Boeing 737-800



Imagem - Boeing 767-400

	B 757-200	B 757-300
Comprimento (m)	47,32	54,5
Envergadura (m)	35,05	35,5
Altura (m)	13,56	13,6
Peso da aeronave (ton)	57,5	64,5
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	155 / 95	123 / 101
Motores	2x Rolls-Royce RB211-535E4	2x Rolls-Royce RB211 ou
Capacidade de combustível (mil litros)	43,4	43,4
Velocidade de cruzeiro (km/h)	850 (mach 0,80)	850 (mach 0,80)
Velocidade máxima (km/h)	913 (mach 0,86)	913 (mach 0,86)
Altitude de cruzeiro (Km)	12,8	12,8
Pista mínima para decolagem (km)	2,91	2,92
Alcance (km)	7222	6421
Passageiros	150 a 200	200 a 230
Tripulação	5	11



Imagem - Boeing 757



Imagem - Boeing 747-400

	B 747-100	B 747-200	B 747-300	B 747-400	B 747-800
Comprimento (m)	70,66	70,66	70,66	70,66	76,3
Envergadura (m)	59,64	59,64	59,64	64,31	65,5
Altura (m)	19,33	19,33	19,33	19,4	19,4
Peso da aeronave (ton)	182,4	174	175,1	151	214
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	333	374 / 255	374 / 260	363 / 260	442 / 309
Motores	4x Pratt & Whitney JT9D	4x Pratt & Whitney JT9D	4x Pratt & Whitney JT9D	4x Pratt & Whitney JT9D	4x General Electric Genc
Capacidade de combustível (mil litros)	155,3	199,1	199,1	216,8	242,4
Velocidade de cruzeiro (km/h)	895 (mach 0,84)	895 (mach 0,84)	910 (mach 0,85)	913 (mach 0,85)	917 (mach 0,86)
Velocidade máxima (km/h)	936 (mach 0,89)	935 (mach 0,89)	935 (mach 0,89)	932 (mach 0,82)	932 (mach 0,82)
Altitude de cruzeiro (Km)	12,5	12,5	12,5	12,5	13
Pista mínima para decolagem (km)	3,19	3,19	3,32	3,01	3,09
Alcance (km)	9300	12300	12400	12450	14815
Passageiros	290 a 360	300 a 350	300 a 400	300 a 400	330 a 430
Tripulação	19	19	19	18	

	B 767-200	B 767-300	B 767-400
Comprimento (m)	45,51	54,9	61,4
Envergadura (m)	47,57	47,57	51,9
Altura (m)	15,55	15,55	16,5
Peso da aeronave (ton)	52,5	56,1	105,8
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	179 / 136	156 / 145	204 / 158
Motores	2x Pratt & Whitney	2x Pratt & Whitney	2x Pratt & Whitney
Capacidade de combustível (mil litros)	90,7	90,7	90,7
Velocidade de cruzeiro (km/h)	851 (mach 0,80)	851 (mach 0,80)	851 (mach 0,80)
Velocidade máxima (km/h)	913 (mach 0,86)	913 (mach 0,86)	913 (mach 0,86)
Altitude de cruzeiro (Km)	12,8	12,8	12,8
Pista mínima para decolagem (km)	1,71	2,41	2,59
Alcance (km)	7300	7300	10415
Passageiros	190 a 230	200 a 240	230 a 260
Tripulação	10	11	12

**ATR e EMBRAER**

	ATR-42-200/300/400/500/600/700	ATR-72-100/200/500/600
Comprimento (m)	22,67	27,17
Envergadura (m)	24,57	27,05
Altura (m)	7,59	7,65
Peso da aeronave (ton)	10,5 / 11,2 (500/600)	12,9
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	16,9 / 18,6 (500/600)	22,5 / 21,5 - 23 (600)
Motores	300: 2x Pratt & Witney Canada PW120 320 e 400: 2x Pratt & Witney Canada PW120 500: 2x Pratt & Witney Canada PW127E 600: 2x Pratt & Witney Canada PW127M	200: 2x Pratt & Witney Canada PW124B 210: 2x Pratt & Witney Canada PW127 300: 2x Pratt & Witney Canada PW127F ou PW127M 600: 2x Pratt & Witney Canada PW127M
Capacidade de combustível (mil litros)	3,6 - 5,6	4
Velocidade de cruzeiro (km/h)	450 / 511 (600)	470 / 511 (600)
Velocidade máxima (km/h)	494 (300/320/400) / 554 (500) / 560 (600)	494 (200) / 554 (500) / 560 (600)
Altitude de cruzeiro (Km)	7,620 / 7,624 (600)	7,62 / 7,624 (600)
Pista mínima para decolagem (km)	1,16	1,16
Alcance (km)	855 (300/320/400) / 1555 (500) / 1300-1560 (600)	1324-1650 / 1500-1665 (600)
Passageiros	40 a 50	62 a 74
Tripulação	3	4

	Embraer E-170	Embraer E-175	Embraer E-190	Embraer E-195
Comprimento (m)	29,9	31,65	36,24	38,65
Envergadura (m)	26	26	28,72	28,72
Altura (m)	9,55	9,73	10,57	10,55
Peso da aeronave (ton)	21	21,5	25	25,9
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	35,0 / 32,5	37,5 / 34	47,7 / 43	48,7 / 45
Motores	2x GE CF34-3E	2x GE CF34-3E	2x GE CF34-3E	2x GE CF34-3E
Capacidade de combustível (mil litros)	7,4	7,4	10,4	10,4
Velocidade de cruzeiro (km/h)	850 (mach 0,80)	850 (mach 0,80)	850 (mach 0,80)	850 (mach 0,80)
Velocidade máxima (km/h)	890 (mach 0,82)	890 (mach 0,82)	890 (mach 0,82)	890 (mach 0,82)
Altitude de cruzeiro (Km)	12,5	12,5	12,5	12,5
Pista mínima para decolagem (km)	1,64	2,24	2,05	2,17
Alcance (km)	3334	3334	3334	2593
Passageiros	70 a 75	76 a 85	94 a 114	100 a 124
Tripulação	4	4	5	5



Imagem - ATR



Imagem - Embraer

	B 777-200	B 777-300	B 777-200ER	B 777-200LR	B 777-200F
Comprimento (m)	63,7	73,9			
Envergadura (m)	60,9	60,9			
Altura (m)	18,5	18,5			
Peso da aeronave (ton)		160,5 / 167,8	184,5	185,1	145,1
Peso máximo de decolagem/pouso (ton)	179 / 136	299,3 / 287,6 / 315,5 / 251,2	247 / 201	297 / 218	347 / 233
Motores	Pratt & Whitney 4077 ou Rolls-Royce Trent XWB	Pratt & Whitney 4098 ou Rolls-Royce Trent XWB			
Capacidade de combustível (mil litros)	117,3 / 171,1 (200ER)	171,1 / 161,2	117,3	171,1	151,2 ou 202,5
Velocidade de cruzeiro (km/h)	905 (mach 0,84)	905 (mach 0,84)			
Velocidade máxima (km/h)	930 (mach 0,89)	930 (mach 0,89)			
Altitude de cruzeiro (Km)	13,14	13,14			
P					

Anexo II.1 – ACN de algumas aeronaves comerciais.

Tabela 16 - ACN relativo à camada de subleito.

ACN relativo à camada de sub-leito										
			Pavimentos rígidos				Pavimentos Flexíveis			
Tipo de aeronave	Peso máx. Peso mín. (kg)	Pressão do Pneu (MPa) (MPa)	Alta	Média	Baixa	Muito baixa	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
			K=15	K=8	K=4	K=2	CBR=15	CBR=10	CBR=6	CBR=3
			0	0	0	0	%	%	%	%
A319-100	69000	1,07	37	40	42	45	35	36	40	46
	38200		18	20	21	23	18	18	20	23
A330-300	226400	1,42	54	62	74	86	62	68	79	107
	169700		39	43	50	58	44	47	53	70
AN-225	588400	1,13	45	61	89	125	63	75	95	132
	45000		30	39	55	75	41	48	62	88
B717-200	53977	1,13	34	36	38	39	30	32	36	39
	30618		17	18	20	20	16	16	18	21
B737-800	42000	1,39	43	46	48	50	38	40	44	49
	70000		21	22	23	24	18	19	20	23
B747-400	390500	1,38	54	65	77	88	59	66	82	105
	180000		20	23	27	31	23	24	27	35
B777-300	294500	1,48	54	69	89	109	68	76	97	129
	160000		27	28	35	43	30	32	38	53
ERJ-145	21700	0,90	14	15	15	16	12	13	15	16
	11000		6	7	7	7	5	6	6	7

(Fonte: [http://www.oaviao.com.br/textos\\_tecnicos/acn.htm](http://www.oaviao.com.br/textos_tecnicos/acn.htm))

## Anexo II.2

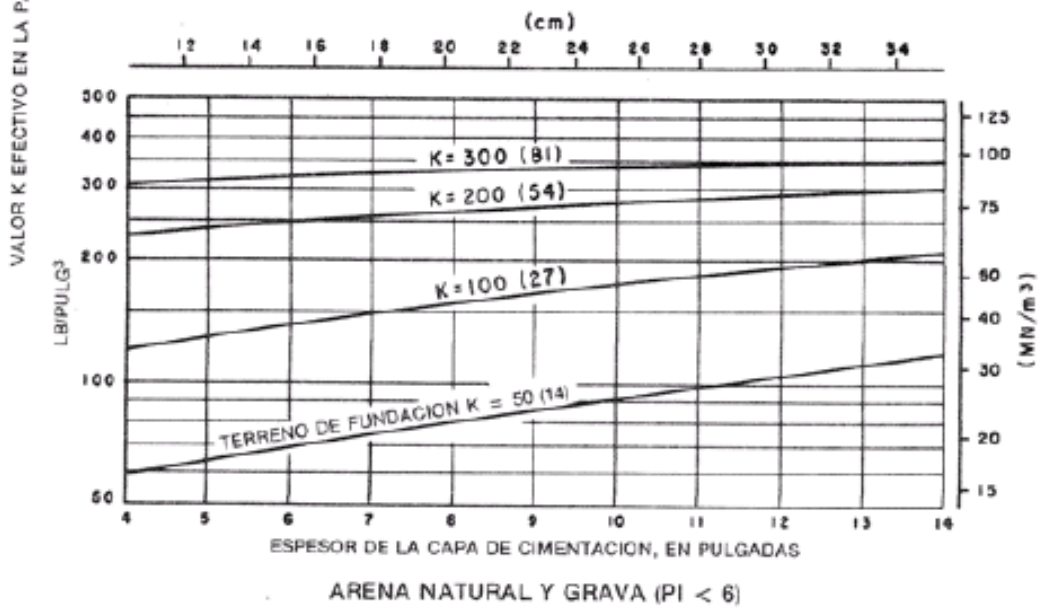
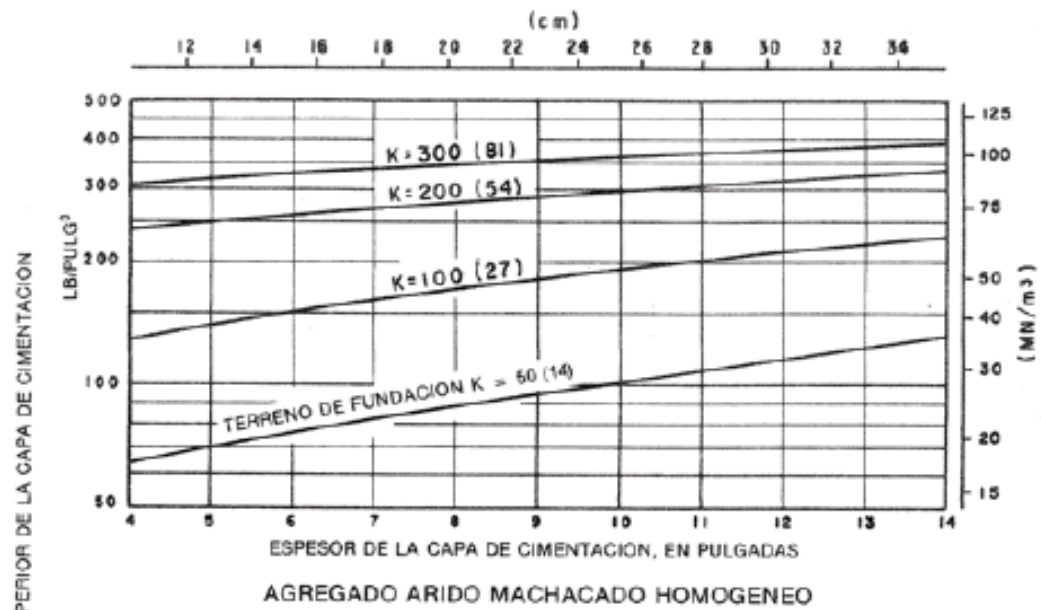


Imagem 78 - Valores de “K” a utilizar quando a camada de sub-base não é estabilizada, em pavimentos rígidos. (Fonte: (FAA,1995))

Anexo II.3

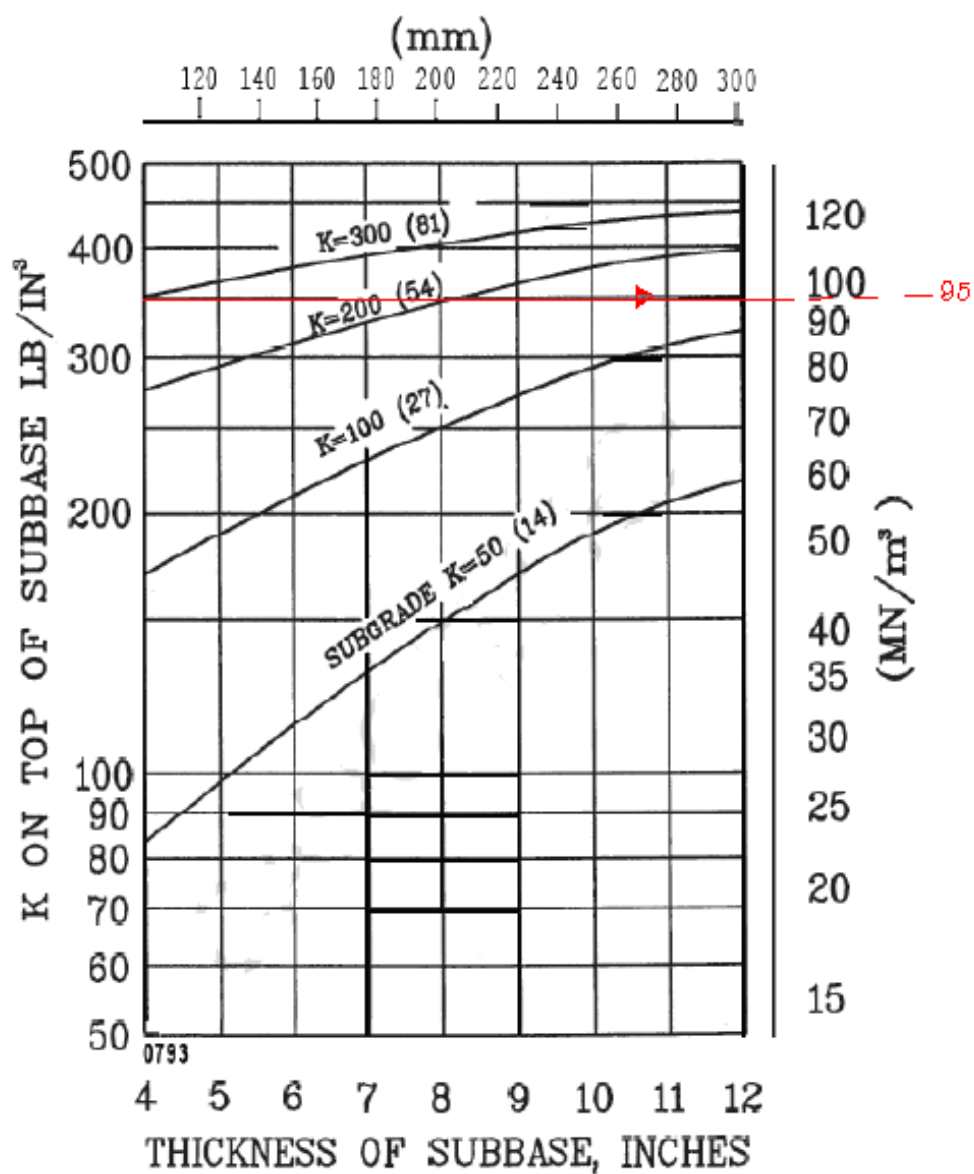


Imagem 79 - Aumento de “k” para a camada de sub-base estabilizada em pavimentos flexíveis. (Fonte: (FAA,1995))

A linha a vermelho representa o modo de obtenção do valor de “k” para a camada de sub-base estabilizada.

## Anexo II.4 – Cálculo dos valores de ACN e de PCN

### ➤ CÁLCULO DO ACN

No método ACN/PCN utiliza-se a carga de roda simples com 1,25MPa de pressão de pneus, como modo de relacionar o trem de aterragem e o pavimento. Para isto, iguala-se a espessura obtida pelo modelo matemático para o trem de uma aeronave à espessura correspondente a uma roda simples de pressão normalizada de 1,25 MPa (Iguar, Outubro 2011).

Assim, a carga de roda obtida é utilizada sem referência à espessura, dando maior importância ao fato das aeronaves serem análogas do que à espessura do pavimento.

O ACN define-se como sendo o dobro da carga derivada por roda simples, de modo a obter-se uma escala adequada em relação à massa bruta da aeronave. O valor é expresso em quilogramas.

Sendo que uma aeronave atua com várias condições de massa e centro de gravidade, os cálculos do ACN seguem as seguintes convenções (ICAO, 1983):

- ✓ O ACN máximo de uma aeronave é obtido com a massa e centro de gravidade que provocam a carga máxima no trem de aterragem;
- ✓ O valor do ACN que surge nas tabelas cedidas pelos fabricantes está em função da massa bruta e do centro de gravidade da aeronave;
- ✓ O ACN para situações particulares ajusta-se aos efeitos da pressão dos pneus e ao centro de gravidade com a massa bruta específica.

O valor do ACN difere para a mesma aeronave dependendo do tipo de pavimento, flexível ou rígido. Os métodos de cálculo também são diferentes para cada um dos tipos de pavimentos.

- **CÁLCULO DO ACN PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

Em seguida vai ser descrito o método gráfico para o cálculo do ACN para este tipo de pavimentos, embora existam outras maneiras de o realizar.

Este procedimento utilizada o gráfico de conversão que se encontra ma imagem 80, e os gráficos da espessura do pavimento solicitado, fornecidos pelos fabricantes das aeronaves, baseados no procedimento CBR levado a cabo pela US *AirForce*.

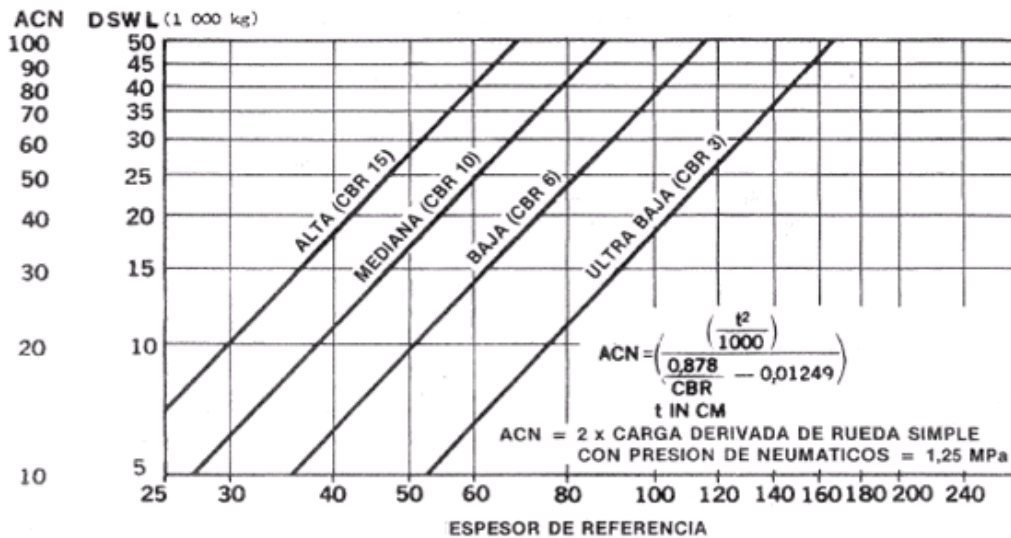


Imagem 80 - Curvas de conversão do ACN, para pavimentos flexíveis.

(Fonte: (ICAO, 1983))

Os gráficos cedidos pelos fabricantes das aeronaves são realizados mediante os coeficientes de Boussinesq e, com eles é possível obter-se a equivalência entre o trem de aterragem e uma carga de roda simples.

Deste modo, para determinar o ACN devem-se seguir os passos que se seguem (ICAO, 1983):

- 1) Calcular a espessura de referência para o peso da aeronave e o “K” do terreno de fundação em questão, e os inúmeros recobrimentos desta carga, com a utilização dos gráficos facultados pelos fabricantes.
- 2) Com a espessura de referência encontrada no passo supracitado e o CBR do terreno de fundação em causa, entra-se no gráfico da imagem 42 e obtém-se a carga de roda simples;
- 3) O ACN obtido é o dobro da carga por roda simples, exposta em toneladas.

(Fonte: (ICAO, 1983))

#### • CÁLCULO DO ACN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Para efetuar o cálculo do ACN para pavimentos rígidos utiliza-se o gráfico representado da imagem 81, no qual o desenvolvimento se baseou num *software* da *Portland Cement Association* (Igual, Outubro 2011). Os gráficos de espessura do pavimento em causa são fornecidos pelos fabricantes das aeronaves.

Para a determinação do ACN é necessário seguir o seguinte procedimento (ICAO, 1983):

- 1) Calcular a espessura de referência para o peso da aeronave e o “k” de terreno de fundação em questão, tendo em conta a tensão máxima de tração do betão (2,75MPa), com a utilização dos gráficos facultados pelos fabricantes.
- 2) Com a espessura de referência encontrada no passo supracitado entra-se no gráfico da imagem 81 e obtém-se a carga de roda simples;
- 3) O ACN obtido é o dobro da carga por roda simples, exposta em toneladas.

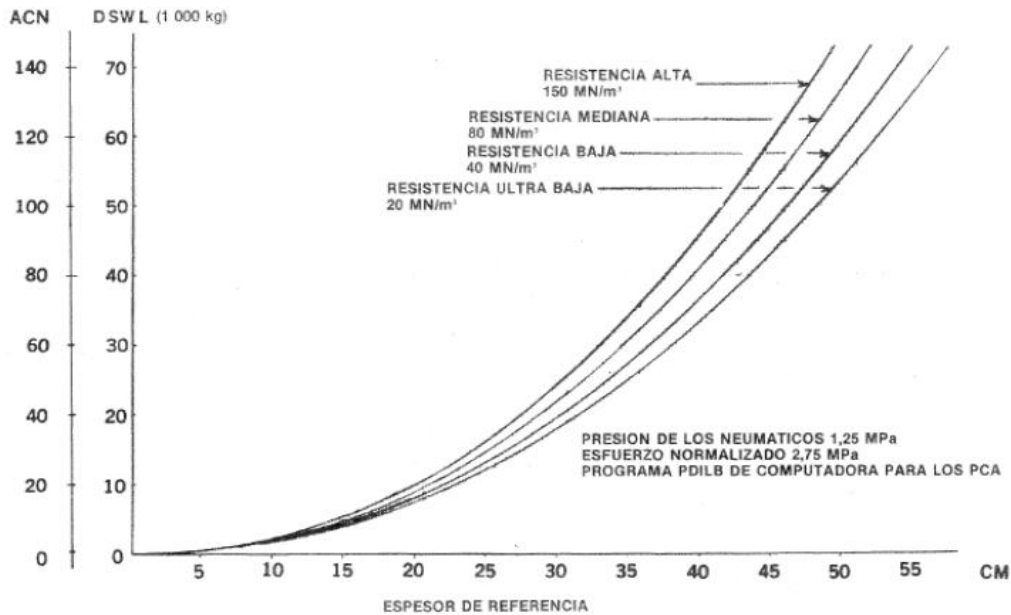


Imagem 81 - Curvas de conversão do ACN para pavimentos rígidos.

(Fonte: (ICAO, 1983))

### ➤ DETERMINAÇÃO DO PCN

O número de classificação de pavimentos, PCN, representa o dobro da carga por roda simples, expressa em toneladas, dividido por 500, com um valor em quilogramas.

#### • CÁLCULO DO PCN PARA PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Em primeiro lugar é necessário calcular a carga equivalente por roda simples, RSE, que vem expressa pela seguinte fórmula:

$$RSE = \frac{e^2}{\frac{1}{c_1 \times CBR} - \frac{1}{c_2 \times pn}}$$

Sendo que os parâmetros são os seguintes:

- ✓ Espessura do pavimento – e.
- ✓ CBR do solo de suporte.
- ✓ Coeficientes de Boussinesq:
  - C<sub>1</sub>=0,5695
  - C<sub>2</sub>=32,035
- ✓ Pressão normalizada – pn=1,25 MPa.

Deste modo obtém-se PCN a pressão normalizada,  $PCN_{pn}$ :

$$PCN_{pn} = \frac{1}{500} RSE$$

Por último, calcula-se o PCN corrigido. Quanto mais se aproxima da pressão efetiva de 1,25MPa, menos diferença existirá entre o PCN normalizado e o corrigido.

$$PCN = PCN_{pn} \frac{\frac{1}{c_1 \times CBR} - \frac{1}{c_2 \times q}}{\frac{1}{c_1 \times CBR} - \frac{1}{c_2 \times pn}}$$

### • CÁLCULO DO PCN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Para determinar o PCN para pavimentos rígidos é necessário conhecer a rigidez relativa ou de Westergard, da laje.

O raio de rigidez relativa é a distância radial desde o centro da laje, onde se considera aplicada a carga por roda simples, até ao ponto em que começa a comportar-se à compressão e deixa de trabalhar à tração.

Esse raio é função dos seguintes parâmetros:

- ✓ Módulo de elasticidade E do betão. Usualmente  $E=350000\text{kg/cm}^2$ .
- ✓ Coeficiente de Poisson  $\nu=0,15$ .
- ✓ Espessura da laje.
- ✓ Módulo de reacção K do terreno de fundação.

Tendo a expressão:

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times K}}$$

Outro dado importante é a carga de segurança (CS) do pavimento. A carga de segurança obtém-se ao dividir a carga de rotura máxima fornecida pelo equipamento de ensaio por 1,5.

$$CS = \frac{C \text{ Rotura}}{1,5}$$

Mas esta carga de segurança ainda deve ser corrigida para o efeito da carga (8tc) e da temperatura (vmt) obtendo-se assim a carga de segurança correspondente ajustada (CSA).

$$CSA = \frac{100 - A}{100} C.S.$$

Sendo,  $A=tc-vmt$ .

Este valor de CSA serve para calcular a carga por roda simples equivalente, que é necessária para determinar o PCN.

Para se obter a carga por roda simples equivalente utiliza-se o diagrama de influência de Picket Ray (imagem 82).

Este diagrama baseado na Teoria de Westergaard permite determinar o esforço num ponto “O” de uma laje de betão, devido a um determinado trem de aterragem, com rodado duplo de tandem.

Sobrepõe-se a área de contacto da laje ou ponto central ao número de blocos afetados pela mesma. O raio rigidez relativa previamente calculado é usado numa escala adequada à sobreposição, comparando com a escala gráfica da própria carta de Picket Ray.

Através da carga de segurança ajustada sabe-se a pressão “Q” correspondente.

Por comparação linear, ou regra de três simples, do número de blocos calculados à pressão “Q” com a pressão normalizada de 12,75 kg/cm<sup>2</sup>, obtém-se um novo número de blocos a essa pressão normalizada, que suportam o mesmo esforço á flexão da laje.

A superfície real correspondente, Src, ao novo número de blocos, multiplicada pela pressão normalizada Q', dará como resultado a carga por roda simples equivalente.

$$RSE = S_{rc} \times Q'[9]$$

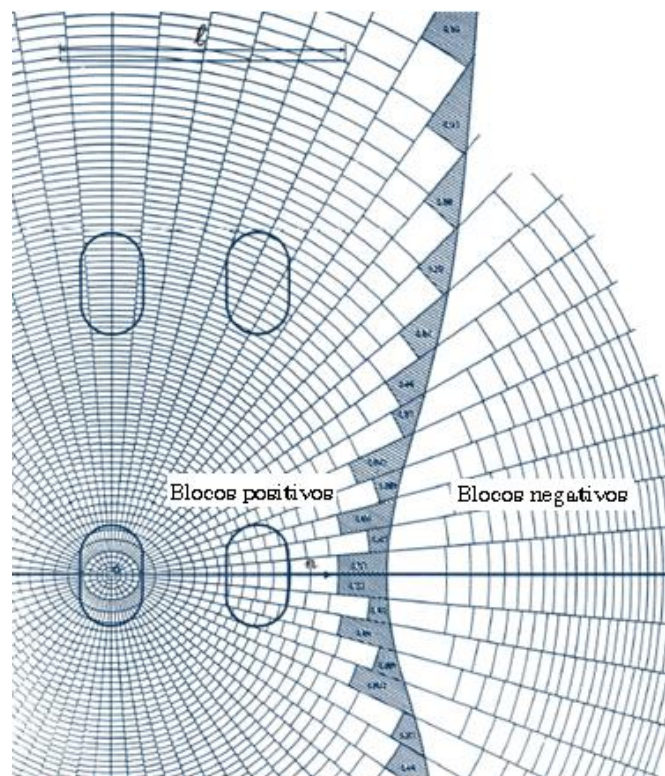


Imagem 82 - Diagrama de influência de Picket ray.

(Fonte: (Rodriguez))

Por último, o PCN é obtido dividindo por 500 a carga por roda equivalente.

$$PCN = \frac{1}{500} RSE$$

Após obtido o valor de ACN da aeronave e do PCN do pavimento é realizada uma análise comparativa entre os valores. Se o valor do ACN for igual ou maior que o do PCN a aeronave pode circular no pavimento. Se o valor for menor, significa que o pavimento não tem capacidade de suporte para resistir ao tráfego a aeronave não pode circular.

### ➤ MÉTODO EXPERIMENTAL

Este método é de simples e não necessita de um conhecimento exaustivo do pavimento.

Neste procedimento são calculados os ACN de todas as aeronaves que irão utilizar o pavimento. O maior desses valores é o PCN do pavimento.

(Fonte: (ANAC A. N.-B., 2010))

Anexo II.5

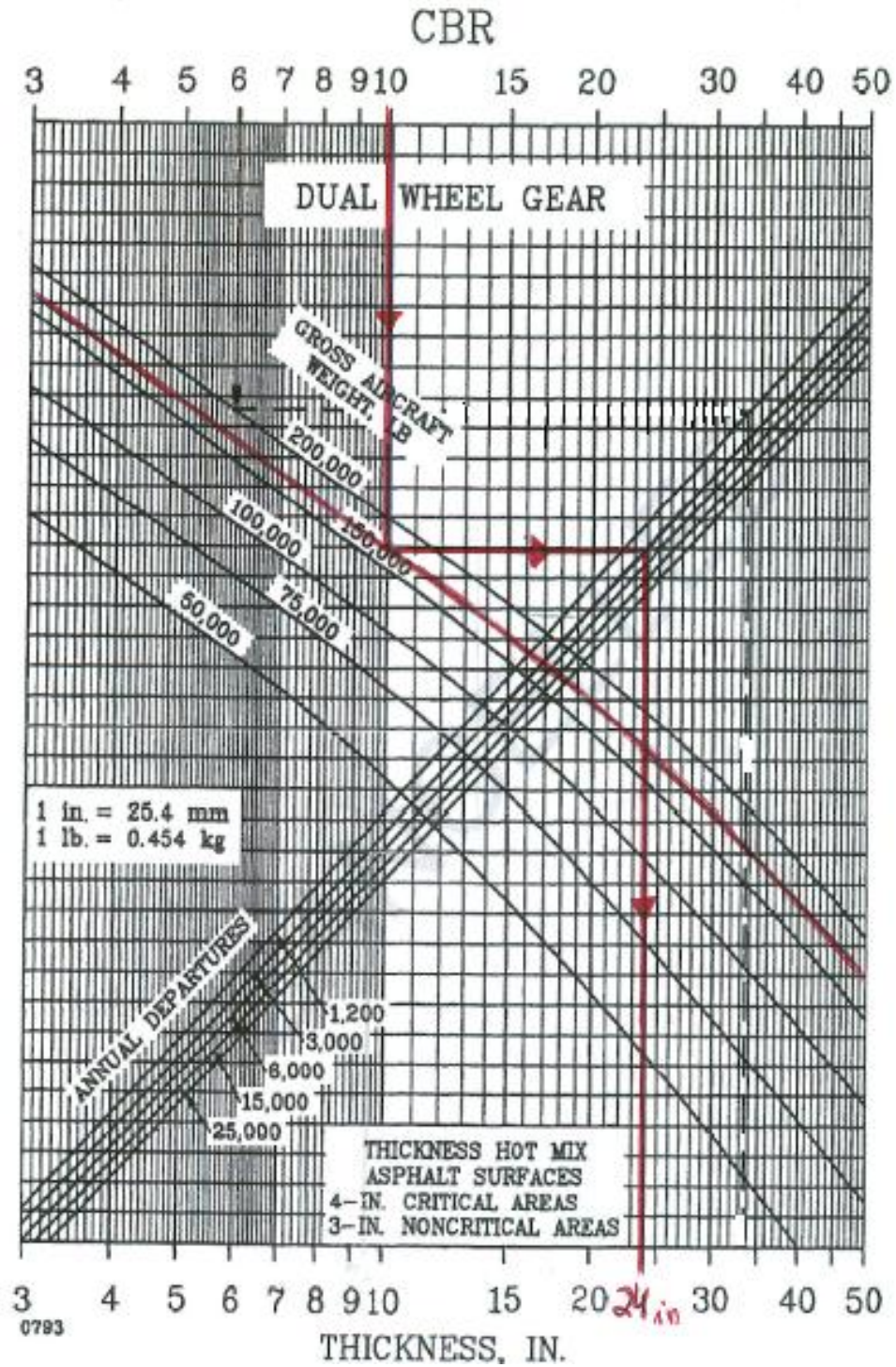


Imagem 83 - Curva de cálculo do pavimento flexível para rodados duplos. (Fonte: (FAA,1995))

A linha a vermelho representa o modo de obtenção do valor da espessura total do pavimento flexível.

## Anexo II.6

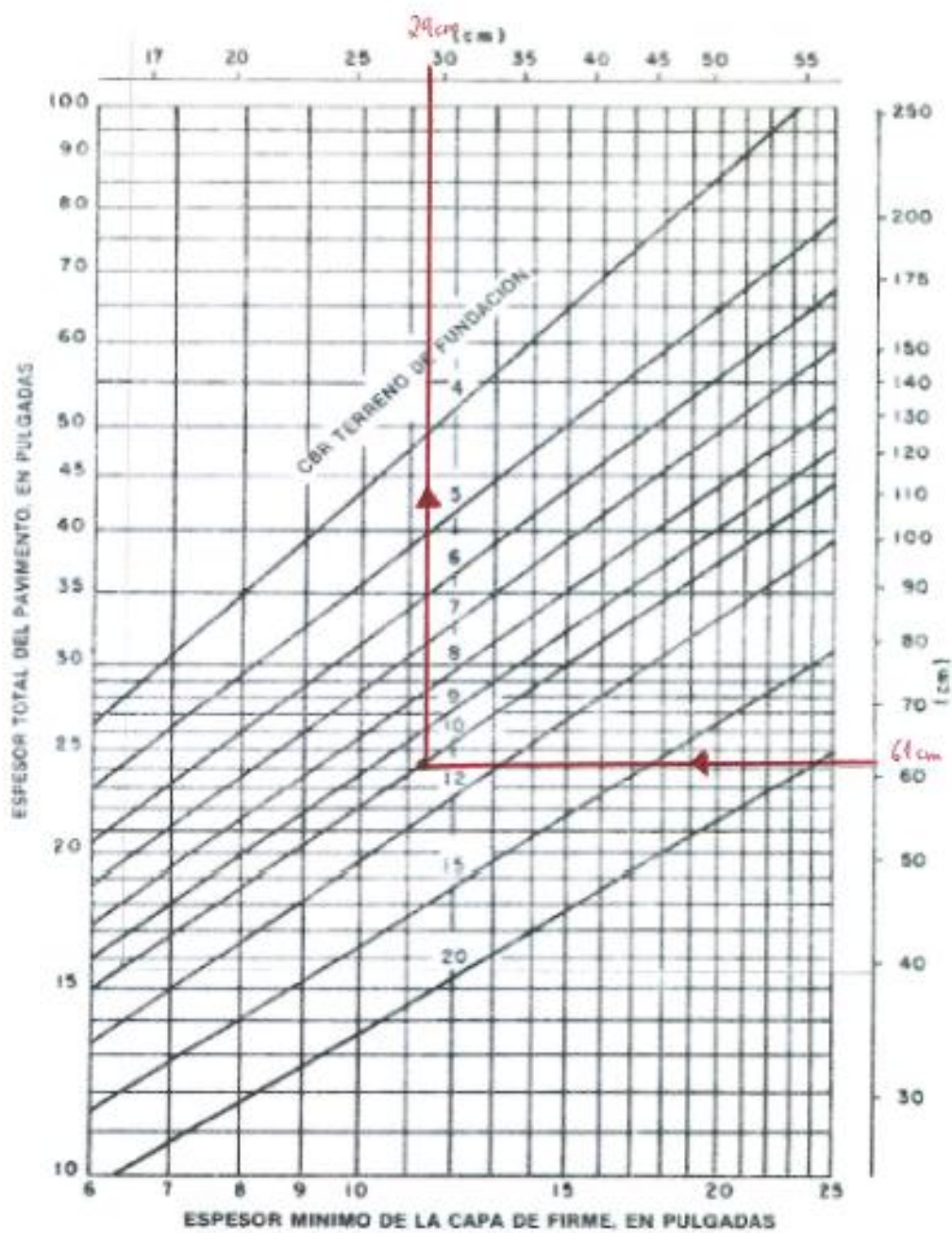


Imagem 84 - Espessura mínima para a base de pavimentos flexíveis. (Fonte: (FAA,1995))

A linha a vermelho representa o modo de obtenção do valor da espessura mínima para a camada de base do pavimento flexível.

Anexo II.7

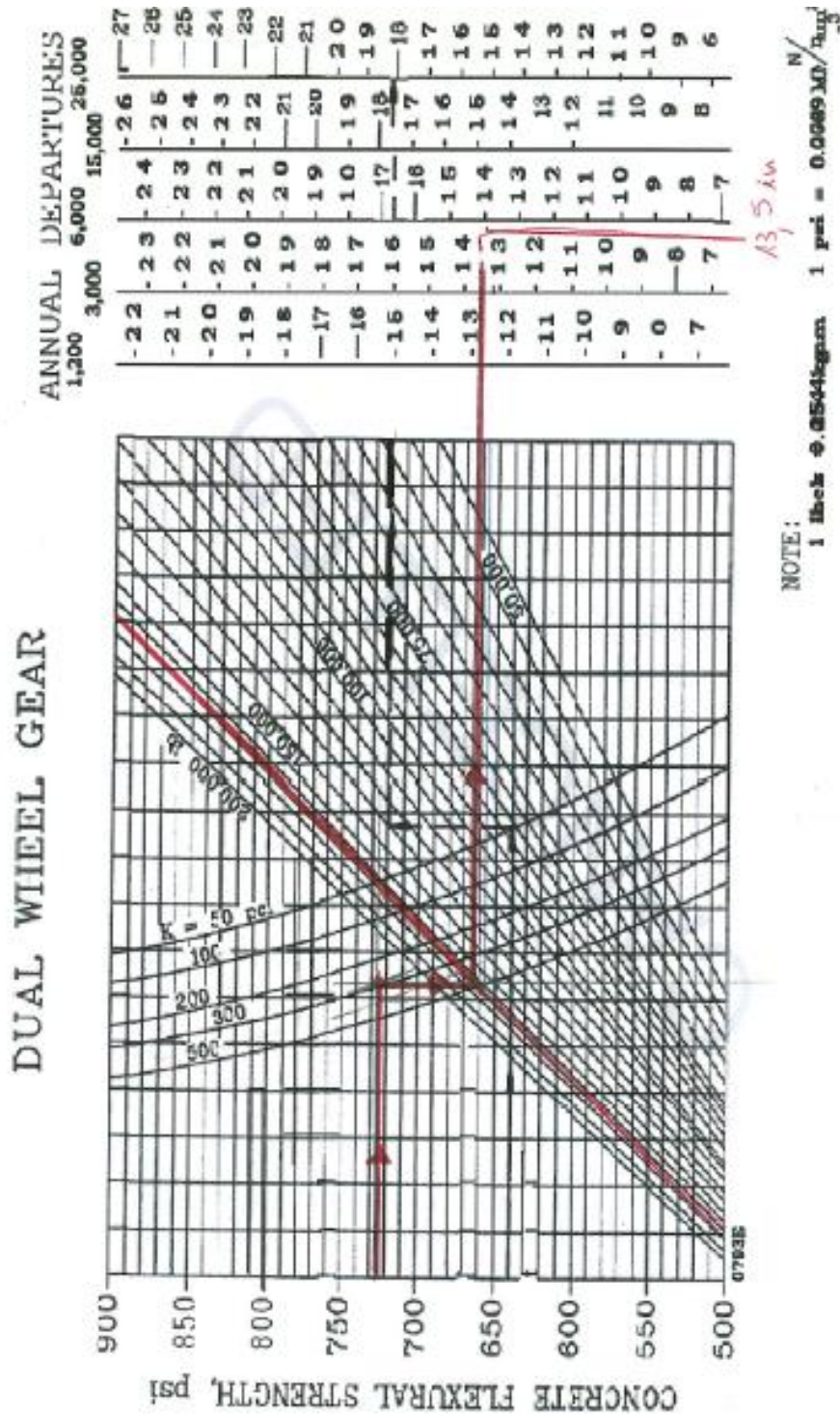


Imagem 85 - Curva de cálculo do pavimento rígido para rodados duplos. (Fonte: (FAA, 1995))

A linha a vermelho representa o modo de obtenção do valor da espessura da camada betuminosa para o pavimento rígido.

Anexo II.8 - Cálculo dos pavimentos flexíveis – FAA Design 150/5320-6D

<b>FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN FOR</b>			
<b>VPE</b>		<i>AC Method</i>	
Ondjiva, Angola			
Engineer - Tânia Silva		AIP No.	
Reabilitação do Aeroporto de Ondjiva, Angola			
<b>24" Total Thickness Required (Inches)</b>			
<i>No thickness adjustments required</i>			
<i>Stabilized Base/Subbase Are Required</i>			
<b>Initial Pavement Cross Section</b>		<b>Stabilized or Modified Cross Section</b>	
4"	Pavement Surface Layer (P-401)	4"	P-401 Plant Mix Bituminous Pavements
8" (5,29)	Base Layer (P-209)	5"	P-304, Cement Treated Base Course
12"	Subbase #1 (P-154) CBR= 35	12"	Not stabilized -- P-154
0"	Subbase #2 CBR= 0	0"	Material as defined by user
0"	Subbase #3 CBR= 0	0"	Material as defined by user
			Factors
			1,6
			1
<i>() = Subminimal base thickness calculation</i>			
<b>Frost Considerations</b>			
124 lb/cf	Dry Unit Weight of Soil		
500	Degree Days °F		
36,81"	Frost Penetration Depth		
10	Original CBR value of subgrade Soil		
10	CBR Value used for the Subgrade Soil		
35	CBR Value used for subbase #1		
0	CBR Value used for subbase #2		
0	CBR Value used for subbase #3		
	Non-Frost Code for Subgrade Soil		
	Non-Frost code for Subbase #1		
	Non-Frost code for Subbase #2		
	No frost selection made for Subbase #3		
<b>Design Aircraft Information</b>			
The Design Aircraft is a DUAL200 - 200,000 lbs -- ()			
174000 lbs	Gross Weight		20 Design Life (years)
3.887	Equivalent Annual Departures		
<b>Subgrade Compaction Requirements for Design Aircraft</b>			
<b>Non-Cohesive Soils</b>		<b>Cohesive Soils</b>	
Compaction	Depth Required	Compaction	Depth Required
100%	0 - 20	95%	0 - 8"
95%	20 - 34,4"	90%	8 - 15"
90%	34,4 - 49,4"	85%	15 - 22,4"
85%	49,4 - 64,3"	80%	22,4 - 29,9"
See Appendix 5 to AC 150/5320-6D, Airport Design and Evaluation, for application of this software.			

Imagem 86 – Resumo (pavimento flexível).

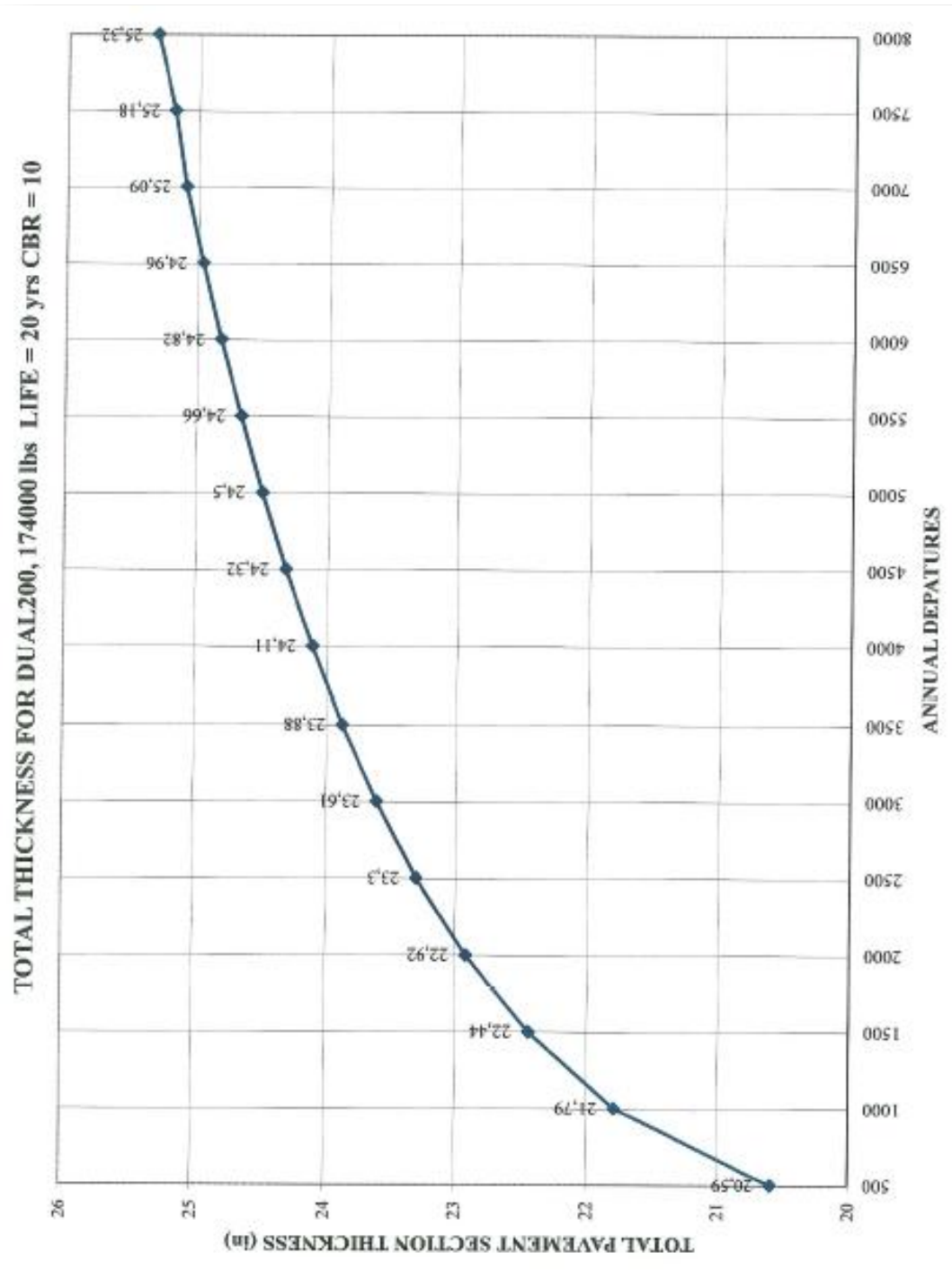


Imagem 87 - Gráfico comparativo entre o número de saídas anuais e a espessura total do pavimento (pavimento flexível).

TOTAL THICKNESS FOR DUAL200, 174000 lbs -- 3887 Departures LIFE = 20 yrs

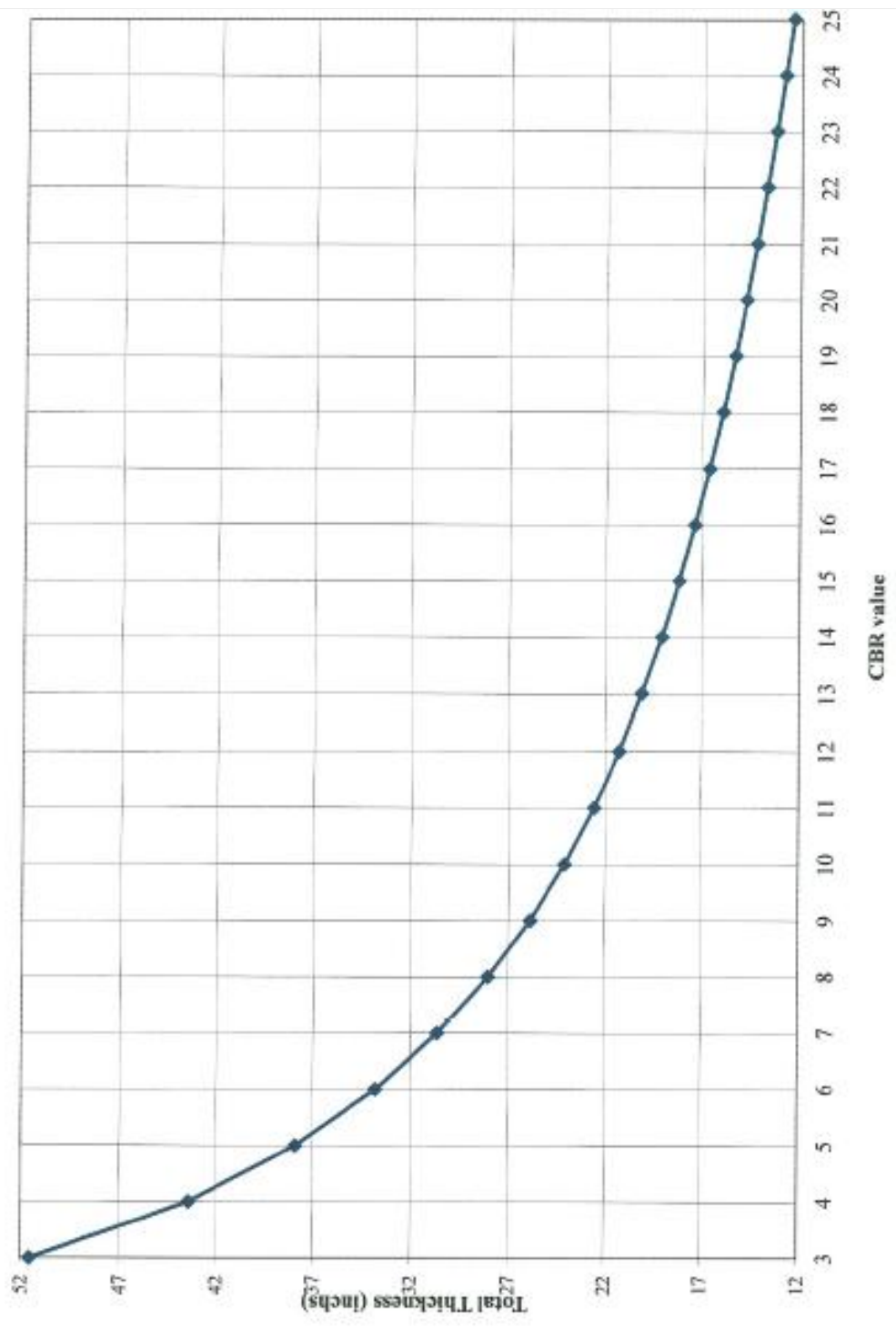


Imagem 88 - Gráfico comparativo entre o valor do CBR e a espessura total do pavimento (pavimento flexível).

Anexo II. 9 - Cálculo dos pavimentos rígidos – FAA Design 150/5320-6D

<b>Rigid Pavement Design For</b>		Program Date 04/30/04
Airport Name: VPE		<i>AC Method</i>
Associated City: Ondjiva		Date:
Design Firm:		Designer: Tânia Silva
AIP Number:		
<b>New Pavement Section Required</b>		<i>Stabilized Subbase Is Required</i>
9,0	PCC Thickness	725 psi New Concrete Flexural Strength
4,0	Stabilized Base	
0,0	Subbase	
0,0	Non-Frost Layer (free draining material)	
<i>Large Aircraft Parallel to Joints (standard design)</i>		
<b>Overlay Sections</b>		
N/A	Asphalt Overlay Thickness	N/A Existing Slab Thickness
N/A	Unbonded PCC <b>without</b> leveling course	N/A PCC <b>needed</b> for existing section
N/A	Unbonded PCC <b>with</b> leveling course	N/A Existing Stabilized Subbase
N/A	Bonded PCC	N/A Existing Aggregate Subbase
		N/A Existing Slab Flexural Strength
		N/A F- Factor used in design
		N/A Cr Factor
		N/A Cb Factor
<b>Frost Considerations (for new pavement section)</b>		
Dry Unit Weight of Soil (lb/cf)	100	
Degree Days °F	250	
Soil Frost Code	Non-Frost	Subgrade k-value was not modified for frost
Frost Depth Penetration (in)	22,53	
k value on top of stabilized layer	380	
k value on top of subbase layer	368	
Original subgrade k value	368	
<b>Design Aircraft Information</b>		
DUAL TAN-200		20 Design Life (years)
174000 lbs	Gross Aircraft Weight	
7.575	Equivalent Annual Departures	
See Appendix 5 to AC 150/5320-6D for application of this software.		

Imagem 89 – Resumo (pavimento rígido).

Required thickness for DUAL TAN-200 at 174000 lbs k on top of all subbase = 380 psi  
PCC Flexural Strength = 725

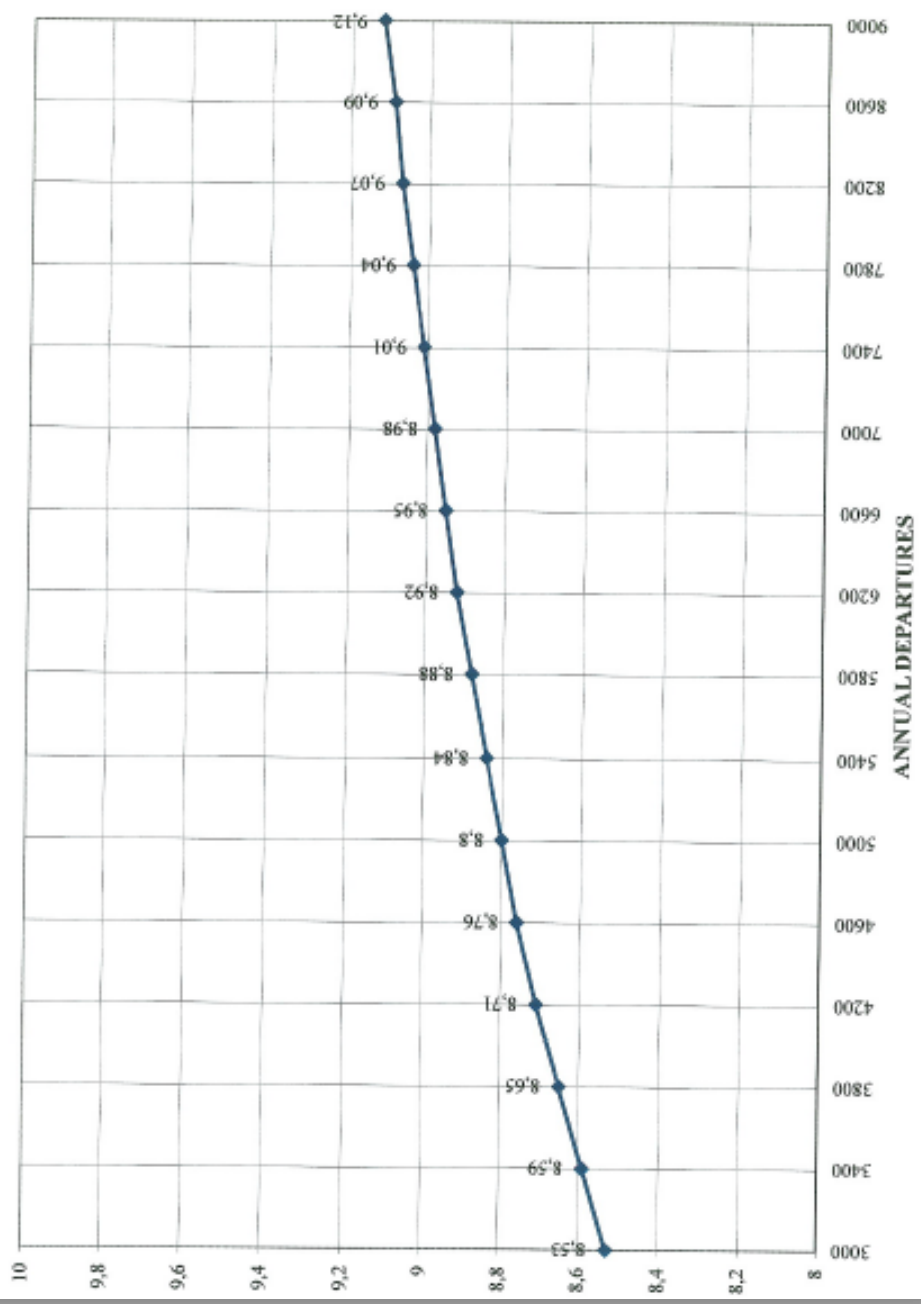


Imagem 90 - Gráfico comparativo entre a espessura pavimento e as número de saídas anuais (pavimento rígido).

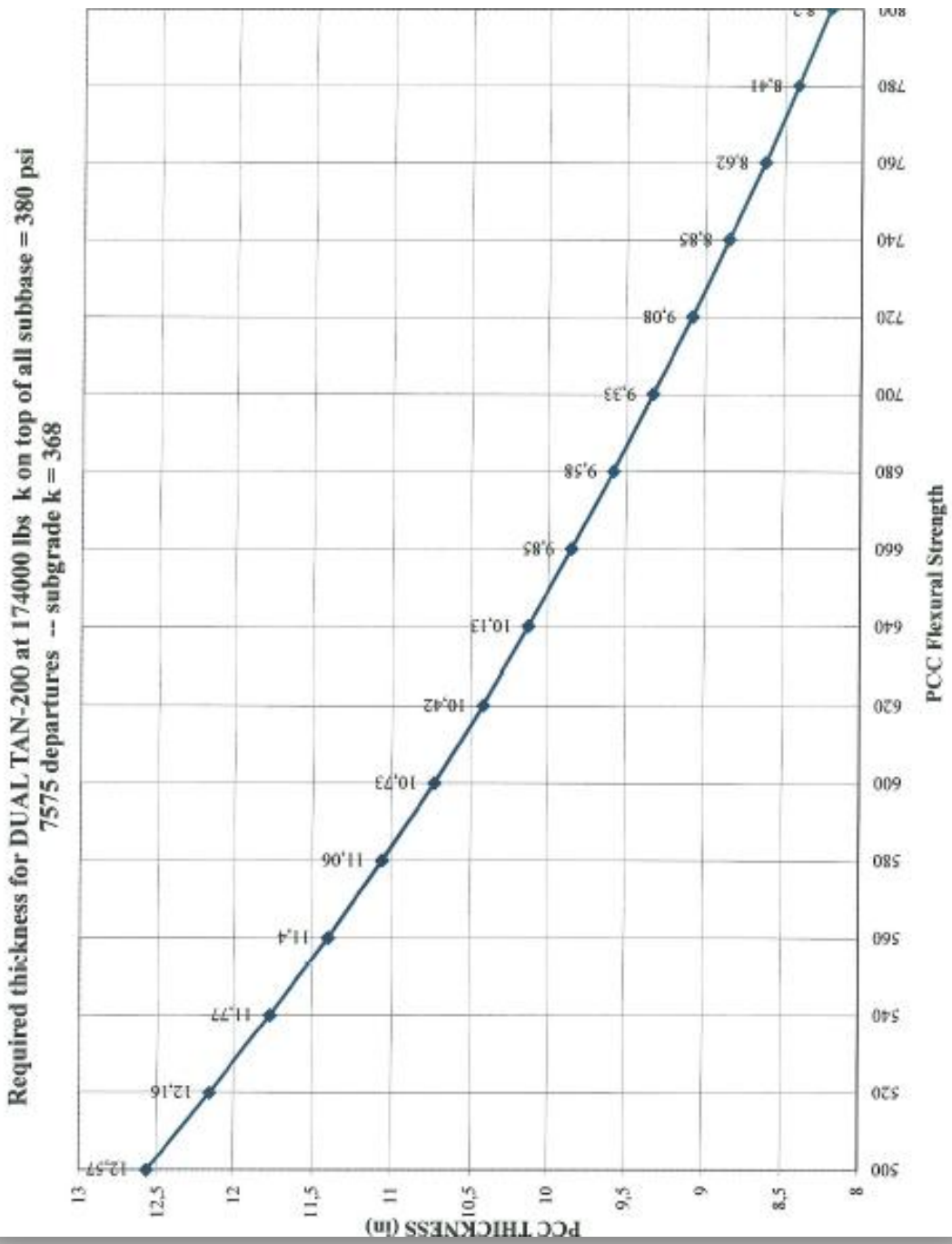


Imagem 91 - Gráfico comparativo a espessura pavimento e a flexão (pavimento rígido).

Anexo II.10 – Tabelas com as características geométricas dos aeroportos.

Tabela 17 - Comparação entre o código da pista e a classificação da aeronave.

Código (número)	Comprimento básico da pista da aeronave (m)	Código (letra)	Envergadura (m)	Distância entre rodas externas do trem de aterragem principal (m)
1	até 800 (exclusive)	A	até 15 (exclusive)	até 4,5 (exclusive)
2	800 a 1200 (exclusive)	B	15 a 24 (exclusive)	4,5 a 6 (exclusive)
3	1200 a 1800 (exclusive)	C	24 a 36 (exclusive)	6 a 9 (exclusive)
4	acima de 1800	D	36 a 52 (exclusive)	9 a 14 (exclusive)
		E	52 a 65 (exclusive)	9 a 14(exclusive)
		F	65 a 80 (exclusive)	14 a 16 (exclusive)

(Fonte: (ICAO Annex 14 (2004ª, p. 1-8).))

Tabela 18 - Largura padrão para a pista de voo e decolagem.

Grupo dinâmico	Grupo Geométrico					
	A	B	C	D	E	F
1	18m	18m	23m	-	-	-
1, RWs para aprox. de precisão	30m	30m	30m	-	-	-
2	23m	23m	30m	-	-	-
2, RWs para aprox. de precisão	30m	30m	30m	-	-	-
3	30m	30m	30m	45m	-	-
4	-	-	45m	45m	45m	60m

(Fonte: (ICAO Annex 14 (2004ª, p. 1-8).))

Tabela 19 - Padrão ICAO para a folga do pavimento e para a largura da pista de táxi.

Grupo geométrico	Folga do pavimento	Largura da pista de taxi
A	1,50 m	7,50 m
B	2,25 m	10,50 m
C, com base de rodas menor do que 18m	3,00 m	15,00 m
C, com base de rodas igual ou maior a 18m	4,50 m	18,00 m
D, com wheel span menor do que 9m	4,50 m	18,00 m
D, com wheel span maior ou igual a 9m	4,50 m	23,00 m
E	4,50 m	23,00 m
F	4,50 m	25,00 m

(Fonte: (ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).))

Tabela 20 - Padrão ICAO para a largura combinada entre as pistas de táxi e os seus acostamentos.

Grupo geométrico	Padrão de largura da TW <sup>1</sup>	Padrão da largura combinada entre os TWs e os bordos	Largura restante para cada bordo
A	7,50 m	-	-
B	10,50 m	-	-
C, com base de rodas menor do que 18m	15,00 m	25,00 m	5,00 m
C, com base de rodas igual ou maior a 18m	18,00 m	25,00 m	3,50 m
D, com wheel span menor do que 9m	18,00 m	38,00 m	10,00 m
D, com wheel span maior ou igual a 9m	23,00 m	38,00 m	7,50 m
E	23,00 m	44,00 m	10,5 m
F	25,00 m	60,00 m	17,5 m

<sup>1</sup> : Folga do pavimento e largura pista de táxi.

(Fonte: (ICAO Annex 14 (2004<sup>a</sup>, p. 1-8).))