



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Concepção e dimensionamento de um Heliporto Elevado para operação do EH-101 “Merlin”

Luís Filipe Magalhães Pereira

AFA – 1061

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Militares Aeronáuticas
Especialidade de Engenharia de Aeródromos
Ramo de Estruturas

Presidente: Professor José Câmara

Arguente: Professor Luís Guerreiro

Orientador: Eng^o. José Oliveira Pedro

Co-Orientador: Eng^a. Rute Ramalho

Fevereiro de 2008

***“O que fazemos por nós mesmo morre connosco, mas
o que fazemos pelos outros e pelo mundo,
permanece, e é imortal.”***

Albert Pine

Resumo

Em 11 de Fevereiro de 2005 entrou em espaço aéreo nacional os primeiros EH-101 “Merlin”, com a Cruz de Cristo gravada na fuselagem, destinados a substituir o SA-330 “Puma” na esquadra 751 da Força Aérea Portuguesa (FAP). Esta aeronave, maior e mais pesada que as anteriores, tornou necessário o estudo de novas infra-estruturas para possibilitar a sua operação sem restrições.

Este trabalho tem, deste modo, por objectivo o estudo de um solução estrutural para um heliporto elevado a instalar na cobertura de um hospital, que possibilite a operação sem restrições do novo helicóptero EH-101 “Merlin”.

Discutem-se os princípios básicos a seguir na concepção de um heliporto elevado, e analisa-se a legislação aplicável nestes casos.

Apresenta-se o dimensionamento de uma solução estrutural mista aço/betão, referindo-se as condicionantes, as acções, os princípios gerais de avaliação da segurança, os modelos de cálculo e as principais verificações de segurança estrutural associados ao estudo desta solução, a nível de Estudo Prévio.

Por fim, realiza-se o estudo analítico do comportamento dinâmico da estrutura em serviço, avaliando-se as vibrações transmitidas ao edifício hospitalar e os benefícios resultantes da introdução de isolamento elástico na ligação do heliporto à estrutura do edifício.

Abstract

On 2005 the Portuguese Air Force replaced the SA-330 “Puma” from the squadron 751 for the EH-101 “Merlin”. With this new aircraft, larger and heavier than its predecessors, the need for a study on the infra-structures required for its operation arose.

Therefore this document aims at studying objectively a structural solution for an elevated heliport that could be installed on a hospital rooftop, enabling its operation without restrictions. The basic principles for this project and its legislation are being discussed in this study.

The design of a composite steel/concrete deck is presented, as well as the main design restrictions and actions, the definition of the design models and the main structural verifications

Finally, the dynamic behaviour in service of this structure is computed, based on the vibration transmitted to the hospital structure and the benefit of an elastic isolation system in between the heliport structure and the building.

Agradecimentos

A realização desta dissertação não teria sido possível sem a contribuição de inúmeras pessoas, às quais endereço os meus agradecimentos. Torna-se difícil referir todos os que me apoiaram neste longo e acidentado percurso. Contudo, não posso deixar de referir alguns pela particular atenção que me dedicaram.

Ao Professor José Oliveira Pedro, do Instituto Superior Técnico (IST), orientador científico deste trabalho, desejo manifestar um especial agradecimento pela amizade e incondicional apoio em todas as fases deste trabalho, sem o qual julgo não ter sido a sua realização.

Aos profissionais da Força Aérea Portuguesa que despenderam do seu tempo para, com paciência, responder a todas as minhas questões. Um particular agradecimento aos pilotos da esquadra 751 cujas explicações possibilitaram uma visão mais abrangente do problema em estudo. Aos engenheiros da Direcção de Mecânica Aeronáutica (DMA) que me facilitaram todas as informações pertinentes sobre o EH-101 “*Merlin*” e os conhecimentos de aerodinâmica e mecânica de helicópteros o que facilitou a elaboração do último capítulo deste estudo. Por fim, um agradecimento muito especial aos profissionais de Direcção de Infra-estruturas (DI), nomeadamente à Engenheira Rute Ramalho (Capitão EngAed), por se ter disponibilizado desde o primeiro momento para co-orientar este trabalho.

Aos diversos professores do IST cujas sugestões e apoios se revelaram valiosas para o resultado final. Ao Professor António Reis, pela sua fundamental contribuição no início deste trabalho ao sugerir alguns dos aspectos que formaram o plano de trabalhos. Ao Professor Luís Guerreiro que me apoiou, como se de um orientando seu se tratasse, no desenvolvimento da última parte deste trabalho que se refere a vibrações. Ao Professor Luís Castro pela sua disponibilidade e amizade, que muito prezo.

Ao Professor Jorge Saraiva do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), cujas diversas informações em muito contribuíram para compreender alguns fenómenos sobre escoamentos de fluidos e orientar a pesquisa bibliográfica sobre os mesmos.

Por fim, gostava de agradecer aos meus familiares e amigos pelo seu apoio e particular compreensão para com a minha ausência mais sentida nesta fase difícil da minha vida. Em particular gostava de agradecer ao meu irmão Miguel pelas suas palavras de apoio sempre presentes nos momentos mais difíceis, que em muito contribuíram para o meu crescimento, e à Andreia pelo seu apoio inabalável, mesmo nos momentos mais difíceis.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.2	OBJECTIVO	1
1.3	METODOLOGIA.....	1
1.4	ESTRUTURA.....	2
2	HELICÓPTERO E HELIPORTO	5
2.1	HELICÓPTERO.....	5
2.2	HELIPORTO.....	7
2.3	CARACTERÍSTICAS DUM HELIPORTO	9
2.4	SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA HELIPORTOS ELEVADOS	11
2.4.1	<i>Aço e Betão.....</i>	<i>12</i>
2.4.2	<i>Alumínio.....</i>	<i>13</i>
2.4.3	<i>Materiais compósitos</i>	<i>14</i>
3	PLANEAMENTO DUM HELIPORTO.....	15
3.1	DEFINIÇÃO GERAL DOS REQUISITOS DO HELIPORTO.....	16
3.2	ESCOLHA DA SUA LOCALIZAÇÃO	16
3.3	REQUISITOS DE SEGURANÇA.....	17
3.4	LIMITAÇÕES DO RUÍDO	18
4	ENQUADRAMENTO LEGAL.....	21
4.1	ENTIDADES REGULADORAS.....	21
4.2	LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	22
4.3	ICAO – ANEXO 6 PARTE III – HELICOPTERS.....	24
4.3.1	<i>Classes de helicópteros</i>	<i>24</i>
4.4	ICAO – ANEXO 14 VOL II & HELIPORT MANUAL.....	24
4.4.1	<i>Características dimensionais dum heliporto.....</i>	<i>26</i>
4.4.2	<i>Dimensionamento da zona de aterragem/descolagem.....</i>	<i>26</i>
4.4.2.1	<i>FATO</i>	<i>28</i>
4.4.2.2	<i>TLOF.....</i>	<i>29</i>
4.4.2.3	<i>Área de Segurança.....</i>	<i>29</i>
4.4.2.4	<i>Situação específica de heliportos elevados</i>	<i>30</i>
4.4.3	<i>Síntese das alterações propostas ao Anexo 14.....</i>	<i>30</i>
4.4.4	<i>Superfícies de aproximação / desobstrução.....</i>	<i>32</i>
4.4.5	<i>Ajudas visuais à navegação</i>	<i>33</i>
4.4.5.1	<i>Indicador da direcção do vento</i>	<i>33</i>
4.4.5.2	<i>Sinalização diurna – “Pinturas”.....</i>	<i>34</i>
4.4.5.3	<i>Luzes / Iluminação</i>	<i>34</i>
4.4.5.4	<i>Balizagem de obstáculos</i>	<i>35</i>
4.4.6	<i>Sistemas de segurança</i>	<i>36</i>
4.5	HELIPORTOS DE INTERESSE PÚBLICO	39
4.5.1	<i>Análise da legislação</i>	<i>39</i>
4.5.2	<i>EH-101 e os Heliportos nos Hospitais de Portugal.....</i>	<i>40</i>
5	CASO DE ESTUDO – HELIPORTO ELEVADO NUM HOSPITAL.....	43
5.1	CONDICIONAMENTOS DO PROJECTO	43

5.1.1	<i>As dimensões da Zona de Aterragem</i>	43
5.1.2	<i>A construção de um heliporto num hospital</i>	45
5.2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ESTRUTURA	46
5.2.1	<i>Soluções Estruturais</i>	47
5.2.1.1	<i>Solução 1 (Anexo 14)</i>	47
5.2.1.2	<i>Solução 2 (Proposta HDWG)</i>	48
5.2.2	<i>Pormenorização da Solução 2</i>	50
5.2.3	<i>Elementos Integrados na Zona de Aterragem</i>	52
5.2.4	<i>Elementos complementares de projecto</i>	52
5.3	ANÁLISE E SEGURANÇA ESTRUTURAL	53
5.3.1	<i>Caracterização das Acções</i>	53
5.3.1.1	<i>Acções Permanentes</i>	53
5.3.1.2	<i>Acções Variáveis</i>	53
5.3.1.3	<i>Segurança Estrutural</i>	55
5.4	VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA	55
5.4.1	<i>Esforços na Plataforma / Estrutura</i>	55
5.4.1.1	<i>Esforços nas Vigas</i>	58
5.4.1.2	<i>Esforços nos Pilares</i>	58
5.4.1.3	<i>Esforços nas Lajes</i>	59
5.4.2	<i>Verificação da Segurança de ELU</i>	59
5.4.2.1	<i>Segurança ELU nas Vigas</i>	60
5.4.2.2	<i>Segurança ELU nos Pilares</i>	61
5.4.2.3	<i>Segurança ELU na laje</i>	62
5.4.2.4	<i>Verificação de segurança ao punçoamento</i>	63
5.5	MATERIAIS ESTRUTURAIS E PROCESSO CONSTRUTIVO	64
5.5.1	<i>Materiais estruturais</i>	64
5.5.2	<i>Processo construtivo</i>	64
5.6	OUTROS TRABALHOS ESPECÍFICOS DESTES TIPO DE ESTRUTURAS	65
6	COMPORTAMENTO DINÂMICO E ISOLAMENTO DA VIBRAÇÃO TRANSMITIDA À ESTRUTURA DE SUPORTE	67
6.1	FUNDAMENTOS BÁSICOS SOBRE VIBRAÇÃO	67
6.1.1	<i>Sistema livre com um grau de liberdade</i>	67
6.1.2	<i>Sistema forçado com um grau de liberdade</i>	69
6.2	CARREGAMENTO DINÂMICO EM ESTRUTURAS	70
6.3	ISOLAMENTO DE VIBRAÇÕES	72
6.3.1	<i>Modelo de isolamento amortecido</i>	73
6.4	EFEITOS DAS VIBRAÇÕES EM EDIFÍCIOS	75
6.4.1	<i>Critério Estrutural</i>	76
6.4.2	<i>Critério Fisiológico</i>	77
6.5	VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR HELICÓPTEROS	79
6.6	CASO DE ESTUDO	81
6.6.1	<i>Análise das vibrações Produzidas pelo EH-101</i>	81
6.6.2	<i>Dimensionamento do sistema de isolamento</i>	85
6.6.3	<i>Análise dinâmica do modelo de elementos finitos da estrutura</i>	86
7	CONCLUSÃO	91
	BIBLIOGRAFIA	95
	ANEXO A	99
	ANEXO B	107

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Parafuso helicoidal: a) Apontamentos Leonardo da Vinci; b) Ilustração gráfica	6
Figura 2: Sikorsky's VS-300, 1939 (McCormick, 1995).....	6
Figura 3: <i>Baptist Medical Center</i> , Filadélfia (EUA) (www.fecheliports.com/BapJack.html)	7
Figura 4: <i>Helideck</i> (www.offshore-technology.com).....	8
Figura 5: Hotel <i>Burj Al Arab</i> , 1999, Dubai (www.thecityreview.com/skyterra.html)	8
Figura 6: <i>Helipad de Siachen Glacier</i> , na Índia (en.wikipedia.org/wiki/Helipad).....	9
Figura 7: Configuração tipo dum heliporto (Adaptação de Horonjeff).....	9
Figura 8: Áreas da zona de aterragem.....	10
Figura 9: Esquema tipo dum heliporto elevado (FAA Heliport Design 2B)	11
Figura 10: Esquema das zonas de desobstrução (FAA Heliport Design 2B)	11
Figura 11: Hankyu Chayamachi Building com heliporto como “ <i>Mass-Dumper</i> ”	12
Figura 12: Heliporto em estrutura mista aço/betão (<i>Nashville Hospital</i> , TN, EUA).....	13
Figura 13: Edifício <i>Telekom Malaysia</i> (Kuala Lumpur)	14
Figura 14: Construção do heliporto em material compósito.....	14
Figura 15: <i>Vanderbilt University Medical Center</i> (www.fecheliports.com/vandy.html).....	15
Figura 16: Caminhos de aproximação ao <i>San Francisco General Hospital</i> (GERSON)	19
Figura 17: Classes de performance dos helicópteros (LEVERTON – Workshop).....	24
Figura 18: Dimensões do helicóptero para o dimensionamento das Áreas de Aterragem (helicóptero com <i>skids</i> e helicóptero com trem convencional)	27
Figura 19: FATO para PC1 em heliportos de superfície (LEVERTON – Workshop).....	28
Figura 20: Área de Segurança – 0.5 D (Leverton, The Changes)	30
Figura 21: Dimensões da zona de aterragem para PC2 em heliportos elevados	31
Figura 22: Dimensões da zona de aterragem para PC2 em heliportos de superfície	31
Figura 23: Ilustração de superfícies de aproximação curvas (LEVERTON - Workshop)	32
Figura 24: Manga de vento.....	34
Figura 25: Esquema de pintura e luzes: a)Heliporto elevado;	35
Figura 26: Exemplo de balizagem de obstáculos	35
Figura 27: Rede de Segurança (<i>Vanderbilt University Medical Center</i>)	36
Figura 28: Esquema de rede de segurança e acessos ao heliporto.....	36
Figura 29: Sistema de recolha de águas residuais (Adaptado da Legislação Francesa).....	37
Figura 30: Extintores portáteis	37
Figura 31: Canhão de Espuma (<i>Vanderbilt Children's Hospital</i>).....	38
Figura 32: Sistema integrado de combate a incêndios (<i>Astech® Aluminium Helideck</i>)	38
Figura 33: Esquadra 751 em missão de salvamento ao largo da costa Portuguesa (www.enfa.pt)	40
Figura 34: Vista aérea de Lisboa (adaptado "Google").....	41
Figura 35: Helicópteros do INEM (Augusta A109 e Bell 412) (www.inem.min-saude.pt)	41
Figura 36: Dimensões do Bell 412 [m/ft]	42
Figura 37: Dimensões do EH-101 “ <i>Merlin</i> ” (Catálogo EH-101)	43
Figura 38: Dimensões mínimas [m] da zona de aterragem em função do Anexo 14 e das Propostas do HDWG	44
Figura 39: Heliporto do hospital do Funchal.....	45
Figura 40: Dimensões dos contornos da placa da zona de aterragem das soluções 1 e 2 [m]	47
Figura 41: Planta da solução 1 [m].....	48
Figura 42: Imagem 3D da estrutura da solução 1 (SAP 2000)	48
Figura 43: Planta da solução 2.....	49
Figura 44: Imagem 3D da estrutura da solução 2 (SAP 2000)	49
Figura 45: Estrutura metálica da solução 2 (SAP 2000)	50
Figura 46: Alternativas de ligação pilar/viga.....	51
Figura 47: Pormenor de ligação da estrutura ao edifício	51
Figura 48: Modelo de elementos finitos (SAP 2000).....	56
Figura 49: Exemplos de carregamentos verticais e horizontais.....	57
Figura 50: Esquema de aplicação das cargas do Helicóptero (L_H) [mm].....	57
Figura 51: Esquema de degradação das cargas do helicóptero na laje com $e=0.30$ m [mm].....	57
Figura 52: Esquema de alternância de sobrecargas	58
Figura 53: Esquema para determinar o perímetro de rotura [mm].....	63
Figura 54: Esquemas de construção dos painéis de laje	65

Figura 55: Modelo do sistema com um grau de liberdade em regime livre (BACHMANN)	67
Figura 56: Frequência natural do sistema livre em função da massa vibrante (BACHMANN)	68
Figura 57: Vibração do sistema livre amortecido (BACHMANN)	69
Figura 58: Modelo do sistema em regime forçado (BACHMANN)	69
Figura 59: Gráfico de amplificação dinâmica (BACHMANN)	70
Figura 60: Funções tipo de cargas dinâmicas.....	71
Figura 61: Carregamentos dinâmicos de máquinas e respectivos espectros de <i>Fourier (Vibration Problems in Structures)</i>	71
Figura 62: Relação entre amplitude máxima e RMS	72
Figura 63: Diagramas de isolamento a) Vibração na base b) Vibração no equipamento	72
Figura 64: Modelos de sistemas de isolamento (HARRIS).....	73
Figura 65: Modelo de isolamento visco-amortecido.....	73
Figura 66: Transmissibilidade dum sistema amortecido (BACHMANN)	74
Figura 67: Transmissibilidade (dB) (KELLY)	75
Figura 68: Espectro de resposta para efeitos da vibração em pessoas e estruturas	76
Figura 69: Graus de incomodidade das vibrações sobre pessoas	77
Figura 70: Percepção humana das acelerações de vibrações (BACHMANN)	78
Figura 71: " <i>Borne- vibration</i> " em estruturas	79
Figura 72: Localização dos componentes do RADS-AT (SOUSA – Relatório Tirocínio)	81
Figura 73: Espectro de Fourier CRVert.....	83
Figura 74: Espectro de Fourier FRLat.....	83
Figura 75: Gráfico polar para a frequência 5R em CRVert.....	84
Figura 76: Gráfico polar para a frequência 5R em FRLat	84
Figura 77: Transmissibilidade (dB) para diferentes coeficientes de amortecimento	86
Figura 78: Associação de molas em série	86
Figura 79: Primeiro modo de excitação vertical da laje (estrutura sem amortecimento)	87
Figura 80: Primeiro modo vertical com molas $k=10000 \text{ kN/m}$	87
Figura 81: Acelerações nos pontos de controlo no modelo encastrado $[\text{m/s}^2]$	88
Figura 82: Velocidades nos pontos de controlo no modelo encastrado $[\text{m/s}]$	88
Figura 83: Acelerações nos pontos de controlo no modelo com molas ($k=10000\text{kN/m}$) $[\text{m/s}^2]$	89
Figura 84: Velocidades nos pontos de controlo no modelo com molas ($k=10000\text{kN/m}$) $[\text{m/s}]$	89
Figura 85: Aparelho de apoio num heliporto elevado (cortesia de Dave Meredith).....	90

ÍNDICE TABELAS

Tabela 1: Níveis médios de ruído.....	18
Tabela 2: Categorias dos helicópteros (Adaptado <i>Heliport Manual</i>)	26
Tabela 3: Comparação das dimensões do EH-101 com Bell 412	42
Tabela 4: Dimensões mínimas da zona de aterragem de acordo com o actual regulamento ICAO – Anexo 14 e das propostas do HDWG	44
Tabela 5: Classes de incêndio (Adaptado <i>Heliport Manual</i>)	53
Tabela 6: Cargas actuantes na estrutura	56
Tabela 7: Esforços nas vigas	58
Tabela 8: Esforços nos pilares	59
Tabela 9: Esforços no painel de laje tipo	59
Tabela 10: Esforços de ELU na viga tipo	60
Tabela 11: Características da secção HEB 400	60
Tabela 12: Esforços de ELU no pilar condicionante	61
Tabela 13: Características da secção RHS 300x300x10.....	61
Tabela 14: Características da laje	62
Tabela 15: Esforços de ELU na laje	62
Tabela 16: Critérios de aceitação para efeito de vibração em humanos.....	78
Tabela 17: Valores admissíveis das vibrações para pessoas situadas em diversos locais	79
Tabela 18: Resumo das acelerações no helicóptero nos diferentes sensores.....	82

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A 11 de Fevereiro de 2005 entraram em serviço os primeiros EH-101 “Merlin”, com a Cruz de Cristo gravada na fuselagem, destinados a substituir os SA-330 “Puma” na esquadra 751 da Força Aérea Portuguesa (FAP). Para além do evidente salto tecnológico que esta aeronave representa, com sistemas, sensores e performance muito superiores ao seu antecessor, o EH-101 aumenta de 200 para 400 milhas náuticas o raio de alcance do dispositivo nacional de Busca e Salvamento.

O EH-101 é significativamente maior e mais pesado que todos os helicópteros anteriormente em serviço, pelo que quase todas as infra-estruturas de apoio e operação destinadas à nova aeronave da esquadra 751 deverão ser maiores e com maior capacidade de carga. Face às características do novo helicóptero surgiu a necessidade de avaliar os heliportos existentes e de estudar soluções para os novos heliportos onde se pretende que o EH-101 venha a operar.

1.2 Objectivo

O objectivo deste trabalho consiste na concepção e dimensionamento a nível de estudo prévio de uma solução estrutural a implementar em heliportos elevados a colocar na cobertura de edifícios construídos, e que permita a operação do EH-101 “Merlin” sem restrições. Considerando que uma das missões da esquadra 751 consiste no transporte de sinistrados directamente para um hospital central, o caso de estudo corresponde ao estudo de uma solução estrutural para um heliporto a construir na cobertura de um hospital em funcionamento.

1.3 Metodologia

Tendo em consideração o objectivo de concepção e o dimensionamento dum heliporto apoiado numa estrutura elevada, as principais linhas de desenvolvimento do trabalho são: 1) estudo das soluções construídas, 2) identificação dos condicionamentos de projecto, 3) resumo da legislação aplicável, 4) concepção e dimensionamento de uma solução estrutural aplicável à situação de um heliporto a construir na cobertura de um edifício hospitalar em funcionamento, e 5) estudo das vibrações introduzidas na estrutura do edifício durante a operação normal do heliporto.

Para a realização do trabalho recorreu-se em primeiro lugar ao apoio bibliográfico, que consistem fundamentalmente na consulta dos documentos e normas nacionais, europeias e americanas, que são utilizadas no projecto de estruturas aeroportuárias.

O estudo da solução é realizado utilizando um modelo analítico da estrutura, que simula tanto a fase de construção como a fase de exploração, e considera um comportamento elástico e linear dos materiais aço e betão utilizados. As análises efectuadas e as verificações apresentadas têm em consideração as acções condicionantes do projecto. De qualquer forma, o nível de desenvolvimento dos modelos de análise adoptados, nomeadamente que permite estudar o comportamento dinâmico

da estrutura no tempo, para a acção variável no tempo do helicóptero EH101, durante o processo de aterragem, são normalmente estudos especiais que complementam as fases de projecto de execução.

No estudo dinâmico são utilizados registos de helicópteros para procurar caracterizar melhor a acção. No entanto, não são feitos no presente trabalho estudos experimentais registando dados reais do EH101, o que permitiria caracterizar melhor a acção dinâmica na estrutura. Trata-se um aspecto que poderá ser desenvolvido no âmbito de futuros trabalhos.

1.4 Estrutura

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, para além da presente introdução e do capítulo final de conclusões. Os três capítulos iniciais enquadram os helicópteros e respectivas infra-estruturas na história da aviação, apresentam-se de forma genérica as soluções de heliportos elevados construídas, analisa-se a legislação aplicável e aplicam-na para definição das condicionantes geométricas a respeitar na concepção e da solução. Nos dois capítulos seguintes apresenta-se o seu dimensionamento e o estudo do seu comportamento dinâmico.

O primeiro capítulo de introdução do trabalho inclui um enquadramento geral do tema, a definição do objectivo, a descrição da metodologia da estrutura do trabalho.

O segundo capítulo inicia-se com uma breve descrição histórica da evolução do helicóptero e o seu enquadramento na sociedade actual. Apresenta o conceito de heliporto realçando as diferenças dos vários tipos de infra-estruturas em função da sua utilização e localização. Descreve várias soluções estruturais conhecidas de heliportos elevados e finaliza com a caracterização sumária das suas partes constituintes.

O terceiro capítulo apresenta os condicionantes a ter em consideração no planeamento e concepção de um projecto de um heliporto. Referem-se os aspectos relativos à localização do heliporto, as condicionantes gerais de segurança, de limitação de ruído e de desobstrução aérea.

O quarto capítulo descreve e discute o enquadramento legal a considerar na concepção e utilização de heliportos, referindo-se às normas patenteadas pelas entidades reguladoras em Portugal. Tendo em conta que a regulamentação de base para assuntos aeronáuticos é publicada pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) em forma de anexos, referem-se igualmente as normas incluídas nos anexos ICAO aplicáveis a heliportos, nomeadamente o Anexo 14, Volume II e o *Heliport Manual*. Neste capítulo analisa-se por fim os requisitos particulares para conceber e operar heliportos elevados para missões de interesse público, nomeadamente no serviço de Emergência Médica, e discute o envolvimento do EH-101 neste tipo de operação.

O quinto capítulo apresenta duas estruturas possíveis para um heliporto a construir no topo dum edifício hospitalar em funcionamento. Faz-se assim o dimensionamento da zona de aterragem dum heliporto cuja aeronave de projecto é o EH-101 de acordo com a legislação ICAO em vigor (Solução 1) e as propostas de alteração da mesma (Solução 2), apresentando a análise e verificações estruturais para a Solução 2, ao nível do Estudo Prévio.

No sexto capítulo apresenta-se o comportamento dinâmico da estrutura durante a aterragem de um helicóptero, e avalia-se as soluções de isolamento da vibração transmitida à estrutura de

suporte. Apresenta-se, em primeiro lugar, os fundamentos básicos sobre vibração livre e forçada, e os efeitos resultantes do amortecimento. Discute-se em seguida os efeitos das vibrações transmitidas aos edifícios e os seus critérios de admissibilidade e de conforto. Caracteriza-se as vibrações induzidas por helicópteros e analisa-se o seu efeito para a estrutura dimensionada no quinto capítulo. Avalia-se, por fim, o interesse em colocar sistemas de amortecimento das vibrações transmitidas à estrutura de suporte do heliporto.

No Anexo A resume-se diversa informação da legislação e de catálogos de fornecedores consultada no presente trabalho, sob a forma de quadros e figuras. No Anexo B apresenta-se desenhos com dimensionamento das zonas de aterragem e dimensionamento geral e pormenores para caracterização da estrutura proposta.

2 Helicóptero e Heliporto

O Homem desde sempre teve a necessidade de transportar e de se fazer transportar de um sítio para outro. A curiosidade e o engenho impulsionaram o desenvolvimento de meios para chegar cada vez mais longe, surgindo os transportes.

A máquina a vapor, da revolução industrial, “acelerou” o mundo. Os veículos de tracção animal foram lenta, mas progressivamente, substituídos pelos veículos motorizados que permitem o alcance de paragens mais distantes e o transporte de mais carga de uma só vez.

Durante séculos só os pássaros governavam os céus, mas no ano de 1903, dois construtores de bicicletas apresentaram ao mundo a máquina que viria a revolucionar a forma de viajar, o avião.

É virtualmente possível fazer chegar a “Carta a Garcia” em qualquer parte do mundo, viajando por terra e/ou mar, no entanto, o avião permitiu fazê-lo de forma mais célere.

As grandes guerras foram os motores do desenvolvimento tecnológico em quase todas as áreas e a aeronáutica não foi excepção. O avião é o meio de transporte aéreo mais utilizado, contudo cedo houve a necessidade de desenvolver uma aeronave capaz de “pairar no ar” e de descolar e aterrar na vertical, o helicóptero.

Ao longo dos tempos as infra-estruturas de transporte foram sendo adaptadas aos novos veículos. Rasgaram-se paisagens com estradas e caminhos-de-ferro, construíram-se pontes e túneis para mais rapidamente atravessar obstáculos naturais. Para os navios que cruzam os vastos oceanos foram construídos portos que facilitam as operações de embarque e desembarque.

As instalações aeroportuárias são, regra geral, infra-estruturas com uma grande área de implantação, pois a operação dos aviões assim o obriga. Ao contrário dos aviões, os helicópteros precisam de áreas muito reduzidas para aterrar e descolar, sendo que estas manobras podem ser feitas praticamente na vertical.

2.1 Helicóptero

Poucas invenções mudaram tão rápida e drasticamente a aviação militar e de transporte geral como o helicóptero. Os helicópteros classificam-se como aeronaves a rotor (*rotorcraft*). São aeronaves de asa rotativa capazes de descolar e aterrar praticamente na vertical. Voam em qualquer direcção e permitem manter uma posição estacionária e controlada no ar. São usados para os mais variados trabalhos dos nossos dias, desde operações de busca e salvamento, até transporte de carga, tropas ou água para combate a incêndios.

As primeiras tentativas de desenvolver um helicóptero remontam aos dias de Leonardo da Vinci em 1486. Os desenhos e notas do “Parafuso Helicoidal” (Figura 1) são, possivelmente, os primeiros registos (ocidentais) duma máquina voadora capaz de se “puxar” no ar. Desde então por toda a Europa, inúmeros indivíduos idealizaram/conceberam máquinas precursoras do helicóptero. Grande parte destes projectos nunca passou do papel e aqueles que eram construídos, não passavam de brinquedos, pois não se dispunha de motores com potência suficiente para elevar no ar

mais do que o peso do aparelho. Além da dificuldade em dispor potência do motor, outro problema dos pioneiros no voo vertical consistia em encontrar a forma de controlar e estabilizar o helicóptero.

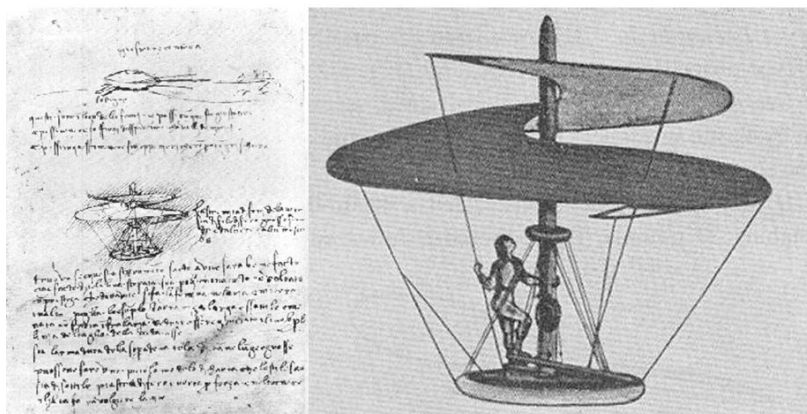


Figura 1: Parafuso helicoidal: a) Apontamentos Leonardo da Vinci; b) Ilustração gráfica
(a) www.flying-bike.demon.co.uk/helistuff/davinci.html; b) Gessow and Myers, 1952)

O engenheiro russo Igor Sikorsky construiu o seu primeiro helicóptero em 1909, seguido dum segundo protótipo em 1910. Nenhum dos aparelhos foi bem sucedido, pelo que este engenheiro interrompeu a suas pesquisas nesta área. Contudo, estes primeiros protótipos viriam mais tarde a ser aperfeiçoados por Sikorsky, utilizando os avanços alcançados no campo de aerodinâmica e dos materiais. Estes desenvolvimentos permitiram que, em 1939, Igor Sikorsky descolasse a bordo do seu primeiro helicóptero operacional, o VS-300 (Figura 2).



Figura 2: Sikorsky's VS-300, 1939 (McCormick, 1995)

O helicóptero foi colocado ao serviço das forças militares quase de imediato. A sua utilização durante a Segunda Guerra Mundial passou despercebida, mas a orografia e a selva da Coreia e do Vietname proporcionaram o surgimento do campo ideal de aplicação desta nova aeronave, importante em ambos os teatros de operação. Os desenvolvimentos tecnológicos entretanto alcançados nos helicópteros tornaram-nos em aeronaves importantes em muitos conflitos mais recentes, nomeadamente as duas guerras do Golfo.

Os militares concentraram-se em fazer dos helicópteros um elemento chave de manobra integral de apoio à guerra de infantaria. Durante a guerra do Vietname os helicópteros revolucionaram

a forma de combater. O exército dos E.U.A. criou as divisões de cavalaria aerotransportadas, equipadas com helicópteros, com missões de assalto, ataque, transporte, comando e controlo, busca e salvamento e evacuação médica.

As características específicas do helicóptero tais como velocidade, mobilidade e a capacidade de descolar e aterrar verticalmente que fizeram do helicóptero atractivo para uso militar despertaram também o seu interesse para usos civis.

A utilização dos helicópteros está amplamente generalizada nos nossos dias. São usados helicópteros para combater incêndios, transportar sinistrados, patrulhar terra e mar, operações de busca e salvamento, transporte geral, filmagens, fotografia aérea, entre outras.

2.2 Heliporto

Devido à capacidade de voo praticamente vertical, ao helicóptero é possível a aterragem e descolagem em qualquer local com um mínimo de espaço disponível. Embora um helicóptero possa usualmente aterrar em qualquer local plano, um heliporto preparado oferece uma superfície resistente, marcada e desobstruída de obstáculos onde um helicóptero pode aterrar em segurança. Um **heliporto** é uma área identificável em terra ou na água ou estrutura, incluindo edifícios, usadas ou para ser usadas para aterragem de helicópteros ^[4].

Para além de sua zona de aterragem/descolagem (*helipad*), um heliporto pode estar equipado, tal como um aeroporto, com controlo de tráfego aéreo, instalações de abastecimento, placas de estacionamento, hangares, entre outros. Contudo, grande parte dos heliportos existentes resume-se à zona de aterragem com as respectivas marcações, luzes e manga de vento.

A localização depende muitas vezes das necessidades de transporte específicas associadas a este meio de transporte sendo muitas vezes importante o encurtamento do tempo de viagem origem/destino. No caso dos hospitais o heliporto deve estar o mais próximo possível do serviço de urgências, podendo ser construído ao nível do solo ou elevado, optando-se muitas vezes pela cobertura do próprio edifício hospitalar ou estruturas especiais nas imediações do mesmo (Figura 3), como os silos de estacionamento, que são normalmente zonas desobstruídas de obstáculos além de permitirem a operação sem interferências ao nível do solo.



Figura 3: *Baptist Medical Center*, Filadélfia (EUA) (www.fecheliports.com/BapJack.html)

Outros exemplos de heliportos bem conhecidos consistem nos que se encontram em navios, plataformas petrolíferas ou edifícios importantes.

De facto as companhias que desenvolvem as suas actividades económicas no mar constroem heliportos a bordo de navios ou em plataformas petrolíferas, denominados por *helidecks* (Figura 4).



Figura 4: Helideck (www.offshore-technology.com)

Também é comum encontrar edifícios empresariais com heliportos na cobertura (heliporto elevado) que possibilitam deslocações mais rápidas e cómodas em cidades com tráfego urbano intenso. (Figura 5).

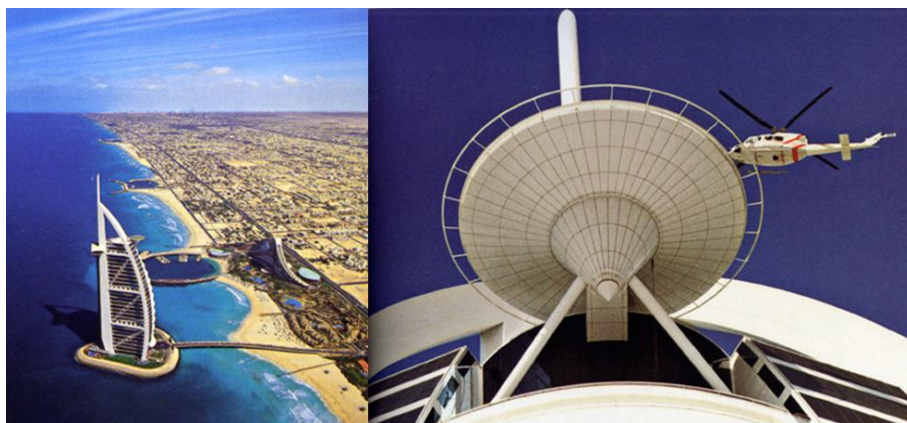


Figura 5: Hotel *Burj Al Arab*, 1999, Dubai (www.thecityreview.com/skyterra.html)

Existem igualmente exemplos de heliportos temporários, por exemplo para o combate a incêndios, construídos em clareiras aplanadas ou com estruturas de madeira. Há situações excepcionais de heliportos construídos no gelo, como é o caso do heliporto de *Siachen Glacier* na Índia, que constitui igualmente o heliporto mais elevado do mundo, localizado a 7000 metros de altitude. (Figura 6).



Figura 6: *Helipad de Siachen Glacier*, na Índia (en.wikipedia.org/wiki/Helipad)

2.3 Características dum Heliporto

Um heliporto é uma infra-estrutura destinada à aterragem e descolagem de helicópteros, cujas características dependem da finalidade da infra-estrutura, da aeronave de projecto e do tipo de operação. A área de aterragem é o elemento fundamental de qualquer aeródromo. A **área de aterragem** faz parte da **área de manobra**, que é a parte do aeródromo usada para a descolagem, aterragem e deslocação no solo das aeronaves relacionada com as manobras de aterragem e descolagem. Ao conjunto dos caminhos de circulação pode-se dar o nome de **área de circulação**.

A área de manobra, por sua vez, faz parte de uma área mais ampla, a chamada **área de movimento**. A área de movimento é a parte do aeródromo destinada ao movimento das aeronaves no solo, incluindo a área de manobra e as plataformas ou placas.^[8]

Ao conjunto da área de movimento de um aeródromo e dos seus terrenos adjacentes e dos edifícios, ou porções dos mesmos onde o acesso é controlado, dá-se o nome de **lado do ar** do aeródromo. O **lado de terra** será, conseqüentemente, a parte do aeródromo e seus edifícios cujo acesso não é controlado (Figura 7).^[8]

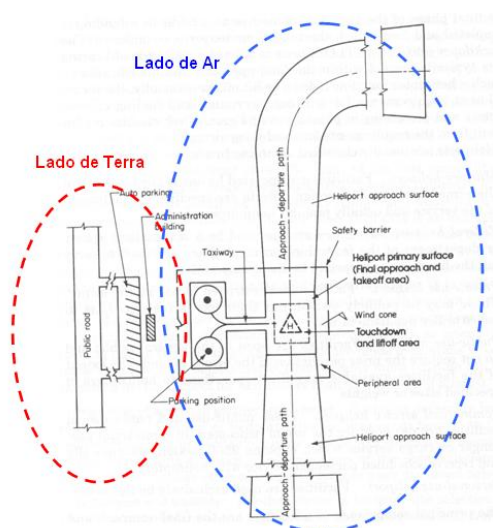


Figura 7: Configuração tipo dum heliporto (Adaptação de Horonjeff)

Na sua maioria, os heliportos são caracterizados unicamente pela sua zona de aterragem e zonas de desobstrução associadas à mesma. A *Final Approach and Takeoff area* (**FATO**) é a área definida para a fase final da aproximação. A *Touchdown and Liftoff area* (**TLOF**) é a área tipicamente localizada no interior da FATO, de superfície lisa e desempenada (superfície pavimentada) com capacidade resistente para suportar a aterragem, normal ou de emergência, e descolagem do helicóptero de projecto. A área de manobra da aeronave deve ser rodeada por uma *Área de Segurança* livre de quaisquer obstáculos (Figura 8).

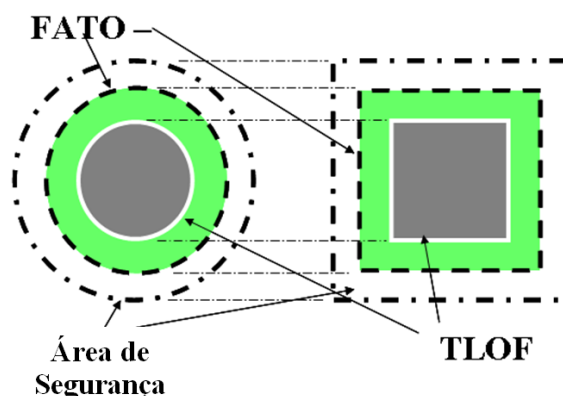


Figura 8: Áreas da zona de aterragem

Embora um helicóptero possa descolar e aterrar na vertical, este tipo de manobra é geralmente evitado por razões de segurança, de economia e de conforto. Na aterragem o procedimento usual consiste em realizar uma descida segundo uma ladeira com um determinado ângulo em relação à horizontal cujo vértice do triângulo é no centro da zona de aterragem, seguido por uma estabilização a sensivelmente um metro deste ponto e posterior aterragem na vertical. A descolagem tem uma fase inicial em que o helicóptero ascende na vertical passando para uma deslocação horizontal ou ascendente em aceleração progressiva até à velocidade óptima de subida. No caso dos helicópteros monomotores é necessário considerar uma zona desobstruída à frente do caminho de descolagem que permita uma aterragem de emergência em auto-rotação em caso de falha do motor.

O heliporto só é aceitável para uma operação segura quando completo com as ajudas visuais à superfície. A sinalização diurna, usualmente designada por pintura, é a principal ajuda à aterragem, e têm como primeira função identificar de forma inequívoca a instalação em causa como sendo para o uso de helicópteros. Num heliporto podemos encontrar outras ajudas complementares tais como a sinalização luminosa, indicadores da direcção do vento, entre outros, cuja complexidade depende essencialmente do tipo de operação para a qual foi concebido.

No caso de heliportos elevados as dimensões da FATO e da TLOF podem ser menores e a Área de Segurança suprimida, dependendo do regulamento em análise e da sua interpretação (Figura 9).

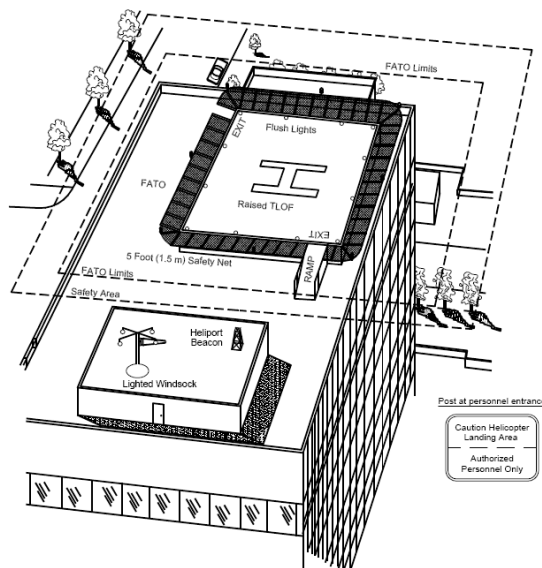


Figura 9: Esquema tipo dum heliporto elevado (FAA Heliport Design 2B)

Para garantir a segurança das manobras de aproximação e descolagem definem-se superfícies de desobstrução aérea em redor da zona de aterragem as quais não devem ser perfuradas por quaisquer obstáculos físicos fixos, a menos que os mesmos estejam devidamente assinalados e balizados (Figura 10).

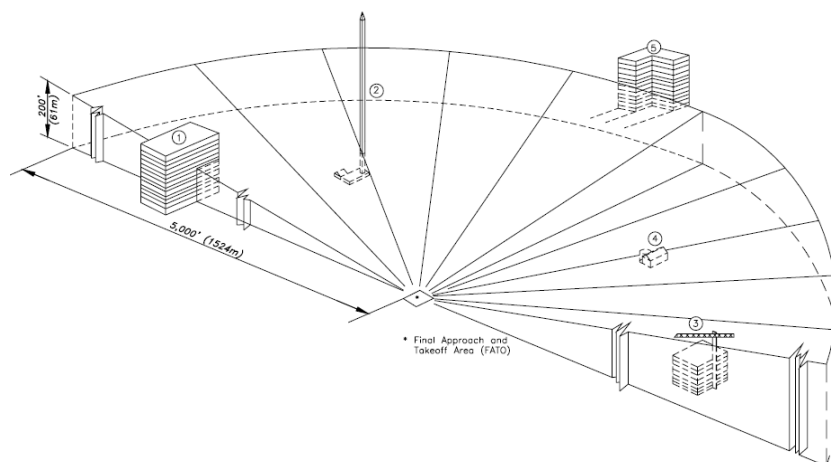


Figura 10: Esquema das zonas de desobstrução (FAA Heliport Design 2B)

2.4 Soluções Estruturais para Heliportos Elevados

No caso da superfície de aterragem estar assente directamente na laje de cobertura do edifício, todas as acções normais ou acidentais decorrentes da operação do heliporto são directamente transmitidas ao mesmo. Para minimizar os efeitos da operação do helicóptero sobre o edifício, os heliportos elevados são normalmente construídos sobre pilares acima da cobertura, afastando a plataforma de aterragem do resto do edifício.

Um heliporto na cobertura dum edifício é, regra geral, um acréscimo de peso significativo à estrutura de suporte contudo, em situações particulares, pode utilizar-se o heliporto para melhorar a resposta dinâmica da estrutura no caso da ocorrência de um sismo, como foi o caso do heliporto construído na cobertura do edifício *Hankyu Chayamachi* na Malásia que funciona simultaneamente como “*Mass-Dumper*” do edifício (Figura 11).

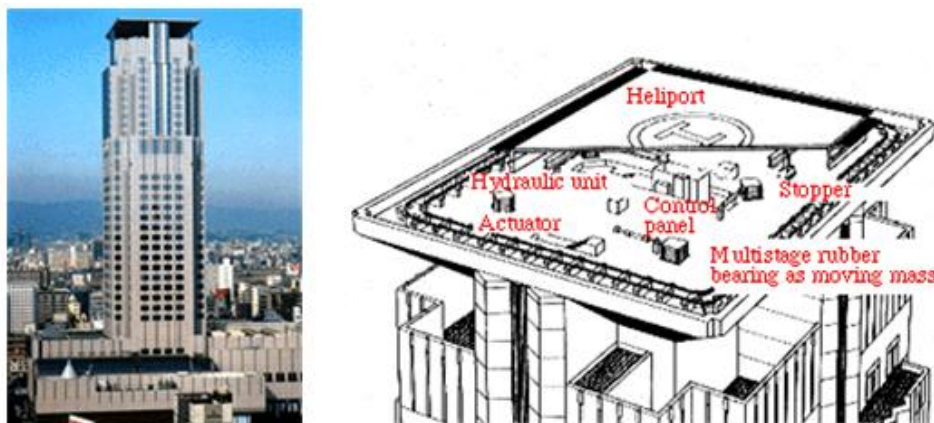


Figura 11: Hankyu Chayamachi Building com heliporto como “*Mass-Dumper*”
(Adaptado de KAREEN)

Na sua maioria, os heliportos elevados são construídos em aço e/ou em betão. Estes materiais são pesados o que torna, por vezes, necessário reforçar a estrutura dos edifícios de suporte, o que é tecnicamente delicado em edifícios mais antigos e representa sempre um aumento do custo. Para limitar o peso global transmitido à estrutura é por vezes utilizado na construção de heliportos o alumínio ou materiais compósitos.

2.4.1 Aço e Betão

Quando comparado com os restantes, o betão tem um custo inicial menor e maior duração sem necessidade de manutenção. Devido à sua baixa frequência natural oferece um bom isolamento às vibrações, é pouco deformável, não inflamável, fácil de reparar e permite tratar a camada de desgaste como necessário. Em contrapartida, é um material pesado, não é facilmente portátil e deve ser utilizado com cuidados especiais no caso de existência de temperaturas extremamente negativas.

A plataforma de aterragem dos heliportos elevados em edifícios é normalmente em betão armado, associado a uma estrutura de betão armado ou mista (aço/betão). O heliporto no hospital do Funchal (Figura 39) é um exemplo duma estrutura inteiramente em betão armado na cobertura dum silo de estacionamento automóvel. As soluções estruturais encontradas são em geral de pórticos com pilares, vigas e lajes de betão armado, utilizando-se o pré-esforço nas lajes e vigas nos casos, das soluções estruturais menos correntes, de serem adoptados vãos elevados. As plataformas podem ser constituídas por soluções em laje vigada ou laje fungiforme maciça.

Um heliporto de betão armado na cobertura dum edifício, devido à concentração significativa de massa pode requerer um reforço da estrutura do edifício para garantir bom comportamento às

acções sísmicas. Portanto em edifícios com maior número de pisos é mais usual encontrar heliportos de estrutura mista aço/betão como o representado na Figura 12, ou totalmente em aço, como o representado nas Figuras 3 e 5.

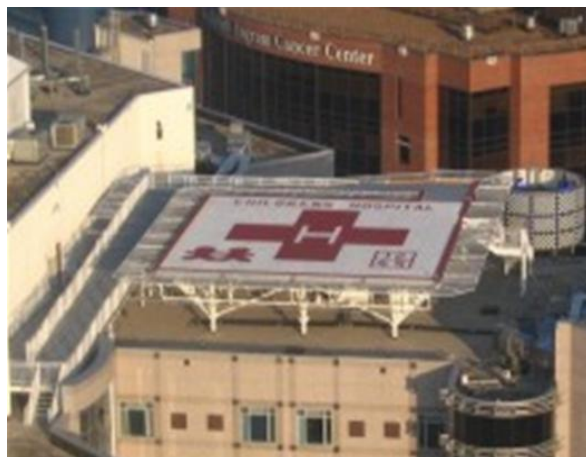


Figura 12: Heliporto em estrutura mista aço/betão (*Nashville Hospital*, TN, EUA)

A opção por uma estrutura metálica permite a construção de uma estrutura leve e muito resistente, o que é necessário no caso de heliportos no topo de edifícios muito altos. Trata-se naturalmente em Portugal de uma opção mais onerosa para a estrutura do heliporto, dado que em qualquer caso a plataforma de aterragem tem que possuir uma rigidez suficiente para permitir a aterragem do heliporto em segurança. Em geral estas estruturas metálicas são constituídas por perfis comerciais, vigas de alma cheia ou treliças. As vigas treliças são uma opção muitas vezes escolhida dado que possibilitam simultaneamente a concepção de uma plataforma leve e menos deformável que as restantes soluções totalmente metálicas. As lajes são quase sempre constituídas por uma quadrícula metálica, embora se possa encarar a possibilidade de utilizar igualmente uma solução em laje ortotrópica.

Para conseguir em simultâneo uma estrutura mais leve que uma solução totalmente em betão, e menos onerosa que uma solução totalmente metálica, e com uma plataforma suficiente rígida para permitir a operação em segurança, é possível a opção por uma estrutura mista com uma estrutura constituída por vigas e pilares em aço e uma laje de plataforma em betão armado, que se caracteriza mais a frente neste trabalho.

2.4.2 Alumínio

O alumínio é um material leve, facilmente transportável para instalação e adaptável a sistemas de degelo, resistente à água e virtualmente não necessita de qualquer manutenção. Visto se tratarem de estruturas modelares podem ser facilmente desmontadas e relocalizadas. Contudo, termicamente mais expansível que o betão, proporciona menor amortecimento às vibrações e pode derreter quando exposto a combustível em chamas.

As estruturas em alumínio são vulgarmente utilizadas nas plataformas petrolíferas devido à sua elevada durabilidade em ambientes agressivos. O novo edifício da *Telekom Malaysia* em Kuala

Lumpur possui um heliporto no 62º andar com uma estrutura em alumínio, caracterizada por uma consola de 22 m (Figura 13).



Figura 13: Edifício Telekom Malaysia (Kuala Lumpur)

2.4.3 Materiais compósitos

Os materiais compósitos são leves e isoladores. Os compósitos usados em estruturas são resistentes ao fogo e ao calor, requerem pouca manutenção, mesmo em ambientes corrosivos ou com grandes amplitudes térmicas são fáceis de montar. No entanto, actualmente o custo destes materiais é ainda muito elevado, existem poucos fornecedores no mercado e não se conhece bem a evolução das suas propriedades ao longo do tempo.

O primeiro heliporto composto por materiais compósitos foi instalado na cobertura dum hospital nos EUA (Figura 14) em 2004. A plataforma é composta por painéis de espuma *isocyanurate* reforçada com fibra de vidro e resina. Uma das preocupações de projecto foi conceber uma estrutura leve. Recorreram a materiais compósitos em detrimento do alumínio devido à sua resistência ao fogo. Está prevista a operação do heliporto por militares, cujas agências advertem para a possibilidade de incêndio de *Jet Fuel* em caso de acidente, perante o qual o alumínio pode derreter.



**Figura 14: Construção do heliporto em material compósito
(Cooper Hospital, Camden, EUA)**

3 Planeamento dum Heliporto

No início da utilização civil dos helicópteros, os impulsionadores deste meio de transporte esperavam que os heliportos se generalizassem mas, em áreas urbanas, devido ao ruído desagradável produzido pelo tráfego de helicópteros, tal não se verificou. As preocupações crescentes com o conforto das populações, devido a condicionamentos de produção de ruído, limitaram a construção dos heliportos em meio urbano. O licenciamento de um novo heliporto requer sempre a aprovação de estudos que comprovem o cumprimento do valor limite de ruído.

No entanto, os heliportos são vulgares em hospitais, possibilitando a evacuação e transporte rápido de feridos e doentes graves. Devido ao elevado custo de aquisição dos terrenos e à grande densidade de edifícios que tipicamente envolve os hospitais em meio urbano, o local de escolha preferencial para a implantação de heliportos são as coberturas dos edifícios. Este tipo de solução, representada na Figura 15 apresenta a grande vantagem de elevar a superfície de aterragem em relação aos obstáculos envolventes o que simplifica a definição e implantação das superfícies de desobstrução, e não condiciona a manutenção das actividades à superfície no caso de descolagens ou aterragens de um helicóptero.



Figura 15: *Vanderbilt University Medical Center* (www.fecheliports.com/vandy.html)

Ao iniciar os estudos para a construção de um heliporto deve fazer-se o levantamento de todas as condicionantes, dando particular atenção à localização, à protecção das superfícies de aproximação durante a sua vida útil, aos requisitos de operação e de manutenção e às características específicas do ou dos helicópteros que venham a operar a infra-estrutura. Quando os heliportos se inserem no meio urbano acresce-lhe o estudo do ruído inerente à sua operação, nomeadamente quando se prevê o sobrevoo de zonas sensíveis, tais como zonas residenciais, escolares ou hospitais.

3.1 Definição geral dos requisitos do heliporto

O dimensionamento do heliporto depende de muitos factores, como é apresentado mais adiante neste trabalho. Os principais requisitos de uma infra-estrutura deste tipo são definidos com base em:

- Âmbito de utilização: transporte particular, serviço de emergência médica, ou outras;
- Definição dos elementos do heliporto: zona de aterragem e outras infra-estruturas necessárias (placas de estacionamento, terminal de passageiros, acessos, entre outras);
- Listagem das aeronaves que se prevê venha operar na infra-estrutura;
- Definição do tipo de operação: Diurna e/ou Nocturna; VFR ou IFR (de precisão ou não).

3.2 Escolha da sua localização

Qualquer instalação aeroportuária afecta sempre uma grande área à sua volta, que facilmente ultrapassa os limites físicos das suas instalações. Portanto, sempre que se planeia um heliporto devem garantir-se as suas necessidades, assim analisam-se todas as implicações no meio envolvente duma infra-estrutura deste tipo, pelo que é de vital importância que o mesmo seja analisado numa perspectiva o mais abrangente possível.

A escolha do local de implantação do heliporto resulta normalmente dum compromisso dos seguintes factores gerais, podendo-se acrescentar outros particulares, específicos de cada projecto ^[4]:

- Escolher o melhor local para servir o potencial tráfego;
- Garantir a mínima obstrução aérea das áreas de aproximação;
- Garantir a mínima perturbação devido ao ruído produzido pela operação;
- Garantir a inter-modalidade;
- Garantir a solução de menor custo de construção e manutenção/exploração;
- Garantir no mínimo dois caminhos de aproximação;
- Evitar conflitos de tráfego entre helicópteros e outro tráfego aéreo;
- Considerar a possibilidade de turbulência e restrições de visibilidade em zonas edificadas;
- Garantir todos os requisitos de segurança impostos pelos regulamentos.

No estudo de heliportos para hospitais, devem associar-se a estes factores gerais, factores específicos relacionados com a utilização que se prevê sejam de serviço urgente. Neste caso devem considerar-se os seguintes critérios para a sua localização ^[28]:

- Estar o mais próximo possível do serviço de urgências, com acesso directo, para minimizar a distância a transportar;
- Evitar obstáculos à operação segura do helicóptero em qualquer circunstância;
- Garantir o menor impacto produzido pelo ruído na área circundante, bastante sensível.

Tendo em conta estes aspectos a possibilidade de construção do heliporto exterior ao perímetro hospitalar deve, sempre que possível, ser evitada, pois neste caso torna-se necessário um transporte complementar até às urgências, o que aumenta o tempo de transporte e os riscos inerentes.

Em hospitais centrais, por estarem normalmente inseridos em meios urbanos a implantação dos heliportos na cobertura revela-se, normalmente, como a melhor opção. Desta forma, devido à cota mais elevada do heliporto, é mais fácil evitar os obstáculos, presentes ou futuros, nas aproximações; minimizar os efeitos nefastos do ruído; e evitar que o local seja inadvertidamente usado para outros fins impedindo a própria utilização do mesmo, minimizar as distâncias de transporte dos doentes e permitir a operação do heliporto sem condicionamentos importantes à superfície.

3.3 Requisitos de segurança

Segundo o departamento de transporte da Califórnia as principais preocupações associadas à utilização dos heliportos são ^[10]:

- Segurança – na perspectiva de minimizar o risco de acidentes com aeronaves;
- Ruído – produzido na operação de helicópteros;
- Protecção do Espaço Aéreo – conseguido por limitação da altura de estruturas e outros objectos na vizinhança do heliporto e restrições de outras utilizações que ponham em causa a segurança de voo;
- Sobrevoos – o impacto de voos de rotina sobre as povoações.

As questões de segurança são normalmente consideradas como as mais difíceis de avaliar. Isto acontece porque as preocupações com a segurança são baseadas em acontecimentos incertos que podem ocorrer, em detrimento de situações que se planeia venham a acontecer. A operação de helicópteros a partir de heliportos, seguindo todas as normas e regulamentos de segurança, é segura, no entanto, os acidentes podem acontecer. Deste modo, embora os acidentes aéreos sejam muito pouco frequentes, é necessário desenvolver mecanismos e medidas de prevenção e de resposta no caso da sua ocorrência ^[28].

Actualmente os helicópteros são cada vez mais seguros, principalmente os plurimotores. No entanto, os acidentes de aviação não se devem unicamente a problemas técnicos, como é o caso das falhas catastróficas de componentes essenciais da aeronave. O voo nocturno, sob condições climatéricas adversas ou com tripulações cansadas potencia os acidentes. Portanto, para além de todos as infra-estruturas de apoio essenciais a uma operação segura é essencial desenvolver toda uma filosofia de segurança. Para isso é de vital importância a boa manutenção das aeronaves e infra-estruturas, garantir que todos os membros envolvidos na operação com os helicópteros, quer em terra quer no ar, dominam perfeitamente a sua função e que estão em condição físicas e psicológicas para as desempenhar; criar procedimentos de operação específicos que a todo o tempo possam ser devidamente consultados e actualizados, por todos.

3.4 Limitações do ruído

O ruído produzido pela operação de helicópteros em áreas urbanas é, e continuará a ser, um factor a ter em consideração no planeamento de transporte por helicóptero, como tem sido com os aviões. Os construtores estão conscientes deste problema, pelo que redobram esforços para desenvolver sistemas que possibilitem a minimização do ruído produzido pelos seus aparelhos.

O heliporto deve estar devidamente enquadrado para que o ruído produzido cause os menores distúrbios possíveis na envolvente. O factor ruído é mais crítico sob as superfícies de aproximação e descolagem. A intensidade do ruído que pode ser tolerada por uma pessoa normalmente depende de vários factores, tais como o nível de ruído emitido pela fonte em estudo, a sua frequência e duração. Por outro lado, a tolerância também está relacionada com a envolvente à fonte do ruído, o tipo de edificações na área e ao nível de ruído do meio.

É usual considerar os níveis de som que são comuns na vizinhança do proposto heliporto. Por exemplo, o nível máximo de som dum veículo ligeiro de passageiros a circular numa estrada local a 50 km/h é 60 a 70 decibéis (dB). Nas mesmas condições o nível máximo de ruído produzido por um autocarro ou camião pode estar entre 80 e 95 dB ^[28]. É com estes níveis de ruído habituais que o ruído produzido pelo helicóptero deve ser comparado.

Um helicóptero pode ultrapassar os 100 dB de ruído, contudo o seu efeito pode ser minimizado com um estudo cuidadoso das zonas que o helicóptero pode sobrevoar dentro dos meios urbanos (Tabela 1).

Tabela 1: Níveis médios de ruído

Helicóptero	130 dB	Martelo Pneumático
	120 dB	Sirene de Ambulância
	110 dB	
	100 dB	
	90 dB	Camião a 60km/h
	85 dB	
	80 dB	Tráfego numa cidade
	75 dB	Aspirador / Restaurante Cheio de Gente
	70 dB	
	67 dB	Passagem de Automóvel a 75km/h
	60 dB	Conversa a 1 metro
	50 dB	Média no interior de casa
	45 dB	
	40 dB	Divisão silenciosa
	30 dB	

Observa-se deste modo que a nível de ruído produzido por um helicóptero não difere muito do que se regista todos os dias num meio urbano, o que permite a sua operação em situações de emergência, como o é o caso da aterragem / decolagem num heliporto hospitalar.

Algumas preocupações particulares devem contudo ser tidas relativas às superfícies de aproximação que, sempre que possível, devem ser orientadas para que as aterragens e decolagens sejam realizadas sobre áreas em que o ruído seja menos prejudicial.

A fase final do voo é em geral a mais crítica, contudo em todo o trajecto da aeronave de e para o heliporto deve evitar-se sobrevoar zonas residenciais, hospitais ou escolas. Considerando um heliporto numa área urbana, os caminhos de aproximação devem ser estudados de forma a que o helicóptero circule por cima de rios ou vias principais, onde o ruído é menos notado. Adicionalmente, segundo imposição da ICAO, são necessários no mínimo dois caminhos de aproximação/descolagem que devem estar orientados segundo os ventos predominantes.

Num centro urbano até chegar ao local de aterragem deve evitar-se sobrevoar zonas sensíveis. Portanto, dever-se-á privilegiar a localização das superfícies de aproximação/descolagem sobre outros corredores de vias de comunicação já existentes, onde o ruído já é um factor importante e onde o impacto da operação de uma aeronave é mais facilmente tolerado. A Figura 16 apresenta os corredores que os helicópteros de Emergência Médica podem percorrer desde os pontos de entrada na cidade até ao heliporto do hospital, e vice-versa.

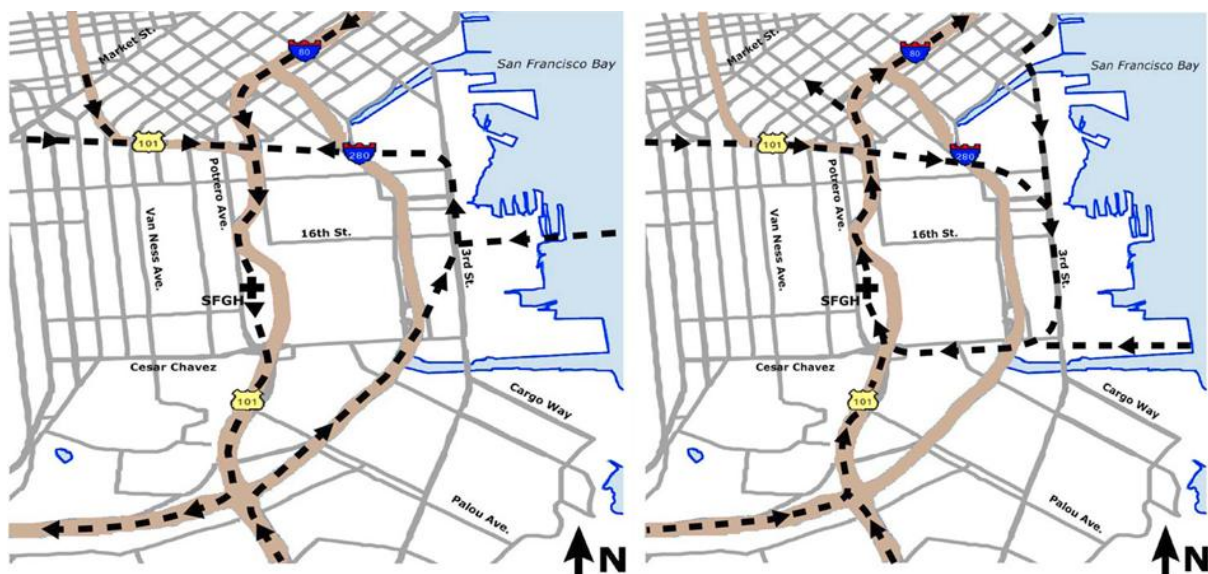


Figura 16: Caminhos de aproximação ao *San Francisco General Hospital* (GERSON)

4 Enquadramento Legal

No projecto de um heliporto é necessário ter em consideração um conjunto de normas específicas. Neste capítulo pretende-se apresentar de forma resumida estes requisitos constantes destas normas, nomeadamente os elementos que caracterizam a zona de aterragem e a sua operação conveniente, em condições visuais de voo (VFR).

A legislação internacional que regula a operação das aeronaves a rotor está a ser objecto de uma revisão, pelo que, na medida do possível, se apresenta um paralelismo entre as normas actuais e as que se prevê venham a ser adoptadas após a revisão.

4.1 Entidades Reguladoras

O *Instituto Nacional de Aviação Civil* (INAC) é o organismo regulador da aeronáutica civil em Portugal. O INAC exerce também as competências de Autoridade Aeronáutica Nacional e de Registo Aeronáutico Nacional. Nestes termos, compete ao INAC definir os requisitos e pressupostos técnicos dos quais depende a concessão de licenças, certificações e autorizações no âmbito da aviação civil. Compete igualmente a este organismo implementar em Portugal as normas e recomendações de normalização técnica estabelecidas pelos organismos internacionais do sector da aviação civil. Os organismos internacionais a que Portugal pertence, e deve subscrever as recomendações, são a *Joint Aviation Authorities* (JAA) e a *International Civil Aviation Organization* (ICAO).

O Decreto-Lei n.º 186/2007 de 10 de Maio estabelece as condições de construção, certificação e exploração dos aeródromos civis nacionais bem como os requisitos operacionais, administrativos, de segurança e de facilitação a aplicar nessas infra-estruturas. No entanto, este decreto-lei não se aplica aos heliportos utilizados exclusivamente para emergência médica; às pistas e heliportos utilizados exclusivamente por meios aéreos de combate a incêndios ou outros fins de protecção civil; aos aeródromos militares, entre outros.

As *Joint Aviation Authorities* (JAA) são organismos dos estados europeus que representam as autoridades reguladoras dos vários estados. Nos termos do Acordo de Chipre, de 1990, a JAA é responsável pela produção de *Joint Aviation Requirements* (JARs) que procurar uniformizar um conjunto de regras comuns a todos os Estados membros, facilitando a cooperação e igualdade de procedimentos nos mesmos. O inconveniente nestas normas é não serem obrigatórias, requerendo uma adesão voluntária, o que proporciona diferentes níveis de aplicação das normas nos diversos estados membros da JAA.^[44]

A Convenção sobre Aviação Civil Internacional (conhecida por Convenção de Chicago) foi assinada em 7 de Dezembro de 1944 e entrou em vigor em 4 de Abril de 1947. Pouco mais de um ano mais tarde, em 28 de Abril de 1948, Portugal ratificou a Convenção de Chicago. A *International Civil Aviation Organisation* (ICAO) tem como objectivo a definição comum de princípios e acordos que permitam a evolução de aviação civil internacional de forma segura e regulamentada, bem como o estabelecimento de serviços relacionados com o transporte aéreo internacional numa base de igualdade de oportunidade e de acordo com princípios económicos. Nos termos de artigo 37º da

Convenção de Chicago, a ICAO adoptou normas internacionais e práticas recomendadas no âmbito da aviação civil internacional, designados como Anexos à Convenção, tendo sido elaborados 18 Anexos que regulam a aviação civil presentemente a aviação civil.

Relativamente às infra-estruturas aeronáuticas militares, ou quando se prevê a sua utilização por aeronaves militares, a Força Aérea Portuguesa (FAP) deve intervir no seu desenvolvimento. A operação das aeronaves militares é caracterizada por *Minimal Military Requirements* (MMR), o que, comparado com as normas civis, impõe menores exigências de conforto, uma operação com padrões mais elevados das tripulações e a necessidade de operação em condições mais adversas. Existem ainda normas NATO e normas Nacionais que devem ser cumpridas.

Por último, deve referir-se também que a *Federal Aviation Administration* (FAA) dos Estados Unidos da América (EUA) é um organismo regulador da legislação aeronáutica em território Americano. Devido à sua vasta experiência na operação de helicópteros, a FAA e outras entidades estatais ou governamentais Americanas têm publicado diversos diplomas, documentos e estudos sobre aeronáutica, em particular sobre heliportos, que têm sido seguidos por outros países. Embora Portugal não tenha obrigação de se regular por estas normas, eles têm sido muitas vezes utilizadas como consulta e complemento das normas em vigor em Portugal.

4.2 Legislação aplicável

O dimensionamento de um heliporto em território nacional deve seguir as normas preconizadas pelo INAC e consequentemente pela ICAO, como previsto pelo Decreto-Lei n.º 186/2007 de 10 de Maio.

O INAC emite sempre que necessário Circulares de Informação Aeronáutica (CIA) com as quais regulam a aeronáutica civil em Portugal. Para o dimensionamento de uma infra-estrutura aeroportuária destinada à operação de helicópteros destacam-se as seguintes circulares de informação:

- CIA 08/90 – Critérios básicos para a aprovação e certificação de heliportos. Aprovação do projecto;
- CIA 10/03 – Limitações e altura e balizagem de obstáculos artificiais à navegação aérea.

A ICAO regula o dimensionamento de heliportos com base nos seguintes documentos:

- ICAO – Anexo 14 – Volume II – *Heliports* (Anexo 14);
- ICAO – *Heliport Manual*;

os quais remetem no seu texto para outros anexos ICAO, dos quais se destacam:

- ICAO – Anexo 6 – Parte III – *International Operations – Helicopters*;
- ICAO – Anexo 14 – Volume I – *Aerodrome Design and Operations*.

No caso dum heliporto elevado, executado utilizando uma estrutura, para além dos regulamentos aeronáuticos é necessário que sejam cumpridos os regulamentos para dimensionamento da estrutura, nomeadamente:

- Os Eurocódigos estruturais;

- O Regulamento de Segurança e Acções (RSA) – Decreto-Lei nº 235/1983;
- O Regulamento Geral do Ruído – Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro.

As infra-estruturas militares devem ser concebidas segundo os critérios NATO, organismo do qual Portugal é membro, publicados essencialmente nos documentos seguintes:

- *NATO Criteria*;
- *Standard NATO Agreements (STANAG)*.

O Comando Operacional da Força Aérea (COFA) é a entidade responsável pela publicação das normas de operação das aeronaves militares, em Portugal. No presente estudo utiliza-se também a Norma de Execução Permanente (NEP):

- NEP/OPS-045 – “Operação de Helicópteros em Missões de Interesse Público”.

Nesta área os EUA têm publicado extensa bibliografia sobre normas e regulamentos sobre heliportos. São de destacar os seguintes diplomas:

- *US Federal Aviation Administration (FAA) – Heliport Design Advisory*;
- *Victorian Department of Human Service – Capital Development Guidelines – 6.7 Air Ambulance Helipads*;
- *US Federal Aviation Administration (FAA) – Structural Design Guidelines for Heliports*.

Na Europa têm sido publicados documentos na área específica dos “*Helidecks*”, onde é possível obter a caracterização da acção do helicóptero sobre o heliporto, bem como o comportamento de estruturas metálicas utilizadas para este fim. São de destacar os seguintes documentos:

- *Offshore Technology Report 2001/072 – Helideck Structural Requirements*;
- *CAP 437 Offshore Helicopter Landing Areas – Guidance and Standards*.

Por fim, é de referir que vários países possuem regulamentos próprios que regulam a concepção e manutenção das suas infra-estruturas aeronáuticas. Em geral, estes regulamentos correspondem a adaptações dos regulamentos ICAO que, no entanto, facilitam a concepção das estruturas nos seus países.

Do que ficou exposto, torna-se claro que, também em Portugal, se torna útil a produção de regulamentação aeronáutica específica para o dimensionamento e operação de heliportos civis, naturalmente baseados nas normas internacionais em vigor.

Tendo em consideração que as principais normas, aplicadas em Portugal, para o dimensionamento de infra-estruturas aeroportuárias são emitidas pela ICAO, apresenta-se em seguida de forma breve os seus principais aspectos, em particular os contidos nos Anexos 6 e 14.

4.3 ICAO – Anexo 6 Parte III – Helicopters

O Anexo 6 Parte III – *Helicopters* do regulamento ICAO regula as operações aéreas. As definições e limitações impostas por este regulamento influenciam directamente a forma de dimensionar uma estrutura aeroportuária, apresentada no Anexo 14, do mesmo regulamento.

4.3.1 Classes de helicópteros

O Anexo 14 caracteriza os heliportos em função da classe de performance dos helicópteros que se prevê venham a operar nos mesmos. De acordo com o Anexo 6 os helicópteros dividem-se em três classes de performance: PC1, PC2 e PC3. A classificação de performance dos helicópteros é feita em função da capacidade de continuar o voo, durante a fase da decolagem e em caso de falha de um motor. De uma forma simples, a classe PC1 representa os helicópteros que em caso da falha de uma unidade de potência têm capacidade de aterrar na *Rejected Take-Off Area* ou prosseguir o voo até uma área de aterragem apropriada. No outro extremo, os helicópteros da classe PC3, nos quais se incluem todos os helicópteros monomotores, em caso de falha da unidade de potência têm de proceder a uma aterragem forçada. A classe PC2 é uma classe intermédia de performance entre as duas anteriormente referidas (Figura 17).

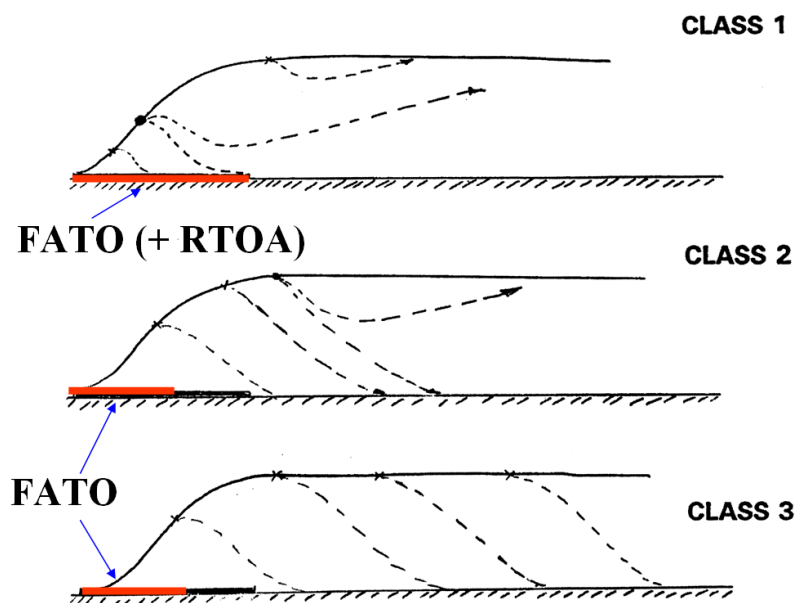


Figura 17: Classes de performance dos helicópteros (LEVERTON – Workshop)

4.4 ICAO – Anexo 14 Vol II & Heliport Manual

As normas e práticas recomendadas para aeródromos foram inicialmente apresentadas em 29 de Maio de 1951 com a publicação do Anexo 14. O documento, hoje conhecido por Anexo 14 volume I refere-se ao planeamento, concepção e operação de aeródromos, mas não é especificamente direccionado para os heliportos.

O volume II do anexo 14 foi publicado no início dos anos 90 do século passado, contendo as normas e recomendações especialmente direccionadas para os heliportos. No entanto, muitos heliportos foram construídos entretanto, seguindo outros regulamentos. Como a utilização do transporte por helicóptero é eminentemente local, quando comparada com o avião, muitos destes regulamentos / recomendações ainda hoje são aplicados no projecto de novas estruturas.

Mais recentemente a FAA publicou o regulamento *Heliport Design Advisory* (FAA AC-2B), de 30 de Setembro de 2004. Este documento tem sido utilizado nos EUA como norma para todos os heliportos que sejam construídos com fundos federais e é igualmente adoptado em obras privadas de diversos países. As diferenças encontradas entre o ICAO – Anexo 14 e a FAA AC-2B são diversas. A principal diferença, da qual decorrem todas as outras, é que enquanto os regulamentos da ICAO são baseados na “Performance Operacional” (definidos no Anexo 6), classificando os heliportos em função do tipo de aeronave que este irá operar, os requisitos da FAA são baseados no tipo de uso do heliporto (Aviação em Geral, Hospital, Transporte).

A grande particularidade do regulamento Americano resulta do facto da caracterização dos heliportos ser em função da sua utilização, portanto estão associado à capacidade de operação dos mesmos pelas tripulações e dos riscos associados. Em contraponto, o regulamento da ICAO não faz qualquer distinção a este nível.

Tem-se constatado ao longo dos anos que os requisitos para o dimensionamento de um heliporto são muito variados em todo o mundo. A ICAO tem, por isso, vindo a trabalhar, através do *Heliport Design Working Group* (HDWG) subdividido em vários subgrupos, para rever e actualizar o seu Anexo 14, Volume II. Estes trabalhos foram iniciados em 2004, tendo já sido acordadas várias alterações na reunião da *ICAO Aerodrome Panel* (AP), de Dezembro de 2006.

No HDWG estão representados: EUA, Reino Unido, Canada, Alemanha, França, Noruega e Austrália; em conjunto com outras instituições com declarado interesse no transporte por Helicóptero, como é o caso da *International Federation of Helicopter Associations* (IFHA) da qual Portugal é membro.

A experiência adquirida desde a primeira publicação do Anexo 14, Volume II, em 1990, e as recentes propostas de alteração do Anexo 6 – Operation of Aircraft Part III – Helicopters foram as motivações para a ICAO repensar as normas e recomendações para heliportos. Tendo em consideração o número de países intervenientes neste projecto prevê-se que o novo Anexo 14 seja desenvolvido de forma a unificar normas e procedimentos em todo o mundo, estando planeada a sua publicação em 2008.

Em termos práticos as alterações já acordadas pelo AP, em Dezembro de 2006, irão tornar as dimensões da área de aterragem (FATO, TLOF e Área de Segurança) mais compatíveis com os requisitos da FAA, que são, em geral, menores do que as preconizadas pelo actual Anexo 14, Volume II. Os trabalhos estão também a contemplar a revisão das normas de ajudas à navegação, nomeadamente iluminação e pinturas (marcações). Tanto quanto se sabe, não foram desenvolvidos até à data trabalhos nos aspectos de dimensionamento estrutural dos heliportos, no entanto, deve referir-se que estes aspectos não estão actualmente contemplados no Anexo 14, mas sim no *Heliport Manual* da ICAO.

4.4.1 Características dimensionais dum heliporto

O dimensionamento de um heliporto depende essencialmente das dimensões e da classe de performance do maior helicóptero, de entre aqueles que se prevê venham a utilizar o heliporto, que se designa por helicóptero crítico ou de projecto.

Os requisitos básicos definidos no Anexo 14 são definidos em termos de TLOF (*Touchdown and Liftoff Area*), FATO (*Final Approach and Takeoff Area*) e a Área de Segurança (*Safety Area*) que envolvem a FATO. As dimensões da TLOF e da FATO são definidas em termos de uma área dentro da qual pode ser desenhado um círculo com um diâmetro específico. A Área de Segurança consiste numa faixa de largura constante que envolve a FATO.^[15]

A Superfície Resistente a Cargas Dinâmicas (*Dynamic Load Bearing Surface*), refere-se à superfície capaz de suportar cargas dinâmicas de impacto criadas durante uma aterragem de emergência. Estas cargas são definidas no *Heliport Manual* e consideram-se aplicadas em dois pontos de impacto, isto é, em duas das rodas do trem principal ou em duas áreas de carga, cada uma na parte anterior dos *skids*. A distância entre estes dois pontos depende da categoria de carga a que o helicóptero pertence, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Categorias dos helicópteros (Adaptado *Heliport Manual*)

Categoria do helicóptero	Peso máximo à descolagem		Distância entre rodas do trem
	(kg)	(kN)	(m)
1	Até 2 300	Até 22.6	1.75
2	2 301 – 5 000	33.6 – 49.2	2.0
3	5 001 – 9 000	49.2 – 88.5	2.5
4	9 001 – 13 500	88.5 – 133.0	3.0
5	13 501 – 19 500	133.0 – 192.0	3.5
6	19 501 – 27 000	192.0 – 266.0	4.5

A Superfície Resistente a Cargas Estáticas (*Static Load Bearing Surface*) refere-se à superfície capaz de suportar a carga estática do helicóptero. Embora não seja formalmente definido no *Heliport Manual*, considera-se o Peso Máximo à Descolagem do helicóptero distribuído por todos os pontos de contacto. Contudo, é conservativo assumir que a mesma carga é somente aplicada nos mesmos dois pontos de contacto considerados no caso da carga dinâmica.

4.4.2 Dimensionamento da zona de aterragem/descolagem

Para o dimensionamento da zona de aterragem / descolagem são consideradas essencialmente as seguintes dimensões do helicóptero crítico representadas pela Figura 18: o

diâmetro do rotor principal (RD – *Rotot Diameter*); o comprimento total do helicóptero (D) e o espalho do trem de aterragem (UC – *Undercariage*). Contudo o HDWG define todas as dimensões, sempre que possível, em função de D, tendo em conta que se verifica ser $RD = 0.83 D$ uma boa aproximação para a maioria dos helicópteros.

De referir que a aeronave crítica de projecto é sempre a mais condicionante para cada parâmetro em análise, podendo não ser sempre a mesma. Também deve observar-se que as dimensões especificadas pelo Anexo 14 e associadas ao *Heliport Manual*, são valores mínimos. Assim, alguns autores referem que se deve aumentar o valor de D em 10%, ou se possível mais, para ter em consideração o eventual crescimento em tamanho e peso dos helicópteros no futuro.^[34]

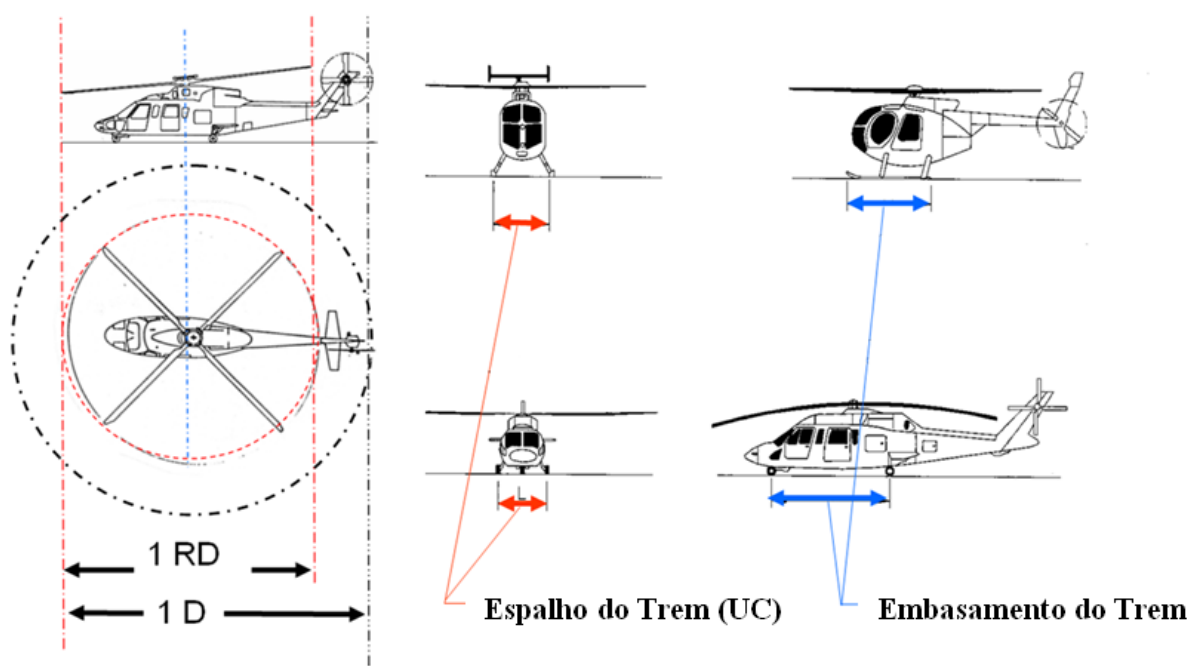


Figura 18: Dimensões do helicóptero para o dimensionamento das Áreas de Aterragem (helicóptero com *skids* e helicóptero com trem convencional)

Em resumo, para caracterizar convenientemente um heliporto é necessário dimensionar a FATO, TLOF e a Área de Segurança, cujas dimensões dependem essencialmente do helicóptero mais condicionante a operar na infra-estrutura, bem como da localização e do tipo de operação da mesma.

Relativamente às alterações que se prevê venham a ser introduzidas no Anexo 14, deve referir-se que estas diferentes dimensões da zona de aterragem, assim como as suas características resistentes, foram objecto de um alargado debate nas reuniões do HDWG. Observando as propostas de revisão das dimensões das diferentes áreas da zona de aterragem verifica-se que, no global, a FATO ficou mais pequena, e que a área de pavimento resistente às cargas dinâmicas foi bastante reduzida, dado que a FATO deixa de ser área com pavimento de resistência total.

4.4.2.1 FATO

A *Final Approach and Take-Off area* (FATO) é a área sobre a qual termina a manobra de aproximação, procedendo-se posteriormente à manobra de aterragem sobre a TLOF, que pode ou não estar localizada no interior da FATO.

Segundo o Anexo 14 em vigor, a FATO deve ser dimensionada de forma a ser possível desenhar no seu interior um círculo com diâmetro 50% superior à maior dimensão do helicóptero condicionante (1.5D). No caso de serem consideradas aeronaves de classe PC1, esta dimensão deve ser comparada com a prevista no manual do helicóptero, caso exista, e deve ser considerada a maior das duas.

Para qualquer uma das versões do Anexo 14 em análise, a FATO define-se de forma diferente consoante se considere helicópteros da classe PC1 ou das classes PC2/PC3:

Classe PC1 – A FATO deve ser definida de acordo com o Manual de Voo do Helicóptero (MVH). Na ausência desta especificação deve ser considerado no mínimo 1D, segundo as propostas do HDWG, com características resistentes a cargas dinâmicas. O Anexo 6 prevê que, caso o helicóptero consiga voo estacionário fora de efeito de solo com um motor inoperativo, a FATO pode ser inferior ao previsto no MVH. Assim, poder-se-á considerar uma FATO com um mínimo de 0.84 D, em casos de excepção sujeitos a uma análise de risco (Figura 19).

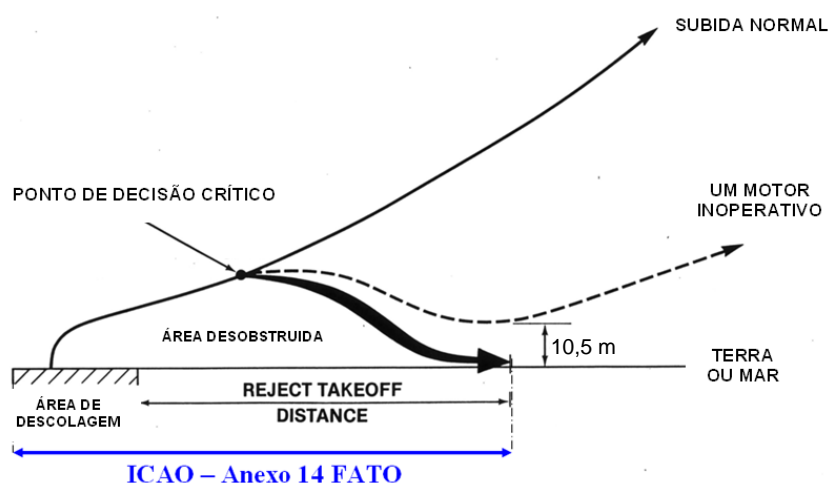


Figura 19: FATO para PC1 em heliportos de superfície (LEVERTON – Workshop)

Classes PC2/PC3 – São diversas as razões que mostram que o valor actualmente utilizado de 1.5 D é uma dimensão excessiva para a FATO preconizada para os helicópteros das classes PC2 e PC3. As normas Americanas só requerem uma área de resistência total (resistente a cargas dinâmicas) de 1 D para heliportos elevados, quando a área de segurança envolvente não necessita de o ser. No caso dos heliportos hospitalares esta área pode ainda ser reduzida para 1 RD, ou seja, 0.83 D. Também no caso específico dos *Helidecks* é corrente utilizar-se 1 D para definir a FATO, o que têm provado ser suficiente. Portanto, as revisões propostas pelo HDWG conduzam à redução da dimensão da FATO para 1 D, no caso de heliportos para helicópteros de classes PC2/PC3. Também é de esperar que neste caso a FATO seja definida de modo a garantir resistência a carregamento estático e não a um carregamento dinâmico.

4.4.2.2 TLOF

A *Touchdown and Lift-off Area* (TLOF) é a área resistente a cargas dinâmicas de onde o helicóptero deve aterrar e descolar.

Ao contrário do preconizado pela FAA, em que a TLOF tem de ser interior à FATO rodeada por uma área de segurança, o Anexo 14 prevê que a TLOF seja interior ou exterior à FATO, embora a situação mais comum seja a TLOF estar centrada na FATO. Em condições de táxi aéreo é sempre requerido TLOF, mesmo que seja numa placa de estacionamento.

O grande objectivo do HDWG foi clarificar quando é que se considera a TLOF exterior à FATO. A dimensão mínima de projecto é 1.5 vezes o espalho do trem de aterragem (1.5 UC) do maior helicóptero, mas o HDWG propõe um aumento desta dimensão para o diâmetro do rotor principal ($1RD = 0.83 D$).

4.4.2.3 Área de Segurança

O actual Anexo 14 estipula que o tamanho da Área de Segurança à volta da FATO para heliportos certificados só para condições de voo visual seja o maior de entre os dois valores: $0.25 D$ ou 3 m . Também recomenda que esta superfície circundante à FATO seja capaz de suportar o helicóptero mais condicionante sem que este se danifique. Esta condicionante pode ser interpretada de várias formas e, no caso extremo, pode até entender-se que a Área de Segurança deve ter as mesmas características que a FATO. Como consequência desta interpretação a área com capacidade resistente mínima num heliporto é de $2 D$ ($1.5 D$ para a FATO acrescido de $2 \times 0.25 D$ do anel da Área de Segurança).

O requisito para que a Área de Segurança tenha capacidade resistente foi considerado por muitos observadores como ilógico, pois segundo estes, a Área de Segurança deve servir para prevenir que o rotor atinja qualquer objecto e não para suportar fisicamente o helicóptero. De facto, se o trem de aterragem estiver fora da FATO, mas ainda dentro da Área de Segurança, o rotor pode já estar fora da Área de Segurança e portanto não estar protegido.

A Área de Segurança também foi objecto de revisão nas propostas do HDWG. Considerando que na generalidade dos casos a FATO decresceu de $1.5 D$ para $1.0 D$, foi decidido aumentar a Área de Segurança para $0.5 D$. A principal razão para este facto resulta de se verificar em diversas situações que, mesmo com o trem do helicóptero dentro da FATO, a área de protecção de $0.25 D$ se revelar insuficiente, como se ilustra na Figura 20.

No caso de helicópteros da classe PC1 a FATO é definida no Manual de Voo do helicóptero, variando tipicamente entre $1.1 D$ e $2.6 D$. Nestes casos, estabeleceu-se que a Área de Segurança tenha um mínimo de $0.25 D$, mas que em caso algum a área total da 'FATO + Área de Segurança' seja inferior a $2 D$.^[24]

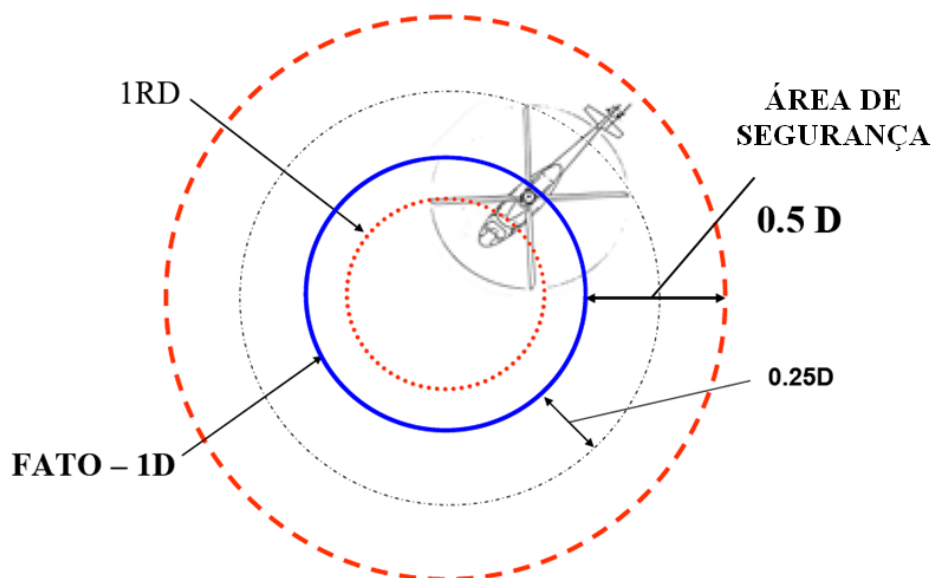


Figura 20: Área de Segurança – 0.5 D (Leverton, The Changes)

4.4.2.4 Situação específica de heliportos elevados

Segundo a legislação ICAO os helicópteros da classe PC3 não podem operar neste tipo de infra-estruturas, pelo que a sua operação é restrita às classes PC1 e PC2.

À parte de algumas considerações de pormenor, o dimensionamento da zona de aterragem dum heliporto elevado é igual ao caso geral (heliporto de superfície), com a excepção de a FATO e a TLOF serem neste caso coincidentes.

Excluindo o caso em que, para helicópteros da classe PC1, o Manual de Voo do helicóptero limita a dimensão da FATO, com as alterações que se esperam do Anexo 14, as estruturas dos heliportos elevados serão reduzidas de uma dimensão mínima de 2 D, em que 1.5 D têm características resistente ao carregamento dinâmico (resistência total), para 1 D. Espera-se portanto que as estruturas se tornem substancialmente mais pequenas e conseqüentemente menos onerosas.

4.4.3 Síntese das alterações propostas ao Anexo 14

As Figuras 21 e 22 sintetizam as diferenças entre os requisitos preconizados pela actual versão do Anexo 14, volume II da ICAO e as propostas apresentadas pelo HDWG. Com as novas especificações esperam-se infra-estruturas substancialmente mais pequenas do que as actuais, com destaque para a redução significativa da superfície com características de resistência às cargas dinâmicas (resistência total).

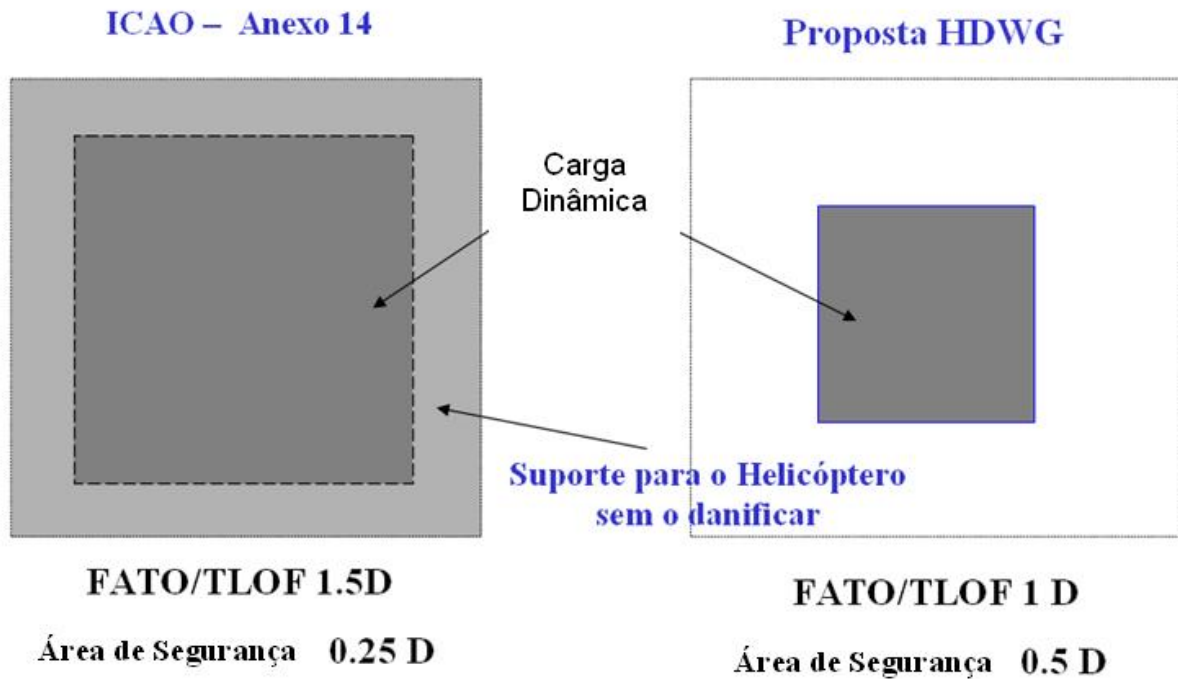


Figura 21: Dimensões da zona de aterragem para PC2 em heliportos elevados

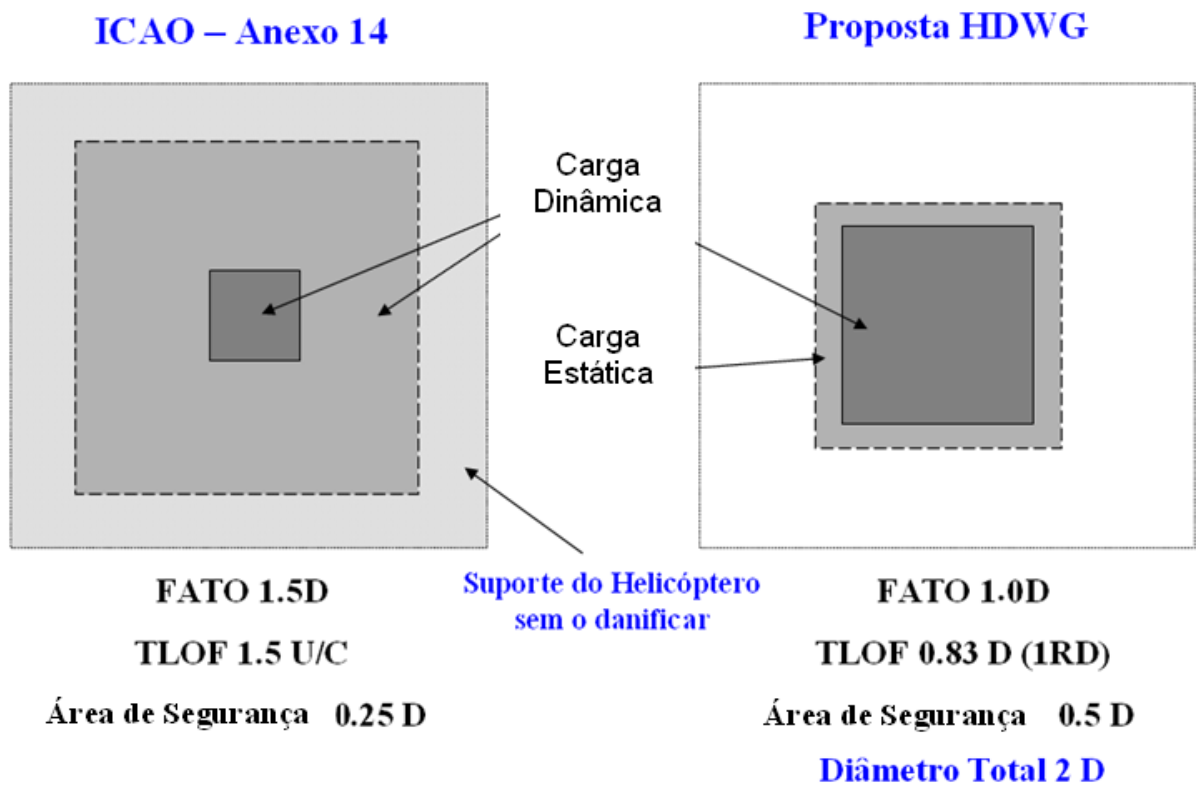


Figura 22: Dimensões da zona de aterragem para PC2 em heliportos de superfície

4.4.4 Superfícies de aproximação / desobstrução

O objectivo das especificações das Restrições a Obstáculos são definir o espaço aéreo à volta do heliporto de forma a este estar livre de obstáculos e permitir que a operação de helicópteros a partir do heliporto seja segura e evitar que o mesmo se torne prematuramente inutilizável pelo crescimento de obstáculos à sua volta. Isto é conseguido estabelecendo uma série de superfícies de desobstrução de obstáculos que definem o limite até onde os novos objectos podem crescer no espaço (Figura 23).^[14]

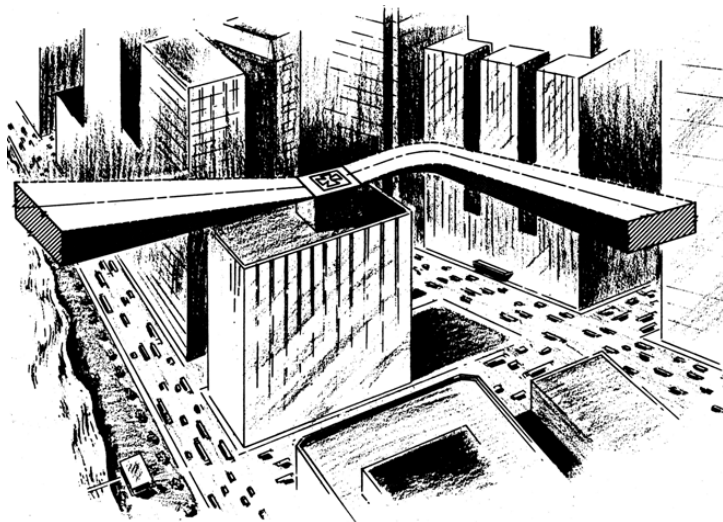


Figura 23: Ilustração de superfícies de aproximação curvas (LEVERTON – Workshop)

Para garantir as condições de segurança da operação do helicóptero durante a aproximação à FATO e a sua subida depois da descolagem estabelece-se uma superfície de aproximação e uma superfície de descolagem, as quais não podem ser intersectadas por qualquer obstáculo permanente. Caso um heliporto seja constituído por uma única FATO, como são geralmente os heliportos elevados, são requeridas no mínimo duas superfícies de aproximação. As dimensões mínimas destas superfícies são função das características do helicóptero, nomeadamente a classe de performance, e do tipo de aproximação pretendida, isto é, aproximação em condições de voo visual (VMC) ou em condições de voo por instrumentos (IMC), de precisão ou de não precisão. No Anexo A são apresentados esquemas de superfícies de aproximação tipo.

Existem inúmeras razões para que o piloto seja obrigado a abortar uma aproximação e posteriormente voltar a tentar aterrar. Em condições de voo visual uma aproximação falhada não deve levantar grandes problemas pois o piloto pode ver para evitar qualquer obstáculo e retomar o “caminho de voo”. Contudo em condições de voo IMC é menos provável que o piloto seja capaz de ver os obstáculos e uma aproximação falhada poderia tornar-se uma manobra arriscada. Assim, para segurança do helicóptero que pode ser impelido a sair do caminho normal quando falha uma aproximação, é estabelecida uma superfície de transição à volta do heliporto que não é obrigatória em condições de voo visual.

A envolver estas superfícies são consideradas outras duas superfícies circulares. A superfície horizontal interior (*inner horizontal surface*) que só é requerida em alguns casos e se destina a permitir algumas manobras necessárias durante aproximações por instrumentos. Sobre esta zona surge a superfície cónica a qual garante uma transição segura entre o espaço aéreo envolvente ao heliporto e o restante espaço aéreo. No Anexo A podem observar-se todas estas zonas, como definido no *Heliport Manual*.

A definição de todas estas superfícies é complexa e, segundo alguns observadores do HDWG, demasiado conservadora tendo em consideração essencialmente as características dos helicópteros emergentes. É previsível que no decurso dos trabalhos do HDWG se simplifique o traçado das superfícies de desobstrução e, à semelhança do que já acontece nos EUA e Canadá, estas se tornem menos restritivas.

4.4.5 Ajudas visuais à navegação

As ajudas à navegação necessárias para a operação conveniente e segura dum helicóptero dependem essencialmente do tipo de aproximação permitida. A principal referência para a aterragem de qualquer aeronave, em condições de voo visuais, é o próprio local de aterragem. Portanto, é de esperar que uma caracterização conveniente da zona de aterragem e uma manga de vento, permitam a aterragem em segurança.

As marcas e luzes descritas no Anexo 14 foram desenvolvidas essencialmente para suportar aproximações segundo as regras de voo visual (VFR). Um heliporto destinado a operar de dia em boas condições de visibilidade apenas necessita das marcas (pinturas). Por outro lado, se o heliporto permitir a utilização nocturna ou em condições de visibilidade restrita é necessária a sua iluminação. Quanto às operações segundo as regras de voo por instrumentos (IFR), para além da obrigatoriedade destas duas últimas, outras ajudas à navegação, cuja complexidade aumenta com os requisitos da operação, serão necessárias.

4.4.5.1 Indicador da direcção do vento

O vento influencia de forma bastante significativa a trajectória dos objectos que voam. Na fase final do voo, durante a aproximação de aterragem, é crucial que o piloto saiba a direcção e intensidade do vento de forma a proceder às correcções da atitude do helicóptero necessárias para que a trajectória seja a pretendida e aterre em segurança no local apropriado para o efeito. Num aeródromo controlado esta informação é fornecida ao piloto, contudo, visto as variações do vento poderem ser repentinas, os pilotos contam ainda com a informação visual transmitida pela “manga de vento” para os auxiliar nesta fase crítica do voo.

Deve existir em todos os heliportos pelo menos um indicador de vento normalizado. Este indicador deve estar situado num local que permita a visibilidade a partir de todas as direcções, no solo e no ar, e que não esteja afectado por turbulência, devendo ser iluminado durante a noite. O indicador de vento destinado a heliportos elevados deve ter metade do tamanho dum indicador convencional (Figura 24).



Figura 24: Manga de vento

4.4.5.2 Sinalização diurna – “Pinturas”

Um heliporto é, regra geral, identificado por um “H” de cor branca envolto pelo “*Aiming Circle*” amarelo, constituindo as principais referências à aterragem diurna. As excepções são os heliportos em hospitais onde as marcas consistem numa letra “H” vermelha envolta por uma cruz branca. Estas referências são orientadas segundo o sentido de aproximação pré-definido.

A FATO, limite exterior da zona de aterragem, é marcada por uma linha descontínua. No caso dos heliportos elevados esta linha não existe, pois a FATO é coincidente com a TLOF. A TLOF é limitada por uma linha contínua branca com 30 cm de espessura.

No caso dos heliportos elevados é normal encontrar pintado na superfície de aterragem a capacidade resistente da estrutura, o nome do heliporto e a marca que limita a secção do espaço livre de obstáculos (Figura 25).

4.4.5.3 Luzes / Iluminação

Em condições de visibilidade reduzida a única forma de identificar um heliporto é através de luzes. De acordo com as normas da ICAO a área de aterragem deve ser delineada com luzes brancas ou amarelas de modo que fique excluída qualquer área não utilizável pelos helicópteros. No caso dos heliportos elevados o HDWG recomenda que as luzes de perímetro da FATO/TLOF sejam mudadas de amarelo para verde. É recomendado identificar o “*Aiming Circle*” com luzes amarelas e o “H” a verde (Figura 25). O heliporto é identificado por um “*Beacon*”, que emite um sinal luminoso intermitente com características específicas. Quando apropriado pode utilizar-se luzes complementares à navegação e de ajuda à aproximação e aterragem.

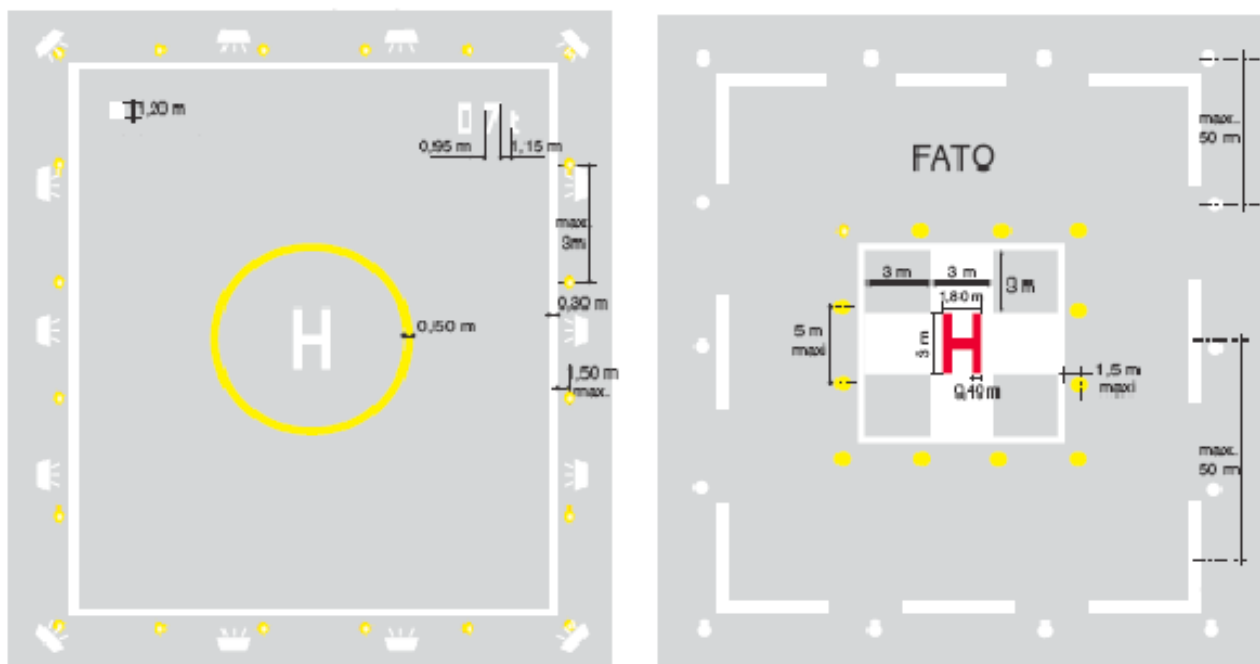


Figura 25: Esquema de pintura e luzes: a)Heliporto elevado;
b)Heliporto de superfície num Hospital (Adaptado da Legislação Francesa)

4.4.5.4 Balizagem de obstáculos

Todos os obstáculos que perfurem as superfícies de desobstrução ou outros que, embora não incluídos nestes, pela sua posição possam constituir perigo à navegação devem ser identificados com pinturas e / ou luzes adequadas para que se destaquem da envolvente. As normas para este efeito são referenciadas no Anexo 14, Volume II, da ICAO, estas remetem para o volume I do mesmo anexo. Na Figura 26 é apresentado um exemplo da balizagem de postes de alta-tensão onde se destacam as pinturas e a sinalização luminosa para orientação nocturna.



Figura 26: Exemplo de balizagem de obstáculos

4.4.6 Sistemas de segurança

O Anexo 14, volume II, possui um capítulo dedicado aos requisitos para combate a incêndios e salvamento que, em conjunto com o preconizado pelo *Heliport Manual*, complementam as especificações expressas no Anexo 14, volume I referente a aeródromos.

Os heliportos são classificados em três categorias no que se refere ao combate a incêndio, as quais dependem do comprimento total da maior aeronave que irá operar. Em função desta categoria e do local de implantação do heliporto (ao nível do solo ou elevado) são feitas recomendações sobre o equipamento necessário para uma resposta pronta e eficiente em caso de ocorrência de um incidente, bem como se recomenda coordenação com as autoridades competentes nestes casos.

Nos heliportos elevados é recomendado o uso de redes de proteção a envolver a zona de aterragem como meio de prevenção para o caso de ocorrência de quedas de pessoas ou bens (Figura 27). Na Figura 28 pode observar-se um tipo da rede de segurança que envolve a plataforma do heliporto elevado. Da mesma figura destaca-se a necessidade da redundância de acessos, com a existência de dois acessos à plataforma, em que um é usado em situações regulares e o outro em caso de urgência.



Figura 27: Rede de Segurança (Vanderbilt University Medical Center)

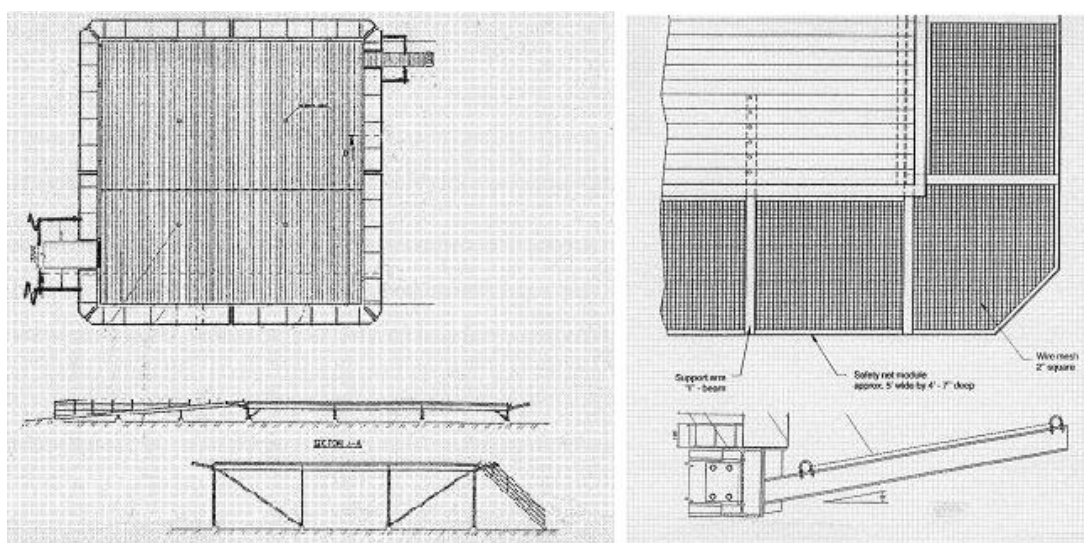


Figura 28: Esquema de rede de segurança e acessos ao heliporto
(Project Development and Concept Design Report)

A Figura 29 ilustra um sistema de recolha de águas da plataforma que deve ser independente. Recomenda-se que este sistema esteja equipado com filtro de separação de hidrocarbonetos como meio de prevenção de incêndios e para evitar a contaminação com carburantes do sistema de águas residuais do prédio.^[37]



Figura 29: Sistema de recolha de águas residuais (Adaptado da Legislação Francesa)

Todas as infra-estruturas aeroportuárias devem estar equipadas com meios adequados de combate a incêndios. Os heliportos elevados em particular, visto serem, regra geral, locais de difícil acesso, devem ser equipados com sistemas de socorro autónomos e se possível automáticos.

A operação de arranque de uma aeronave é normalmente acompanhada por um mecânico no exterior da aeronave equipado com um extintor, como o representado na Figura 30



Figura 30: Extintores portáteis (Vanderbilt Children's Hospital)

Em função da categoria de incêndio em causa (Anexo A), deve ser dimensionado um sistema adequado de protecção que pode utilizar água ou espuma para combater as chamas. Os sistemas mais vulgares são compostos por um conjunto de canhões de águas disposto á volta do heliporto como o que se pode ver na Figura 31.



Figura 31: Canhão de Espuma (*Vanderbilt Children's Hospital*)

Em projectos mais recentes têm sido adoptados sistemas integrados na superfície de aterragem (Figura 32), compostos por uma série de dispersores espalhados na superfície de aterragem.



Figura 32: Sistema integrado de combate a incêndios (*Astech® Aluminium Helideck*)

4.5 Heliportos de Interesse Público

Consideram-se heliportos de interesse público todos os que são utilizados por meios aéreos de auxílio às populações em situações de crise, como sejam combate a incêndios ou serviço de emergência médica. Em Portugal não existe legislação específica para regular a construção e operação destas infra-estruturas em particular. Neste capítulo pretende analisar-se os documentos que regulam a operação dos heliportos em hospitais e a capacidade que a Força Aérea Portuguesa (FAP) tem de operar os mesmos, em condições de assumido interesse público, como sugere a NEP/OPS-045.

4.5.1 Análise da legislação

A única referência específica relativa a heliportos em Hospitais no Anexo 14, volume II refere-se à sinalização diurna (pinturas), que se caracteriza por ter uma cruz branca e envolver o “H” de heliporto. O dimensionamento da infra-estrutura não será diferente de qualquer outro heliporto.

Os requisitos Europeus sobre a operação de helicópteros estão incorporados na JAR-OPS 3, da JAA. Os requisitos preconizados pela JAA têm em consideração aspectos de performance dos helicópteros e os requisitos operacionais efectivos associados à missão, incluindo o que é conhecido por operações HEMS (*Helicopter Emergency Medical Service*). Inicialmente o requisito da JAA para a operação dos heliportos hospitalares era que fosse limitada a helicópteros da classe PC1. Como resposta às preocupações de vários países da JAA, foram introduzidos requisitos para *Public Interest Sites*, onde se incluem os heliportos hospitalares. Estes regulamentos prevêm que no caso de manifesto interesse público, se considere a minimização das restrições na operação em hospitais. Foi reconhecido pela JAA que em alguns locais é de todo impossível, ou proibitivo em termo de custos, fazer uma interpretação rigorosa dos Anexos 6 e 14 da ICAO. Estabeleceu-se portanto, após debate intenso, que os locais existentes podem continuar em operação com a aprovação das autoridades do estado que devem garantir que os heliportos reúnem as necessárias condições de segurança para permitir a operação de aeronaves de classe PC2.

Nos EUA, não há limitação de performance específica (classe) para a operação em heliportos hospitalares, há sim limitação da condição de voo, em que os helicópteros monomotor (PC3) não podem operar em condições de voo por instrumentos (IFR).

Em Portugal e segundo a legislação em vigor, o Serviço de Helicóptero de Emergência Médica pode ser realizado por helicópteros PC 1 e PC 2 com limitações impostas pela JAR-OPS 3. Como estas infra-estruturas saem do âmbito de aplicação do DL 186/2007 de 10 de Maio, estas são alvo de apreciação especial por parte do INAC que permite a utilização do heliporto para esta finalidade específica, mas não a certifica. Prevê-se que os novos projectos de heliportos em hospitais venham a ser limitados à operação de helicópteros de classe PC 1.

4.5.2 EH-101 e os Heliportos nos Hospitais de Portugal

“Para garantir a Busca e Salvamento em todo o espaço de responsabilidade nacional, bem como o apoio às populações, foi definida a atribuição das aeronaves [EH-101 “Merlin”] à Esquadra 751, colocada na Base Aérea nº6, Montijo, (...) e guarnecer sob a forma de destacamentos os arquipélagos da Madeira e dos Açores.

(...) O resultado da actividade pode ser resumido em 1978 horas em 2006, execução de 31 missões SAR e de 142 evacuações terrestre e marítimas, para um total de 180 doentes e náufragos salvos e transportados.” ^[35]



Figura 33: Esquadra 751 em missão de salvamento ao largo da costa Portuguesa (www.enfa.pt)

A esquadra 751 além das missões de Busca e Salvamento realiza missões de Evacuação Médicas, as quais são da responsabilidade da FAP nos arquipélagos da Madeira e Açores, cujo destino dos transportados é, regra geral, um hospital.

Considere-se o exemplo em que um sinistrado é aerotransportado de EH-101 de emergência para o Hospital Central de Lisboa (Hospital Santa Maria). Neste caso, o doente não é entregue directamente aos cuidados dos médicos assistentes, pois este hospital não está equipado com infra-estruturas onde se possa aterrar. Assim, o helicóptero tem de aterrar no Aeroporto de Lisboa, onde o doente é transferido para uma ambulância que o transportará até ao hospital. Como se pode ver na fotografia aérea de Lisboa (Figura 34), o aeroporto de Lisboa e o hospital de Santa Maria distam alguns quilómetros entre si, e as estradas que os ligam estão normalmente condicionadas pelo trânsito que se faz sentir a todas as horas do dia. Esta solução não é a ideal, o que se aconselha a construção dum heliporto no qual se possa operar com o EH-101 num hospital central de Lisboa.

Observando FAA – *Heliport Design Advisory* verifica-se que todos os heliportos do Serviço de Emergência Médica construídos nos EUA são dimensionados de forma a comportar o helicóptero militar mais condicionante cuja missão implique o transporte de doentes. Todos os heliportos em hospitais foram ou estão a ser alvo de aprovação para a operação do EH-101, por isso é aconselhável que para o planeamento de novas infra-estruturas seja considerada a possibilidade de operação desta aeronave, ainda que com algumas limitações.



Figura 34: Vista aérea de Lisboa (adaptado "Google")

O Instituto Nacional de Emergência Médica (INEM) é a entidade nacional responsável pelo socorro médico de emergência. Em 1997 foi formado o Serviço de Helicópteros de Emergência Médica, para melhorar a capacidade de socorro em território nacional. Presentemente este serviço tem ao seu dispor uma frota de variadas aeronaves (Figura 35) que estão estacionadas em pontos estratégicos do país.



Figura 35: Helicópteros do INEM (Augusta A109 e Bell 412) (www.inem.min-saude.pt)

O maior helicóptero ao serviço do INEM é o Bell 412 cujas dimensões são apresentadas na Figura 36. Na Tabela 3 resumem-se as características relevantes desta aeronave para o dimensionamento dum heliporto, e comparam-se as mesmas com as características do EH-101.

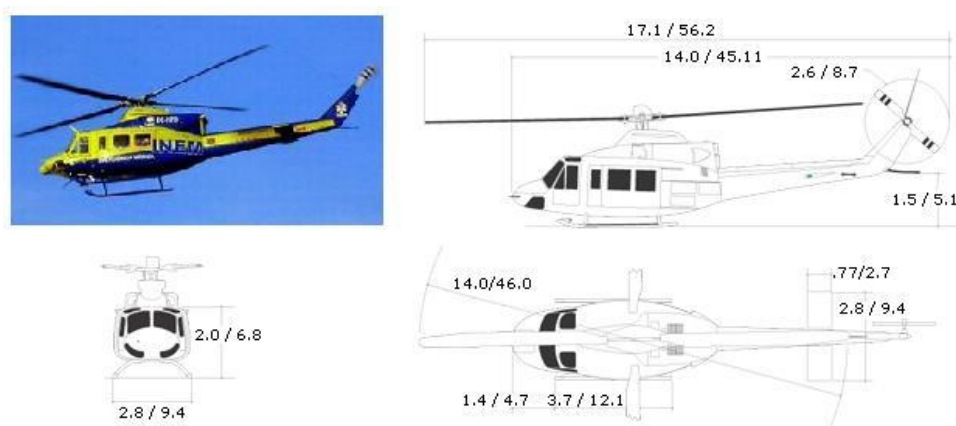


Figura 36: Dimensões do Bell 412 [m/ft]

Tabela 3: Comparação das dimensões do EH-101 com Bell 412
(dados de www.augustaweastland.com)

	EH-101	Bell 412
Maior dimensão do helicóptero (D)	22.8 m	17.1 m
Dimensão trem (U/C)	4.5 m	3.7 m
Peso máximo à decolagem (L_H)	15 600 kg	5 398 kg
Peso de operação típica	6 000 kg	2 484 kg

A comparação das especificações do maior helicóptero ao serviço do INEM com o EH-101 torna-se evidente que as dimensões e pesos dum heliporto projectado só para operar aeronaves de emergência médica civis são consideravelmente inferiores que as necessárias para certificar a operação do EH-101. A experiência demonstra no entanto que, a esquadra 751 consegue operar o EH-101 em segurança em zonas de aterragem com dimensões inferiores às estipuladas pelos regulamentos, em determinadas condições de voo, pelo que a reduzida dimensão da zona de aterragem dos heliportos em hospitais, não tem representado uma limitação importante. Contudo, o peso de operação normal do EH-101 é consideravelmente superior ao peso máximo à decolagem do Bell 412, o que naturalmente condiciona o dimensionamento do pavimento da zona de aterragem, e pode limitar a operação do helicóptero da FAP em estruturas não dimensionadas para este nível de carga.

Em face do que ficou exposto é desejável que Portugal regule a concepção, o dimensionamento e a operação dos heliportos destinados ao Serviço de Emergência Médica e, ao fazê-lo, clarifique as situações e condições de utilização dos helicópteros militares para este fim.

5 Caso de Estudo – Heliporto Elevado num Hospital

No presente capítulo apresenta-se o estudo, a nível dum estudo prévio, de soluções estruturais para um heliporto elevado com capacidade para o novo helicóptero de Busca e Salvamento da Força Aérea Portuguesa o EH-101 “Merlin”, a ser construído no topo de um edifício hospitalar. Ao nível nacional, o EH-101 é o helicóptero mais condicionante para o dimensionamento da zona de aterragem dum heliporto, sempre que a sua operação seja prevista.

Da análise de diversos projectos da especialidade consultados verificou-se que a maioria dos edifícios hospitalares em Portugal tem uma estrutura em betão armado com uma malha reticulada de pilares com espaçamento entre 7 e 8 m. Considera-se assim que o heliporto se apoia numa estrutura de betão armado com uma grelha regular de pilares e vigas afastados de 7.5 m.

5.1 Condicionamentos do Projecto

O EH-101 é um helicóptero com três motores, que em caso da falha de um motor durante qualquer fase do voo da descolagem o helicóptero tem capacidade para prosseguir o voo até uma zona de aterragem apropriada e, portanto, pertence à classe PC1.

Em anexo apresentam-se as principais características do EH-101, com comprimento total (D) de 22.8 m (Figura 37) e uma carga máxima à descolagem de 15 600 kg, o que condiciona o dimensionamento de um heliporto que possibilite a sua operação sem quaisquer restrições.

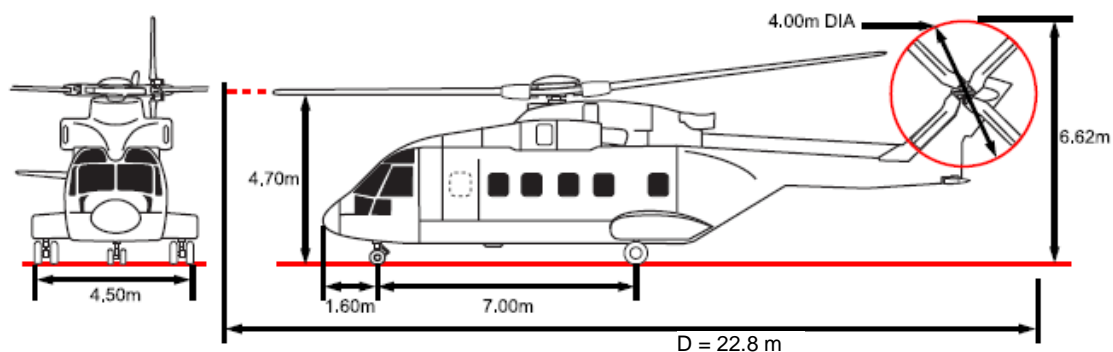


Figura 37: Dimensões do EH-101 “Merlin” (Catálogo EH-101)

5.1.1 As dimensões da Zona de Aterragem

Como já referido anteriormente, o Anexo 14 está em revisão, prevendo-se que o novo documento seja publicado ainda durante o ano de 2008. Procura-se portanto estudar soluções que respeitem o articulado da legislação em vigor e o que se prevê venha a ser alterado no novo regulamento.

Da análise comparativa do regulamento em vigor, com as propostas conhecidas para a sua substituição, verifica-se que a área total de desobstrução para aterragem dum helicóptero se mantém

igual, ou seja, a área de aterragem que engloba TLOF, FATO e Área de Segurança é semelhante em ambos os documentos. Contudo a FATO tem uma redução no novo regulamento, de 1.5 D para um valor mínimo de 1 D, e um valor recomendado 1.1 D, sendo que D é a maior dimensão do helicóptero.

Na Tabela 4 são apresentadas as duas soluções das dimensões de aterragem dum heliporto elevado para operar o EH-101, considerando D=22.8 m.

Tabela 4: Dimensões mínimas da zona de aterragem de acordo com o actual regulamento ICAO – Anexo 14 e das propostas do HDWG

	Anexo 14		Proposta HDWG	
	Condição	Dimensão Mínima [m]	Condição	Dimensão Mínima [m]
FATO = TLOF	1.5 D	34.2	D (1.1 D)	22.8 (25.1)
Área Segurança	Max {0.25 D; 3 m}	5.7	Min 0.25D, mas TLOF + AS = 2.0 D	11.4 (10.25)
TLOF + A. Seg	2.0 D	45.6	2.0 D	45.6

Como pode observar-se na Figura 38, aplicando o regulamento actualmente em vigor, a área da FATO é bastante superior à que resulta da aplicação do novo regulamento, a que correspondem naturalmente a estruturas mais pequenas e portanto menos onerosas e mais fáceis de implementar no topo dos edifícios hospitalares.

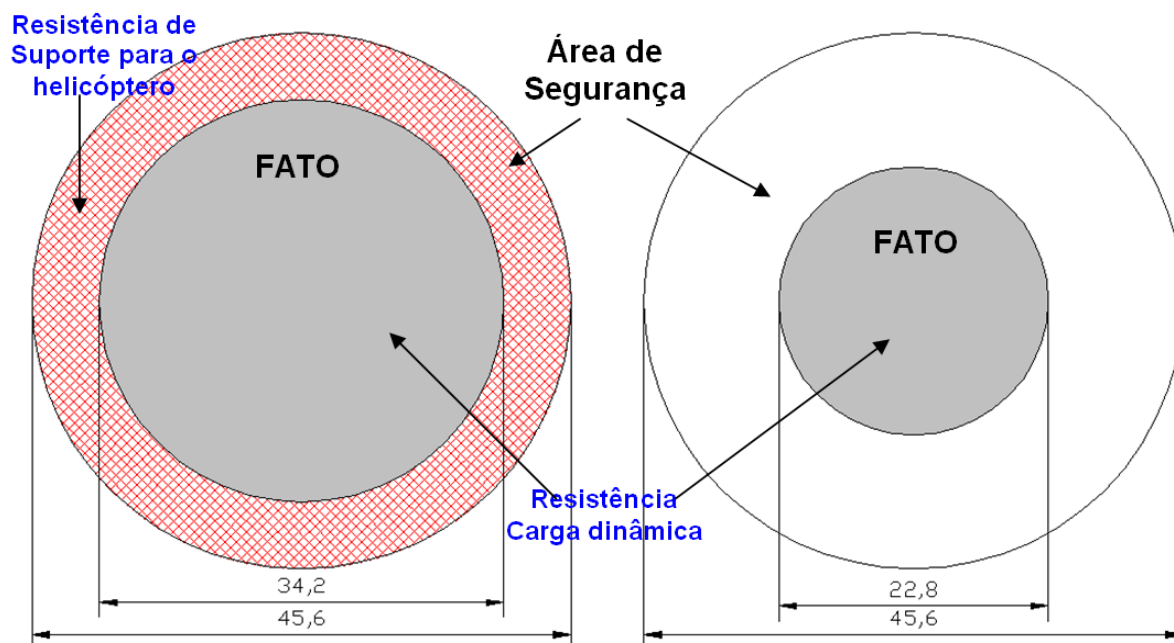


Figura 38: Dimensões mínimas [m] da zona de aterragem em função do Anexo 14 e das Propostas do HDWG

Outra importante diferença entre as duas versões do Anexo 14, corresponde às características físicas das diferentes áreas da zona de aterragem. Enquanto que a versão actual prevê que a Área de Segurança tenha capacidade resistente para suportar o helicóptero sem o danificar, as propostas do HDWG apontam para que a Área de Segurança seja uma área desobstruída de obstáculos, sem que tenha contudo de ser necessariamente uma área resistente para aterragem / suporte do helicóptero.

5.1.2 A construção de um heliporto num hospital

Em geral, um heliporto elevado é constituído por uma laje sobre a cobertura da estrutura hospitalar, com capacidade de suporte para a operação de um determinado helicóptero. A opção por heliportos elevados justifica-se nos hospitais centrais localizados nos grandes centros urbanos, permitindo a evacuação e transporte de uma forma rápida. No caso de Portugal os principais hospitais estão equipados com heliportos, no entanto, a operação do EH-101 está aprovada, mediante restrições de operação, somente em alguns dos casos, sendo a sua operação interdita nos restantes. Até à conclusão deste trabalho não se conhece em Portugal nenhum hospital cujo heliporto esteja certificado para a operação do EH-101, ou seja, não existe nenhum hospital em que o novo helicóptero possa aterrar sem restrições.

A opção por heliportos ao nível do solo não se afigura, na maioria destes casos, uma solução viável. De facto, em áreas urbanas este tipo de solução pode tornar-se muito dispendiosa, tendo em consideração a grande área de implantação que se torna necessária, e as superfícies de desobstrução que limitam consideravelmente a criação de novos edifícios na envolvente. Assim, as soluções mais comuns de localização dos heliportos são nas coberturas dos edifícios, embora soluções de silos de estacionamento, como se pode observar na Figura 39 do Hospital do Funchal, ou a estruturas especiais para “elevar” o heliporto possam também ser encontradas.

Relativamente à implantação do heliporto no hospital, dois cenários podem ser considerados:

- O hospital é novo e o projecto deve contemplar a construção do heliporto;
- O hospital está em funcionamento sendo necessário dotá-lo com esta valência.



Figura 39: Heliporto do hospital do Funchal

No primeiro caso, em que o heliporto é considerado desde a fase do projecto do edifício, a solução estrutural mais viável e menos onerosa consiste, em Portugal, provavelmente numa solução em betão armado, incorporada na laje de cobertura.

No cenário de colocação de um heliporto num hospital em funcionamento a tarefa de projecto e construção pode afigurar-se mais complexa. Torna-se necessário avaliar a capacidade resistente do edifício tendo em conta o acréscimo de carga para o qual ele não foi projectado, e nomeadamente, o comportamento dinâmico tendo em conta a massa adicional colocada na cobertura. De forma a minimizar a necessidade de reforços estruturais, deve por isso conceber-se uma solução estrutural o mais leve possível para o heliporto. Neste sentido, tem sido registada a utilização de heliportos elevados com estrutura em alumínio, embora o mais corrente continue a ser a adopção de soluções estruturais totalmente metálicas ou mistas aço / betão.

Por outro lado, neste tipo de cenário é imprescindível que a construção do heliporto não condicione o normal funcionamento do hospital, pelo que a solução escolhida tem de ser de construção simples e rápida, o que se consegue com o recurso à pré-fabricação, usualmente adoptada na construção metálica e mista.

Os códigos não impõem a utilização de um material na superfície de aterragem, contudo afigura-se ser o betão uma boa opção pois, quando comparado com superfícies metálicas ou em betuminoso, é mais estável ao fogo e não se degrada em contacto com óleos, combustível ou outros fluidos libertados do helicóptero. O Anexo 14 define pelos mesmos motivos que também as placas de estacionamento sejam em betão. Acresce que a utilização de uma superfície de betão pode também ser estrutural, funcionando em conjunto com a grelha metálica, o que é característico duma estrutura mista aço / betão.

A concepção da plataforma do heliporto directamente sobre a laje de cobertura não é na maioria dos casos a melhor solução. De facto, cada vez mais as coberturas dos edifícios de serviços, como são os hospitais, são coberturas com grande parte do espaço ocupado por equipamentos de ar condicionando e outros. Por outro lado, da operação de qualquer helicóptero resultam gases tóxicos, os quais não podem entrar pelos sistemas de AVAC. De acordo com as *guidelines* para o projecto de heliportos hospitalares nos EUA “a zona de aterragem deve ser elevada o suficiente de forma a ficar a uma cota mais alta que os telhados, paredes e sistemas de ventilação. Isto deve ser conseguido com uma elevação de 2 m em relação à cobertura” ^[26]. Deste modo, considera-se que o heliporto deve estar a uma altura mínima de 3 m em relação à cota da cobertura.

5.2 Caracterização Geral da Estrutura

Como já referido anteriormente a estrutura mais comum dos edifícios hospitalares em Portugal consiste numa malha reticulada de pilares e vigas afastados de aproximadamente 7.5 m entre si. Com base neste pressuposto, considerou-se uma malha quadrada de 9 pilares afastados 7.5 m entre si, pertencentes à estrutura dum edifício hospitalar construído, e estudaram-se duas estruturas metálicas sobre as quais assentam, respectivamente, as plataformas do heliporto definidas segundo o Anexo 14 (solução 1) e as propostas do HDWG (solução 2). Na Figura 40 observam-se as dimensões mínimas para a plataforma do heliporto.

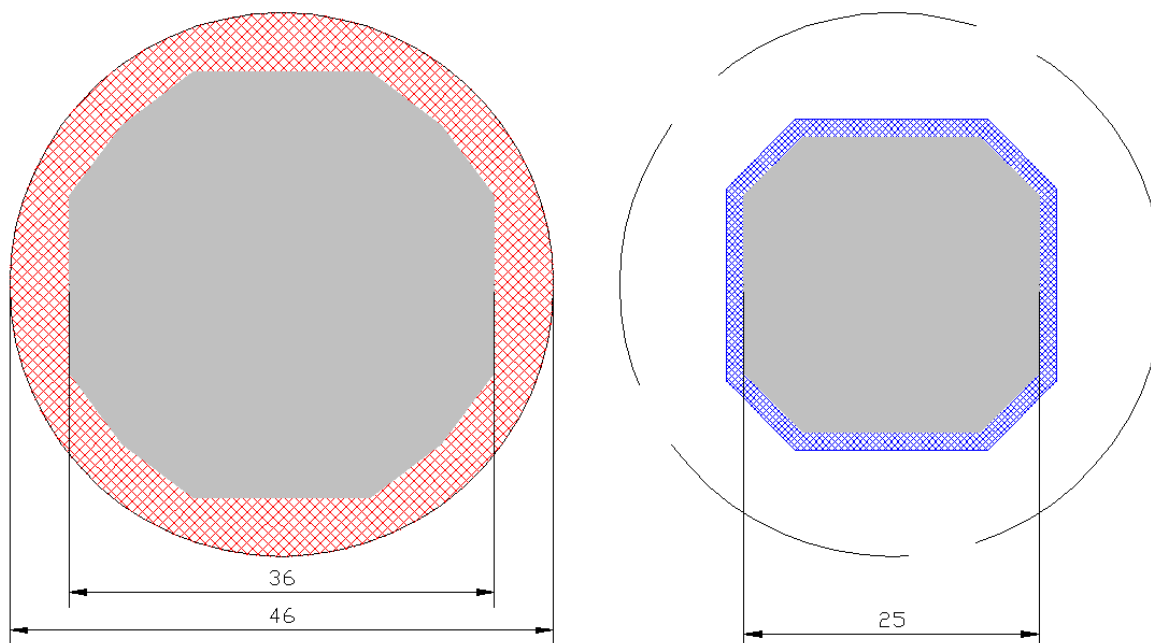


Figura 40: Dimensões dos contornos da placa da zona de aterragem das soluções 1 e 2 [m]

5.2.1 Soluções Estruturais

Em termos de solução estrutural as duas soluções são idênticas, sendo constituídas por uma laje de betão armado de 0.30 m de espessura apoiada sobre uma malha quadrada de vigas metálicas HEB 400. A laje divide-se em painéis tipo de $7.5 \times 7.5 \text{ m}^2$ no centro e painéis laterais de geometria particular, função da geometria da plataforma. Esta estrutura da plataforma apoia-se em pilares metálicos tubulares quadrados do tipo RHS 300x300x10 e montantes metálicos (solução 1) com altura suficiente para garantir os 3 m de espaço livre mínimo entre a plataforma de aterragem e a laje de cobertura do edifício, o qual assegura que os gases de escape do helicóptero, não interferem com os sistemas de AVAC, e cria um espaço que funciona como “buffer” acústico.

5.2.1.1 Solução 1 (Anexo 14)

A zona de aterragem a solução 1 é caracterizada por uma laje de betão armado com a forma apresentada na Figura 41. Na periferia da zona de aterragem coloca-se uma rede metálica em substituição da laje de betão, o que torna a plataforma mais leve. A ligação entre a laje e a viga é feita com conectores de cabeça inseridos na laje (Figura 42).

Uma estrutura metálica em pórtico constituída por pilares e montantes garante a transmissão do peso de toda a estrutura resistente à aterragem aos 9 pilares do edifício, com espaçamento tipo de $7.5 \times 7.5 \text{ m}^2$.

Tendo em conta a esbelteza dos pilares, nomeadamente na fase construtiva, considera-se um contraventamento constituído por tirantes cruzados nos dois planos do pórtico.

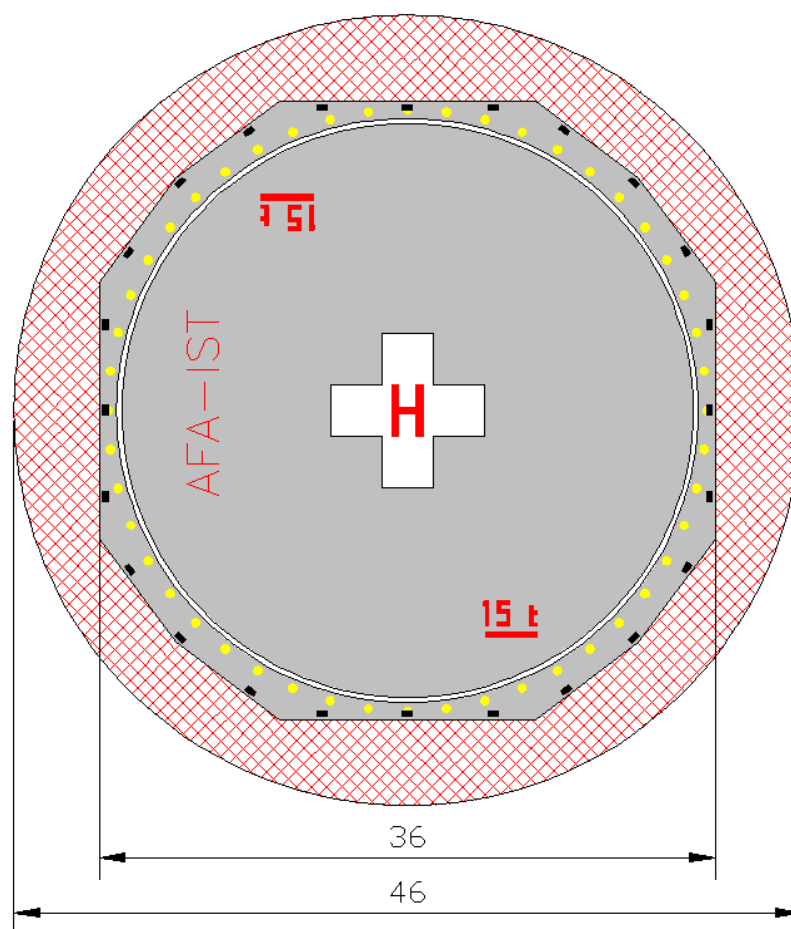


Figura 41: Planta da solução 1 [m]

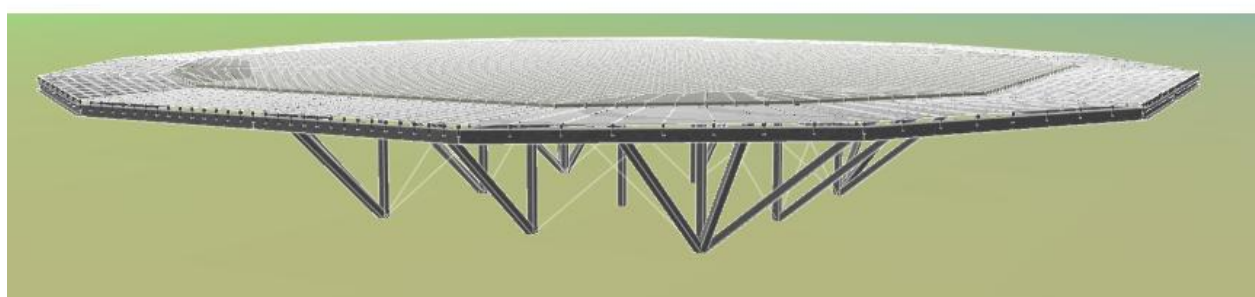


Figura 42: Imagem 3D da estrutura da solução 1 (SAP 2000)

5.2.1.2 Solução 2 (Proposta HDWG)

Trata-se de uma estrutura semelhante à proposta para a solução 1, consistindo a diferença fundamental na diminuição da área de implantação para praticamente metade.

A estrutura torna-se mais simples (Figuras 43 e 44), sendo constituída por uma plataforma mista aço / betão com uma laje de betão armado ligada a uma gralha de vigas metálicas que se

apoiam num conjunto de 9 pilares metálicos com 3 m de altura. Tendo em conta a esbelteza dos pilares considera-se um contraventamento constituído por tirantes cruzados nos dois planos do pórtico.

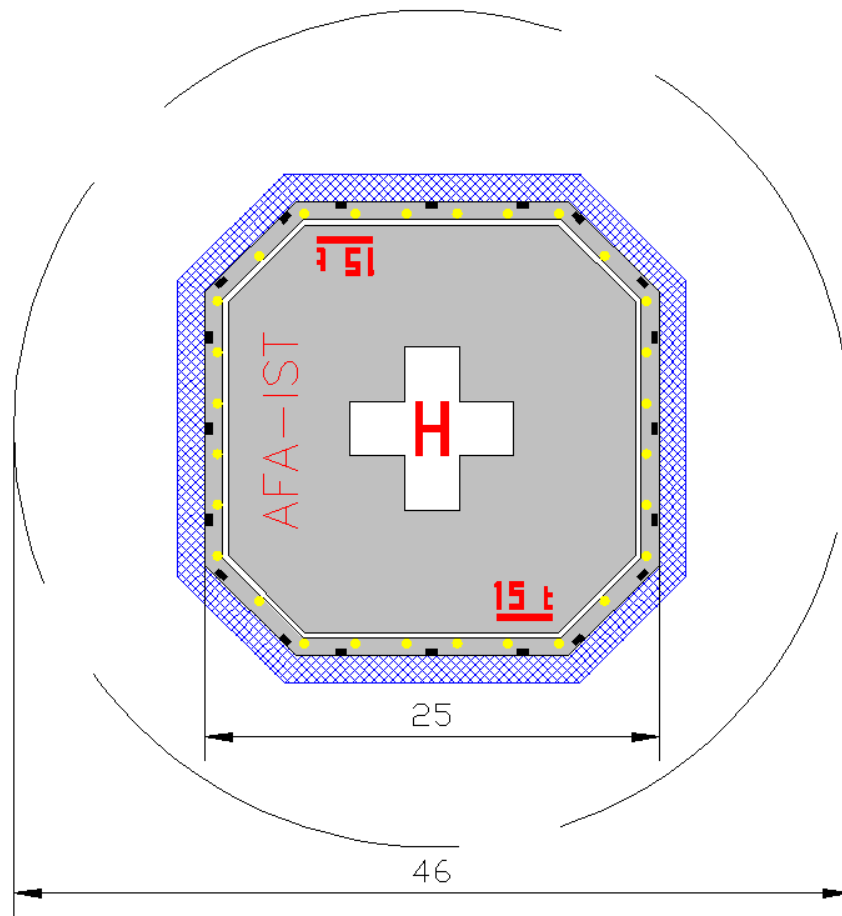


Figura 43: Planta da solução 2 [m]

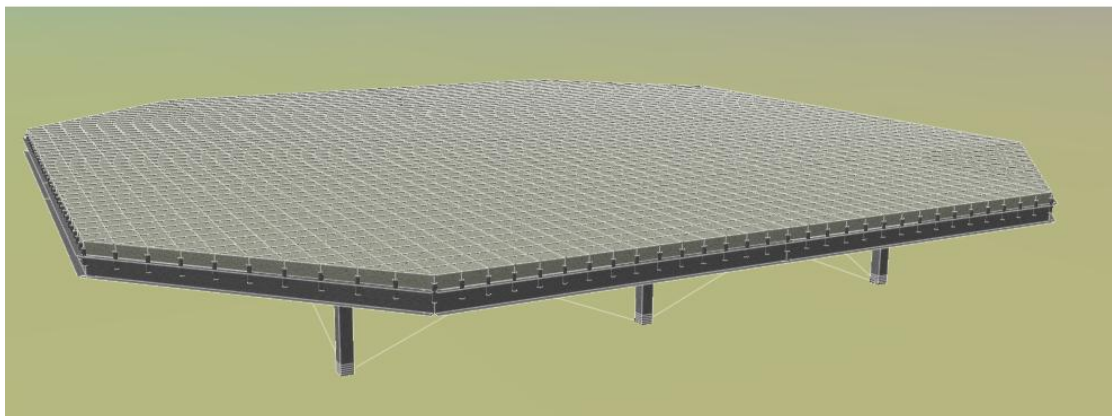


Figura 44: Imagem 3D da estrutura da solução 2 (SAP 2000)

5.2.2 Pormenorização da Solução 2

A estrutura metálica é constituída por um pórtico composto por 9 pilares de secção tubular sobre os quais são ligadas as vigas que formam no seu conjunto o suporte da laje (Figura 45).



Figura 45: Estrutura metálica da solução 2 (SAP 2000)

Os pilares são constituídos por secções RHS 300x300x10 com 2.6 m de altura, em que nos topos são soldadas chapas com 20 mm de espessura para permitir a ligação à base e às vigas da plataforma.

Nas vigas adoptam-se perfis laminados a quente HEB400 com ligações entre si aparafusadas com chapas. A zona da ligação com os pilares consiste numa ligação também aparafusada com chapas de ligação e reforço das vigas (Figura 46).

Na face superior das vigas, colocam-se 2 alinhamentos de conectores com 19 mm de diâmetro e 15 cm de altura, para assegurar o funcionamento misto aço / betão. Todas as ligações feitas em obra serão aparafusadas para simplificar a construção.

A ligação à estrutura de betão armado do edifício é também aparafusada, composta por uma chapa inferior, aparafusada com buchas mecânicas ou químicas tipo *Hilti* ou similar à estrutura de betão armado do edifício. Nestes apoios prevê-se colocar um sistema de apoio flexível, estudado no capítulo 8 deste trabalho, que condiciona a própria ligação (Figura 47).

A laje superior de betão armado (C40/50 e A500 NR) tem 0.30 m de espessura. Deve garantir-se um recobrimento das armaduras de 3 cm em ambas as faces da laje. A armadura inferior é constituída por uma malha quadrada de $\phi 16/0.10$, e a armadura superior é constituída por varões $\phi 12/0.10$ no vão e $\phi 16/0.10$ sobre os apoios. A laje poderá ser pré-fabricada em painéis de $7.20 \times 3.60 \text{ m}^2$ para minimizar as betonagens *in situ*.

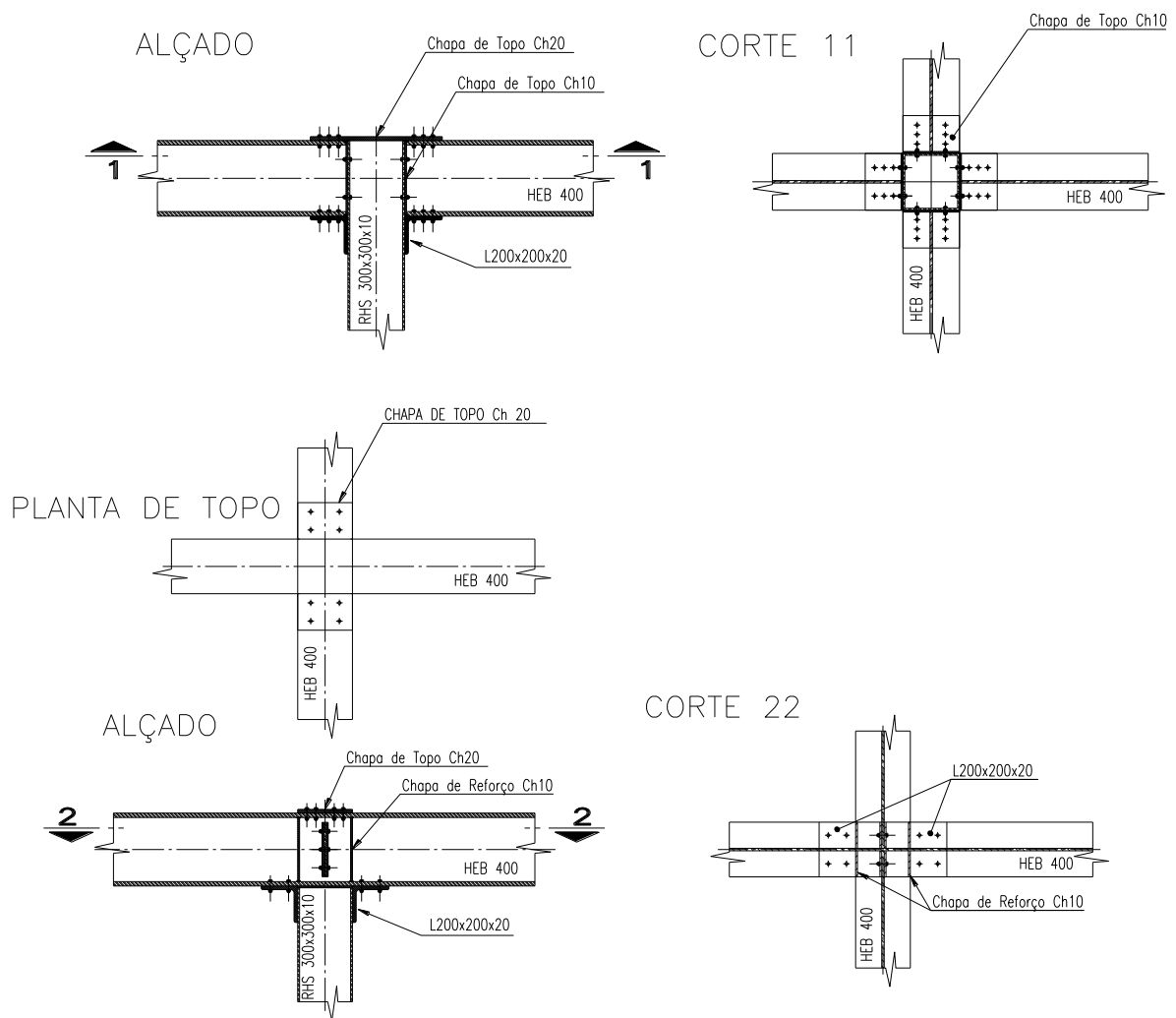


Figura 46: Alternativas de ligação pilar/viga

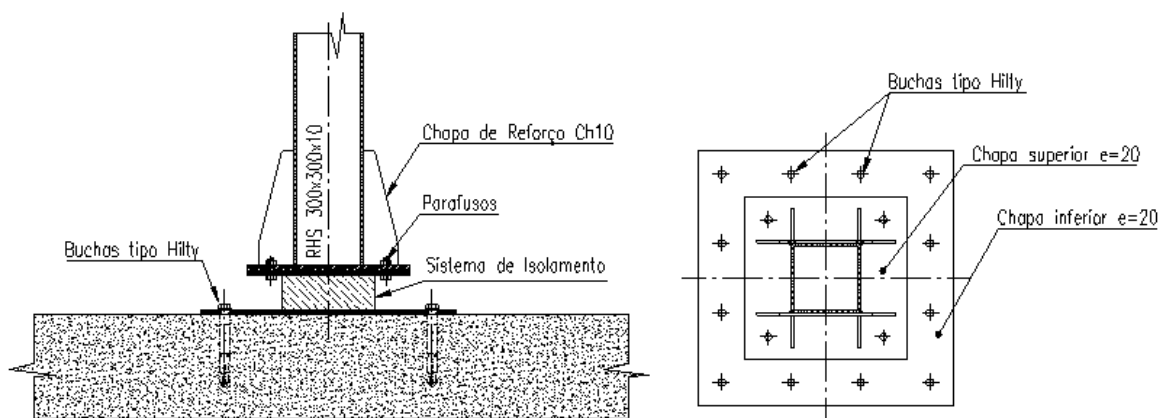


Figura 47: Pormenor de ligação da estrutura ao edifício

5.2.3 Elementos Integrados na Zona de Aterragem

A superfície da zona de aterragem é composta pelos seguintes elementos:

- Pavimento em Betão
- Pinturas
- Luzes
- Rede de Segurança

A superfície de aterragem, nomeadamente da TLOF, é um betão regularizado de forma a garantir os declives de 2.5% decrescente do centro para a periferia da laje, para garantir o escoamento de águas.

Visto tratar-se de um heliporto hospitalar a pintura e luzes devem ser aplicadas segundo as regras preconizadas pelo Anexo 14 (ver esquema de pinturas e luzes em anexo).

Na solução 1 a TLOF é prolongada por uma rede metálica, que confere uma forma redonda em planta à zona de aterragem, que representa a Área de Segurança. O Anexo 14 impõe que esta zona seja dimensionada de forma a resistir ao peso do helicóptero sem este se danificar.

No caso da solução 2, a Área de Segurança não é materializada fisicamente, mas para garantir a segurança das pessoas a Zona de Aterragem deve ser limitada com uma rede de segurança, com 1.5 m de comprimento em planta, encastrada na parte inferior da laje, para prevenir a queda de pessoas e objectos.

5.2.4 Elementos complementares de projecto

Os elementos complementares de projecto de heliportos elevados, nomeadamente quando efectuados em hospitais consistem em:

- Duas saídas do heliporto: ligação ao elevador, saída de emergência;
- Sistema (automático) de combate a incêndios.

Do heliporto devem existir dois acessos que, dadas as características da estrutura podem ser metálicos ladeadas das devidas protecções. O acesso principal faz a ligação entre a zona de aterragem e o elevador que comunica directamente com as urgências, pelo que deve ser dimensionado para permitir a circulação de macas e pessoas. O outro acesso é uma saída de emergência, que pode ser em uma rampa ou escada.

Como o heliporto é na cobertura, local de difícil acesso para as equipas de socorro em caso de incêndio ou explosão, deve ser dimensionado um sistema de combate a incêndios independente, função da classe do helicóptero de dimensionamento. No caso do EH-101, de acordo com o Anexo 14, deve considerar-se uma classe de incêndio H2 (Tabela 5)

Tabela 5: Classes de incêndio (Adaptado *Heliport Manual*)

Categoria	Maior dimensão do helicóptero (D) [m]
H 1	Até 15 m
H 2	15 – 24
H 3	24 – 35

5.3 *Análise e Segurança Estrutural*

A análise dos esforços da estrutura é efectuada com base em modelos de cálculo de pórtico tridimensional e de elementos finitos de laje, em regime elástico, tendo em consideração as acções preconizadas pelo *Heliport Manual*, e complementarmente pelo Regulamento de Segurança e Acções (RSA 1983) para a definição das restantes acções variáveis e permanentes.

5.3.1 *Caracterização das Acções*

5.3.1.1 *Acções Permanentes*

Consideram-se os seguintes pesos específicos:

- Aço Estrutural $\gamma = 77 \text{ kN/m}^3$
- Betão Armado $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Restantes cargas permanentes $q = 0.50 \text{ kN/m}^2$

5.3.1.2 *Acções Variáveis*

As acções variáveis a considerar num projecto deste género são semelhantes às restantes estruturas de edifícios, nomeadamente terraços acessíveis, contudo a acção variável específica correspondente à operação do helicóptero é de todas a mais condicionante.

De acordo com a regulamentação em vigor deve considerar-se as seguintes acções variáveis:

1. Sobrecarga de um helicóptero, caracterizada pelo Peso Máximo de um Helicóptero ou de uma situação de aterragem de emergência conforma se caracteriza seguidamente;
2. Sobrecarga de utilização da plataforma de 0.5 ou 3 kN/m^2 , em função de se tratar do Caso A ou B respectivamente;
3. Acção de uma variação de temperatura diferencial linear de $+5^\circ\text{C}$ entra a face superior e inferior da laje de betão, para verificação apenas dos estados limites de utilização;
4. Sobrecarga do vento transversal, função da altitude da plataforma e da localização do hospital; que conduz contudo a uma força horizontal sem produzir esforços significativos na plataforma;

5. Sobrecarga da neve, função do distrito do país, em geral, com valor nulo (no litoral centro, sul e ilhas e em locais com altitude inferior a 600 m);
6. Acção do sismo, função da zona do país, é em geral importante para o dimensionamento dos pilares mas não da plataforma.

A maioria destas acções variáveis não devem ser consideradas em simultâneo, sendo de todas a acção condicionante, neste caso específico de um heliporto para o EH-101, a carga das rodas, pelo que será esta acção variável utilizada no pré-dimensionamento da plataforma.

A este respeito refere-se que o **Eurocódigo1 – Parte 6** (EC1-6) define acções para dimensionar coberturas de categoria K, as quais se referem a zonas de aterragem para helicópteros. Neste regulamento os helicópteros são agrupados em duas classes HC1 e HC2, função da sua carga máxima na descolagem. No entanto, a carga máxima especificada por este regulamento é de 60 kN, valor muito inferior aos 154 kN que correspondem à carga real máxima do EH-101, pelo que este regulamento não deve ser aplicado, neste caso específico. No mesmo artigo, o EC1-6 prevê que a carga de dimensionamento seja afectada dum factor dinâmico $\phi=1.4$, para considerar o efeito do impacto da aeronave na estrutura, produzido na aterragem.

O **Heliport Manual** é o documento ICAO que descreve a forma de dimensionar a estrutura dum heliporto elevado. A zona de aterragem da plataforma (FATO) deve ser dimensionada para a mais condicionante de duas combinações de cargas designadas por caso A e B, em que o primeiro pretende simular o helicóptero a aterrar e o segundo o helicóptero em repouso. Em anexo são apresentadas as Tabelas que resumem os dois caso de carga como são apresentadas no referido manual. Os casos A e B podem ser resumidos pelas seguintes expressões:

Caso A: Aterragem de emergência de um helicóptero

$$S_{sd}^A = 2.5L_H R + 1.6 \frac{L_H}{2} + 1.4(S_{Ha} + G + W) \quad (1)$$

Caso B: Helicóptero em repouso

$$S_{sd}^B = 1.4G + 1.6(L_H + S_{Hb}) \quad (2)$$

em que as cargas apresentadas correspondem respectivamente:

- L_H Peso máximo do helicóptero à descolagem (154 kN divididos duas rodas com área de contacto de $64.5 \times 103 \text{ mm}^2$ afastadas 4.5 m entre si)
- C_{Lat} Carga lateral ($L_H/2$)
- G Peso próprio da estrutura (ou Cargas permanentes)
- W Carga do vento
- S_{Ha} e S_{Hb} Restantes cargas variáveis (ou sobrecargas de utilização)

e os factores de majoração são:

- 2.5 Factor de carga dinâmica (estado limite último)
- 1.6 Factor de carga variável
- 1.4 Factor de carga permanente e vento
- 1.3 R = “*Sympathetic response*” na FATO

No caso A, em que se estuda o efeito da aterragem do helicóptero, para além da combinação acima indicada deve verificar-se a resistência da FATO ao punçoamento provocado pelo trem de aterragem. Para este efeito o regulamento divide os helicópteros em classes de 1 a 6 em função do seu peso máximo. Independentemente do tipo de trem do helicóptero em estudo a carga que simula o impacto do helicóptero deve ser descarregada em dois pontos de contacto, com área $64.5 \times 10^3 \text{ mm}^2$ e afastamento entre si que é função da classe do helicóptero. O EH-101 pertence à classe 5, pelo que, segundo o regulamento, estes pontos de área $64.5 \times 10^3 \text{ mm}^2$ devem estar afastados 3.5 m entre si. Contudo considera-se neste estudo que estes pontos estão afastados 4 m, o que corresponde aproximadamente ao espalho do EH-101.

5.3.1.3 Segurança Estrutural

A verificação da segurança aos estados limites últimos é feita em termos de esforços, com base na condição:

$$S_{Sd} \leq S_{Rd} \quad (3)$$

em que S_{Sd} e S_{Rd} designam respectivamente os valores de cálculo do esforço actuante e do esforço resistente.

5.4 Verificação da Segurança

5.4.1 Esforços na Plataforma / Estrutura

A verificação de segurança tem como base os esforços retirados do modelo de elementos finitos da estrutura desenvolvido em SAP 2000.

Para calcular os esforços nos elementos da estrutura aplicam-se as diferentes cargas, não majoradas, sobre a laje nas combinações mais desfavoráveis para o esforço a determinar. A

Tabela 6 resume as cargas verticais e horizontais aplicadas na estrutura, não tendo sido considerada a acção do vento, por não se tratar da acção condicionante.

A Acção do helicóptero (L_H) é aplicada em dois pontos de contacto que representam o trem principal. Quando os esforços a calcular são nos elementos de barra, considera-se que estas cargas estão aplicadas em dois pontos afastados 4 m entre si (Figura 48). No entanto, no caso da laje, esta aproximação não é correcta, pelo que as cargas do helicóptero são distribuídas numa área de $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$, que é inferior à área que resulta da degradação até ao meio da laje da área de contacto

dos pneus preconizada no *Heliport Manual* ($64.5 \times 10^3 \text{ mm}^2 \Leftrightarrow 254 \times 254 \text{ mm}^2$) (Figuras 49 e 50). Estas cargas são aplicadas na posição mais desfavorável para o esforço a determinar.

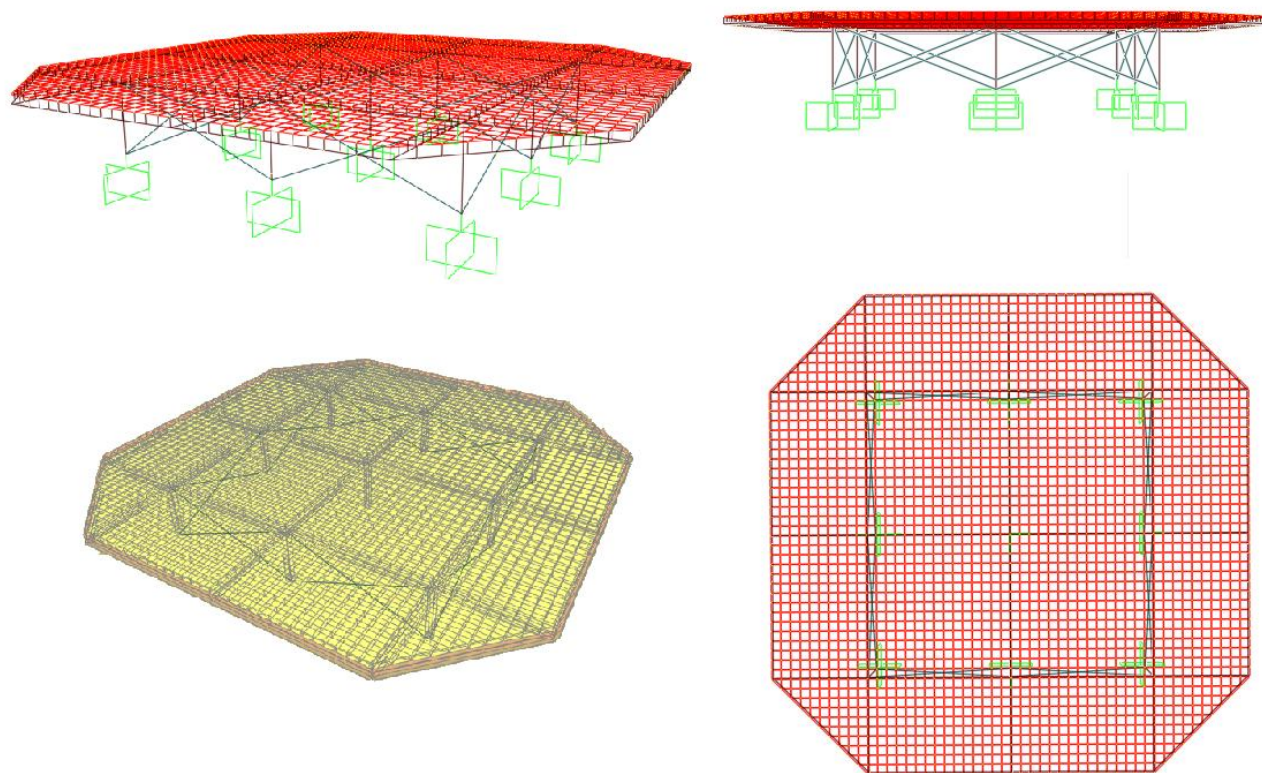


Figura 48: Modelo de elementos finitos (SAP 2000)

Tabela 6: Cargas actuantes na estrutura

Acções Verticais (Por Roda)			Factor Majoração Caso A / B
Peso Helicóptero	L_H	72.0 kN	
Peso Próprio Estrutura	G		1.4 / 1.4
Sobrecarga (Caso A)	S_{Ha}	0.5 kN/m ²	1.4 / ---
Sobrecarga (Caso B)	S_{Hb}	3.0 kN/m ²	--- / 1.6
Acções Horizontais (Por Roda)			
Carga Lateral Helicóptero	C_{Lat}	36 kN	1.6 / ---
Vento	W		1.6 / ---

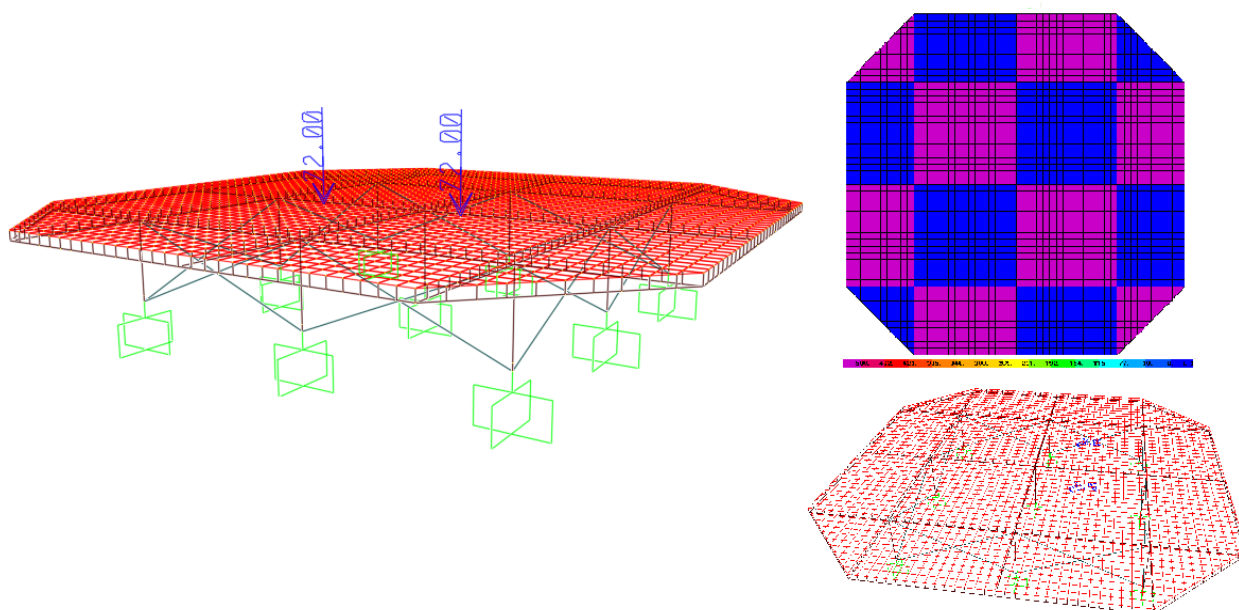


Figura 49: Exemplos de carregamentos verticais e horizontais

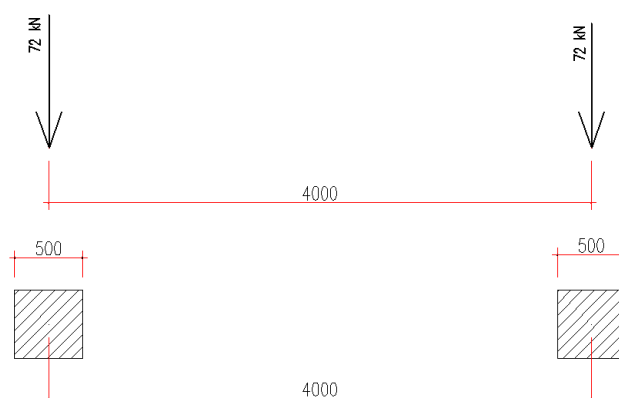


Figura 50: Esquema de aplicação das cargas do Helicóptero (L_H) [mm]

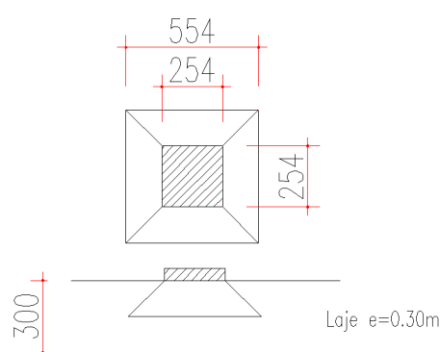


Figura 51: Esquema de degradação das cargas do helicóptero na laje com $e=0.30$ m [mm]

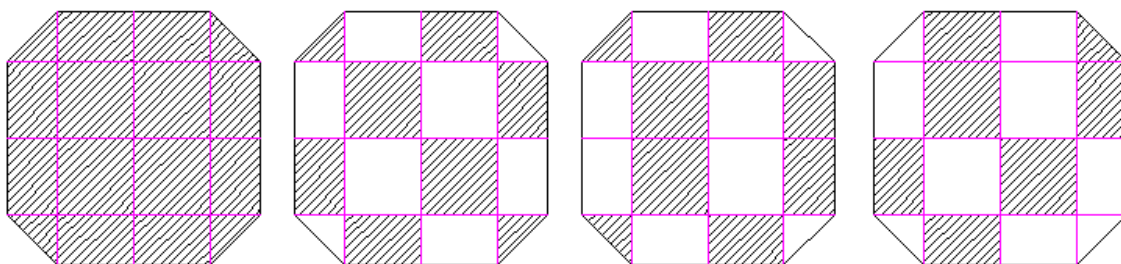


Figura 52: Esquema de alternância de sobrecargas

A avaliação do efeito das sobrecargas foi feita considerando a alternância das mesmas de forma a calcular os esforços máximos positivos e mínimos negativos nos diferentes elementos (Figura 52).

Os esforços finais numa estrutura dependem da forma de construção da mesma. Para ter em consideração o efeito cumulativo dos esforços na estrutura, o modelo foi adaptado, em características dos materiais e/ou de apoio, de forma a isolar os diferentes esforços.

5.4.1.1 Esforços nas Vigas

Para calcular os esforços nas vigas devido ao peso próprio da laje considera-se que a estrutura de aço não tem peso volúmico ($\rho_{Aço}=0$), e devido aos perfis metálicos inverte-se o raciocínio ($\rho_{Betão}=0$). Nestes dois casos não se considera a resistência do betão ($E_c \approx 0$), desta forma simula-se a fase de colocação da laje de betão prefabricada ou betonada in-situ, com uma cofragem apoiada na estrutura metálica. A Tabela 7 resume os esforços significativos máximos numa viga tipo.

Tabela 7: Esforços nas vigas

Simplificação		Ação	M_s^+ [kNm]	M_s^- [kNm]	V_s [kN]
$E_c \approx 0$ MPa	$\rho_{Aço}=77 \text{ KN/m}^3$	G Perfil	21.3	- 51.8	20.3
	$\rho_{Betão}=25 \text{ KN/m}^3$	G Laje	25.6	- 81.7	29.0
$E_c=35$ MPa		S_{Ha} (0.5)	21	- 4.3	2.5
		L_H	14	- 40.1	13.1
		C_{Lat}	21	- 5.6	3.3

5.4.1.2 Esforços nos Pilares

As simplificações feitas para o cálculo dos esforços nos pilares são em tudo idênticas às feitas para o caso das vigas. A Tabela 8 resume os esforços máximos nos pilares.

Tabela 8: Esforços nos pilares

Simplificação		Acção	N _p [kN]	M _p ⁺ [kNm]	V _p [kN]
E _c ≈ 0 MPa	ρ _{Aço} = 77 KN/m ³	G Perfil	72.5	15.3	3.8
	ρ _{Betão} = 25 KN/m ³	G Laje	102.0	33.6	8.3
E _c = 35 MPa		S_{Ha} (0.5)	38.4	1.1	0.2
		L_H	138.4	16.0	3.8
		C_{Lat}	19.4	24	7.9

5.4.1.3 Esforços nas Lajes

Os esforços são calculados para um painel de laje tipo de 7.5x7.5 m². Para calcular o efeito do peso próprio da laje considera-se que esta está simplesmente apoiada em todo o contorno, o que representa a pior situação de carga para os esforços positivos na centro do painel, na hipótese de se adoptar a sua pré-fabricação. A Tabela 9 resume os esforços máximos nos pontos significativos do painel de laje, ou seja, momentos positivos a meio do painel e momentos negativos na continuidade entre painéis, sobre as vigas.

Tabela 9: Esforços no painel de laje tipo

	Centro Painel	Canto Painel		Continuidade
Acção	M _c ⁺ [kNm/m]	M _c ⁺ [kNm/m]	M _c ⁻ [kNm/m]	M _c ⁻ [kNm/m]
G Perfil	0	3.6	- 15.6	0
G Laje	28.3	3.9	- 16.7	- 1.0
S_{Ha} (0.5)	1.0	---	- 9.15	- 2.2
L_H	43.1	---	- 31.7	- 18.7
C_{Lat}	0.6	---	- 3.4	- 0.6

5.4.2 Verificação da Segurança de ELU

O cálculo dos esforços actuantes foi feito em função das combinações preconizadas pelo *Heliport Manual*, apresentadas anteriormente designadas como caso A e B (Equações 1 e 2). Os esforços resistentes são calculados de acordo com o EC 2 e EC 3 para verificações em elementos em betão armado e metálicos, respectivamente.

5.4.2.1 Segurança ELU nas Vigas

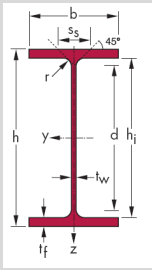
A Tabela 10 resume os esforços actuantes máximos numa viga tipo.

Tabela 10: Esforços de ELU na viga tipo

Esforços de dimensionamento	M_{Sd}^+ [kNm]	M_{Sd}^- [kNm]	V_{Sd} [kN]
	145.8	332	120.5

A Tabela 11 resume as características do perfil HEB 400 usado nas vigas.

Tabela 11: Características da secção HEB 400

	I_y	$57680 \times 10^4 \text{ mm}^4$
	$W_{pl,y}$	$3232 \times 10^3 \text{ mm}^3$
	i_y	170.8 mm
	A	19780 mm^2
	A_{vz}	6998 mm^2
	A_w	4023 mm^2
S 355	f_y	$355 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$

Os esforços resistentes de acordo com o EC 3, tendo em conta que a secção é de classe 1, são calculados da seguinte forma:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = 1434.3 \text{ kN} \quad (4)$$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (5)$$

Como $V_{Ed} \leq 0.5V_{pl,Rd} \Rightarrow \rho = 0$, portanto:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_w^2}{4t_w} \right] \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow M_{y,c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 1147.4 \text{ kNm} \quad (6)$$

Conclui-se que se verifica a segurança ao ELU nas vigas, pela confirmação da equação (3) para os diferentes esforços.

5.4.2.2 Segurança ELU nos Pilares

A Tabela 12 resume os esforços actuantes máximos numa viga condicionante.

Tabela 12: Esforços de ELU no pilar condicionante

Esforços de dimensionamento	N_{Sd} [kN]	V_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]
	880.3	42.3	160.2

A Tabela 13 resume as características do perfil RHS300x300x10 usado nos pilares.

Tabela 13: Características da secção RHS 300x300x10

RHS 300x300x10	I	$159.1 \times 10^4 \text{ mm}^4$
	$W_{pl,y}$	$1240 \times 10^3 \text{ mm}^3$
	W_y	$1061 \times 10^3 \text{ mm}^3$
	i_y	118 mm
	A	11400 mm^2
	A_v	5700 mm^2
S 355	f_y	$355 \times 10^3 \text{ N/m}^2$

Os esforços resistentes de acordo com o EC 3, tendo em conta que a secção é de classe 1, são calculados da seguinte forma, considerando $\gamma_{M0}=1$:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 4047 \text{ kN} \quad (7)$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = 1168.3 \text{ kN} \quad (8)$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 376.7 \text{ kNm} \quad (9)$$

$$M_{N,Rd} = \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] \cdot M_{pl,Rd} = 358.9 \text{ kNm} \quad (10)$$

Portanto, conclui-se que se verifica a segurança ao ELU nos pilares, pela confirmação da equação (3) para os diferentes esforços.

5.4.2.3 Segurança ELU na laje

A laje de betão armado C40/50 tem uma espessura de 0.30 m. A Tabela 14 resume as características da laje:

Tabela 14: Características da laje

Laje	e	0.30 m
	d	0.25 m
C40/50	E_c	35x10 ⁶ kN/m ²
	F_{cd}	26.7x10 ³ kN/m ²
	F_{yd}	435x10 ³ kN/m ²

Na laje a verificação ao ELU é efectuada com o cálculo da armadura mínima para resistir aos esforços aplicados em cada zona da laje. Desta forma garante-se a segurança desde que a armadura usada tenha uma área superior à mínima calculada. A Tabela 15 resume os esforços actuantes, segundo a combinação correspondente à equação (1).

Tabela 15: Esforços de ELU na laje

Esforços de dimensionamento	Centro Painel	Canto Painel	Continuidade
	M_{Sd}⁺ [kNm/m]	M_{Sd}⁻ [kNm/m]	M_{Sd}⁻ [kNm/m]
	169.7	66.2	114.7

Para calcular a armadura mínima numa laje de betão armado segue-se o seguinte raciocínio:

$$\mu = \frac{M_{Sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \rightarrow \omega = \frac{(1 - \sqrt{1 - 2.42\mu})}{1.21} \rightarrow \frac{A_s}{s} = \omega \cdot b \cdot d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (11)$$

Desta forma conclui-se que:

$$M_{Sd}^+ = 170 \text{ kNm/m} \Rightarrow \left(\frac{A_s}{s} \right)_{\min} = 16.7 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (12)$$

$$M_{Sd}^- = 66 \text{ kNm/m} \Rightarrow \left(\frac{A_s}{s} \right)_{\min} = 6.3 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (13)$$

$$\text{Adoptando } \phi 16 // 0.10 \Rightarrow \frac{A_s}{s} = 20.11 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ e } \phi 12 // 0.10 \Rightarrow \frac{A_s}{s} = 11.31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

está verificada a segurança aos ELU.

5.4.2.4 Verificação de segurança ao punçoamento

Realiza-se a verificação da resistência da laje ao punçoamento sob as rodas de contacto do helicóptero aquando de uma aterragem de emergência como previsto pelo *Heliport Manual*. Para ser conservativo não se considera a degradação das cargas na laje, calcula-se para o caso real em que a roda está a uma pressão de enchimento de 105psi (72.4 kN/m²), o que permite concluir que o regulamento está do lado da segurança.

A Figura 53 representa o cálculo do perímetro de rotura (u), obtido para o caso em estudo por:

$$u = 4 \times 0.254 + 2\pi \times 0.5 = 4.16m \quad (14)$$

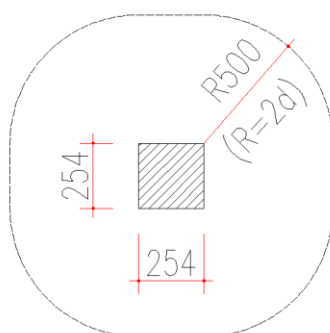


Figura 53: Esquema para determinar o perímetro de rotura [mm]

O esforço transversal de dimensionamento é obtido por:

$$V_{Ed} = 2.5L_H + 1.4V_G = 2.5 \times 72 + 1.4 \times 26 = 216.4kN \quad (15)$$

Considerando $\beta=1$, o correspondente esforço de corte sob a roda é dado por:

$$V'_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u \cdot d} = 208kN \quad (16)$$

O esforço de corte resistente, obtido pelo EC2, é dado para um betão C40/50 por:

$$V_{Rd,c} \leq 0.4f_{ctd} \cdot d = 0.4 \times 3.5 \times 0.25 = 350kN \quad (17)$$

o que permite concluir que a laje com 0.30 m de espessura tem a resistência ao punçoamento necessária, para o caso específico das rodas do EH-101.

5.5 Materiais Estruturais e Processo Construtivo

5.5.1 Materiais estruturais

Os materiais estruturais previstos no dimensionamento das soluções, segundo as designações do REBAP e EC 1, são os seguintes:

- Betão C40/50 (classe de exposição 2a)
- Aço S355 J2G3
- Conectores Aço com $f_{su}=450$ MPa
- Armaduras A 500 NR
- Parafusos pré-esforçados classe 8.8

5.5.2 Processo construtivo

A opção de uma estrutura mista aço/betão em substituição de uma solução inteiramente em betão armado está relacionada não só com o peso da estrutura, mas sobretudo com a simplicidade e rapidez de construção duma solução deste género. Como o heliporto é para ser construído sobre um hospital, regra geral em meio urbano, deve-se reduzir ao máximo os trabalhos no local, evitar processos construtivos ruidosos e que sejam necessárias intervenções de construção civil que condicione o normal funcionamento do hospital. A melhor forma de minimizar estas acções da construção é recorrer o máximo possível à pré-fabricação.

A estrutura metálica é preparada em peças no estaleiro, sendo transportadas para a obra em pequenas peças aparafusadas entre si na sua posição final. Pretende-se desta forma evitar as soldaduras em obra, pois as condições de trabalho não são as ideais podendo comprometer a qualidade do trabalho final e potenciar acidentes.

A laje de betão pode ser executada de diversas formas, contudo a opção pela pré-fabricação influencia significativamente os esforços finais na estrutura.

A betonagem *in situ* é uma solução possível, mas que contraria o objectivo de minimizar os trabalhos de construção civil no local da obra. Neste caso a betonagem pode ser feita com cavalete apoiado na laje de cobertura do edifício ou com o recurso a uma estrutura temporária que apoia na estrutura metálica previamente montada. Qualquer das duas é demorada e obriga a deslocar para a obra um estaleiro de montagem de armaduras, cofragens e cavalete, além de ser necessário executar uma betonagem *in situ* de um volume de betão entre 175 e 350 m³, consoante a dimensão da laje, na solução 2 ou 1.

Para eliminar estas dificuldades pode optar-se pela pré-fabricação da laje em painéis, em que somente as uniões entre os mesmos são betonadas no local ou a pré-lajes com uma espessura mais reduzida, sobre as quais são “montadas” as armaduras superiores e posteriormente se betona a face superior da laje e zonas de ligação às vigas (Figura 54).

A solução mais adequada no caso de pretender minimizar os trabalhos “in situ” consiste em utilizar painéis de laje pré-fabricados que, no caso dos painéis centrais, terão 7.40x3.60 m² e um peso de 20 ton, e deverão assentar no bordo do banzo superior das vigas. Sobre a viga, cruzados com os

conectores existentes colocam-se armaduras que garantem a continuidade da laje após a betonagem com betão não retráctil.

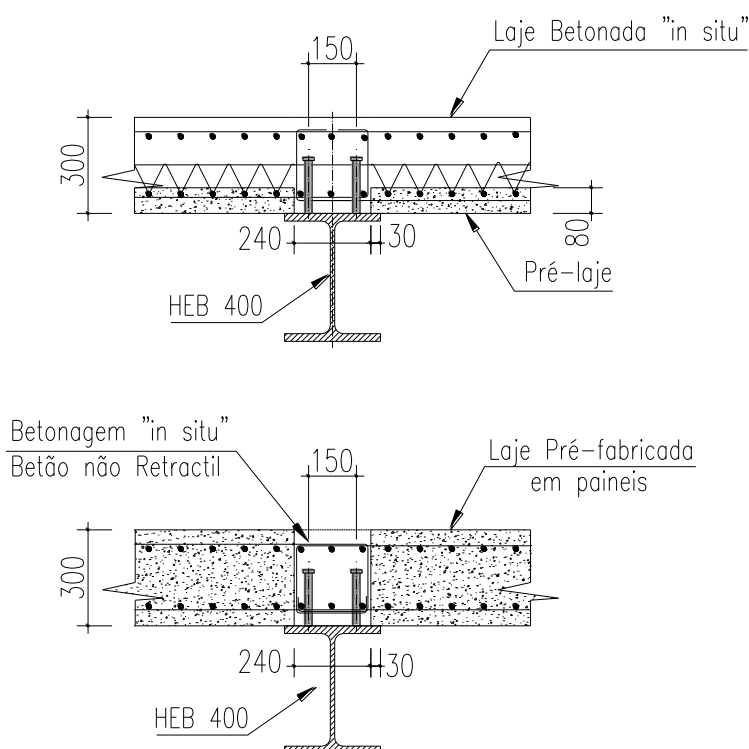


Figura 54: Esquemas de construção dos painéis de laje

5.6 Outros trabalhos específicos deste tipo de estruturas

O projecto dum heliporto não se limita ao dimensionamento da estrutura. Para uma operação normal do helicóptero são necessários trabalhos que vão desde a implantação da manga de vento até a balizagem de obstáculos em torno da zona de aterragem.

A superfície de aterragem só está concluída quando devidamente complementada com a sinalização diurna (pinturas) e luminosa, cuja complexidade, como já foi referido anteriormente, depende do tipo de operação prevista para o heliporto.

É essencial à aproximação, especialmente em espaço aéreo não controlado, a existência na cobertura de um indicador da direcção do vento, o qual deve ser estrategicamente colocado de forma a ser visto de todas as direcções e ao mesmo tempo não ser um conflito à normal operação do helicóptero.

Como já foi referido todo o espaço que circunda o heliporto terá restrições, nomeadamente no que respeita à criação futura de objectos em altura, que podem entrar em conflito com as zonas de desobstrução aérea. Em anexo é apresentado um esquema simplificado do cone de desobstrução para a aproximação do EH-101, o qual implica que nenhum objecto pode existir acima desta superfície em que a cota zero representa a cota da zona de aterragem.

6 Comportamento dinâmico e isolamento da vibração transmitida à estrutura de suporte

O objectivo deste capítulo consiste em caracterizar as vibrações transmitidas ao heliporto durante as operações de aterragem e descolagem do helicóptero e avaliar as correspondentes vibrações transmitidas à estrutura de suporte. Embora a caracterização das vibrações dentro do helicóptero esteja amplamente estudada, inclusive a FAP desenvolve um programa permanente de avaliação das vibrações dentro dos novos EH-101, a única literatura encontrada que refere a o problema das vibrações transmitidas pelo helicóptero para o exterior é o “*Structural Design Guidelines for Heliports*” de Schwartz.^[7] Contactaram-se várias empresas fornecedoras de equipamentos para heliportos e alguns especialistas na operação de helicópteros de forma a melhor compreender as vibrações transmitidas pelo helicóptero à estrutura. Concluiu-se que, em princípio, estas vibrações não produzem problemas significativos às estruturas, mas podem causar desconforto aos ocupantes dos edifícios e / ou problemas de funcionamento de equipamentos sensíveis.

Não é objectivo do trabalho desenvolver em detalhe o estudo do comportamento dinâmico da estrutura, pois trata-se de um assunto amplamente descrito em extensa bibliografia, de onde se destacam: Bachmann, Kelly, Harris e “*Vibration Problems in Structures*”; contudo apresentam-se algumas noções básicas que facilitam o enquadramento dos assuntos seguintes.

6.1 Fundamentos básicos sobre vibração

6.1.1 Sistema livre com um grau de liberdade

Como simplificação dos sistemas reais mais complexos considere-se o modelo com um grau de liberdade como o representado na Figura 55.

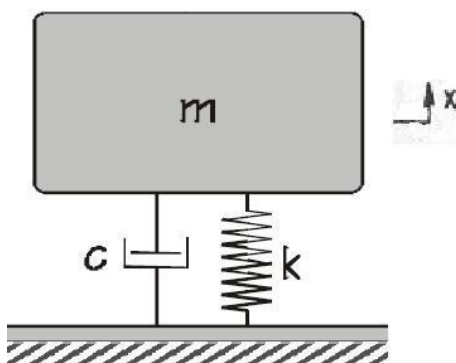


Figura 55: Modelo do sistema com um grau de liberdade em regime livre (BACHMANN)

O movimento oscilatório livre do sistema, quando não tem qualquer excitação exterior, é descrito pela equação diferencial seguinte:

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + kx = 0 \quad (18)$$

onde:

- x Deslocamento,
- m Massa,
- c Constante de amortecimento
- k Rigidez da mola

e os termos que representam as forças em equilíbrio ^[1]:

- $m \cdot \ddot{x}$ Força de inércia;
- $c \cdot \dot{x}$ Força de amortecimento viscoso;
- $k \cdot x$ Força de restituição elástica.

A solução desta equação é uma vibração sinusoidal cuja frequência depende da massa (m) e da rigidez (k) do sistema. Ao considerar um sistema sem amortecimento o sistema tende a vibrar numa frequência específica denominada a frequência natural fundamental do sistema (ω_1). Na Figura 56 pode observar-se a influência da variação da massa na frequência própria do sistema.

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (19)$$

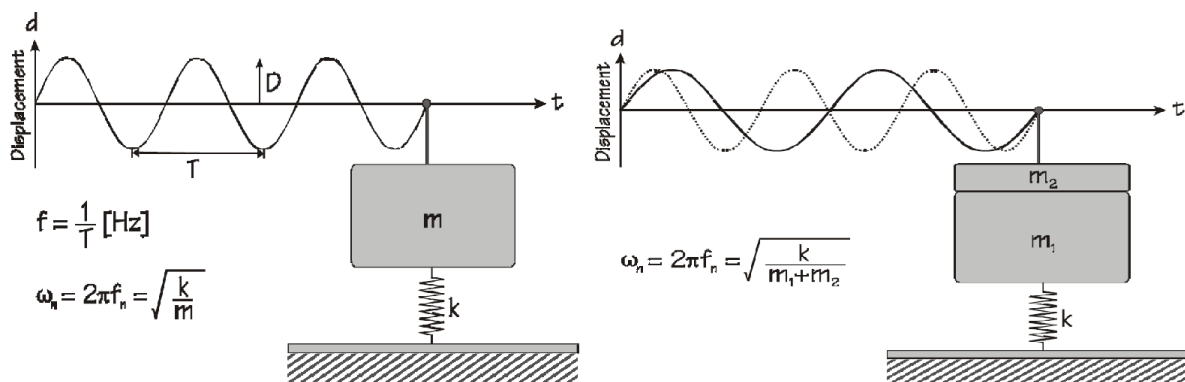


Figura 56: Frequência natural do sistema livre em função da massa vibrante (BACHMANN)

O valor do amortecimento (c) afecta a amplitude de vibração ao longo do tempo, mas tem uma influência relativamente reduzida no valor da frequência natural do sistema. De facto, a nova frequência do sistema (ω_D) é afectado pelo amortecimento, contudo o seu efeito é negligenciável na maioria dos casos, pois o coeficiente de amortecimento (ξ) dum sistema é normalmente próximo de 0.10. A Figura 57 demonstra o efeito do amortecimento num sistema.

$$\xi = \frac{c}{2 \cdot m \cdot \omega_1} = \frac{c}{c_c} \quad (20)$$

$$\omega_D = \omega_1 \sqrt{1 - \xi^2} \cong \omega_1 \quad (21)$$

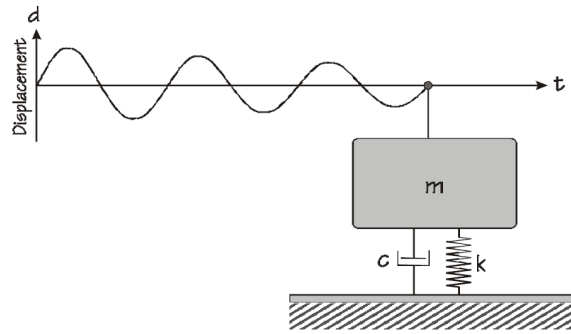


Figura 57: Vibração do sistema livre amortecido (BACHMANN)

Em Bachmann ^[1] pode observar-se a dedução do comportamento dum sistema de uma grau de liberdade amortecido, de onde se retira que o deslocamento no tempo é descrito por:

$$x(t) = e^{-\xi \cdot \omega_1 \cdot t} \cdot X_1 \cdot \text{sen}(\omega_D \cdot t + \varphi_1) \quad (22)$$

onde:

- X_1 Amplitude do sinal (constante);
- φ_1 Fase angular inicial.

6.1.2 Sistema forçado com um grau de liberdade

Uma vibração forçada surge no sistema quando uma carga dinâmica exterior $F(t)$ actua sobre a sua massa. A equação diferencial que caracteriza o sistema de equilíbrio entre as três forças interiores (equação 18) passa a incluir o termo da força aplicada (Figura 58):

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + kx = F(t) \quad (23)$$

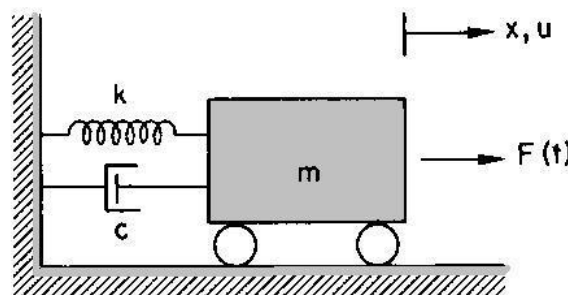


Figura 58: Modelo do sistema em regime forçado (BACHMANN)

O estudo deste fenómeno torna-se mais simples no caso da força aplicada ter com comportamento harmónico.

$$F(t) = F_0 \cdot \text{sen}(\omega_0 \cdot t) \quad (24)$$

com:

- F_0 Amplitude da força de carga
- ω_0 Frequência fundamental da excitação [rad/s]

A resposta do sistema forçado pela carga dinâmica é caracterizada pelo espectro de resposta do respectivo sistema, em que a “Amplificação dinâmica” (V_k) é caracterizada pela expressão seguinte, traduzida de forma gráfica na Figura 59.

$$V_k = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega_0^2}{\omega_1^2}\right)^2 + \left(2 \cdot \xi \frac{\omega_0}{\omega_1}\right)^2}} \quad (25)$$

$$V_{k,\max} = V_k(\omega_0 = \omega_1) \cong \frac{1}{2 \cdot \xi} \quad (26)$$

$$x_{\max} = V_k \cdot x_0 \quad (27)$$

$$x_0 = \frac{F_0}{k} \quad (28)$$

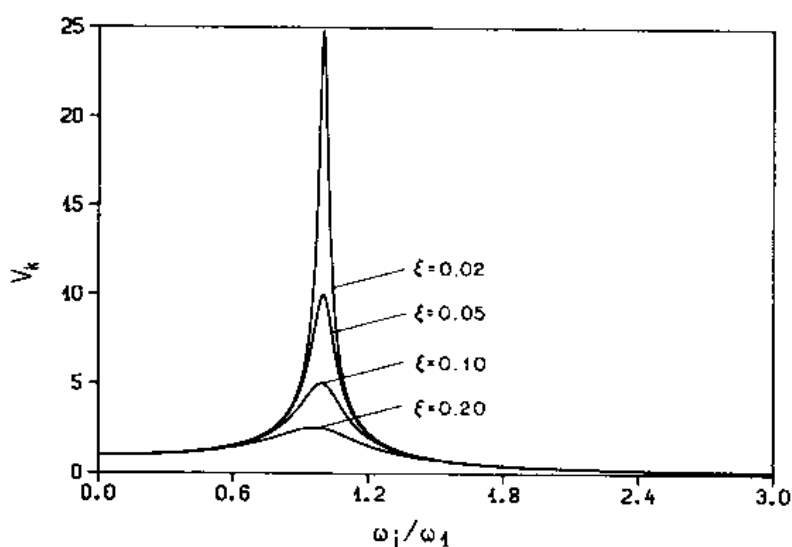


Figura 59: Gráfico de amplificação dinâmica (BACHMANN)

6.2 Carregamento dinâmico em estruturas

Em termos gerais, a maior parte das cargas consideradas na Engenharia Civil podem ser caracterizadas como dinâmicas porque variam com o tempo. Na prática, contudo, variações lentas de carga podem ser tratadas como “*quasi-static*”, desde de que as forças de inércia e amortecimento sejam negligenciáveis. A presença de inércia e amortecimento é de facto a grande diferença entre carregamentos dinâmicos e estáticos. Estas forças resultam das acelerações e velocidades (deslocamentos) induzidas nos elementos estruturais, e devem ser incluídas no cálculo das reacções de apoio. A magnitude da variação destas acções no tempo depende do tipo de excitação do exterior e das características dinâmicas da própria estrutura.^[1]

Os carregamentos dinâmicos podem ser caracterizados como: harmónicos, periódicos, transitórios e impulsivos (Figura 60).

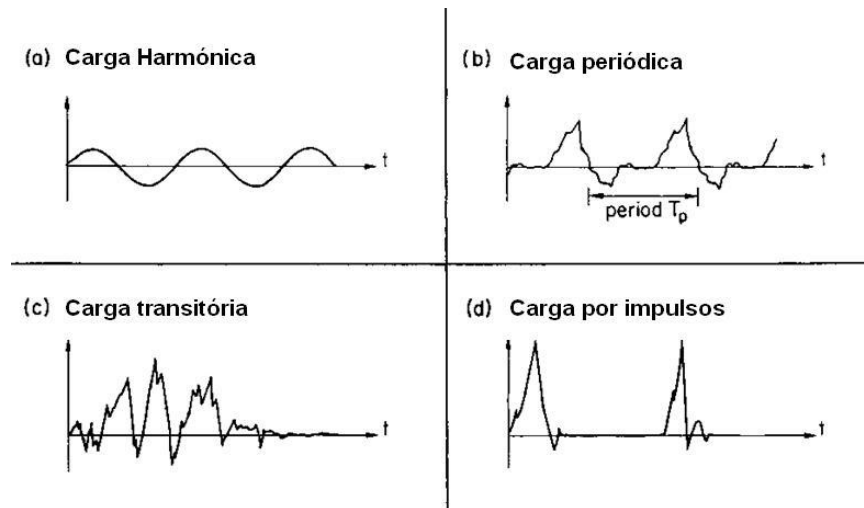


Figura 60: Funções tipo de cargas dinâmicas

Um carregamento periódico de uma máquina é normalmente estudado de duas formas: variação da carga no tempo e o espectro de *Fourier*. A Figura 61 apresenta exemplos de cargas dinâmicas de máquinas destas duas formas.

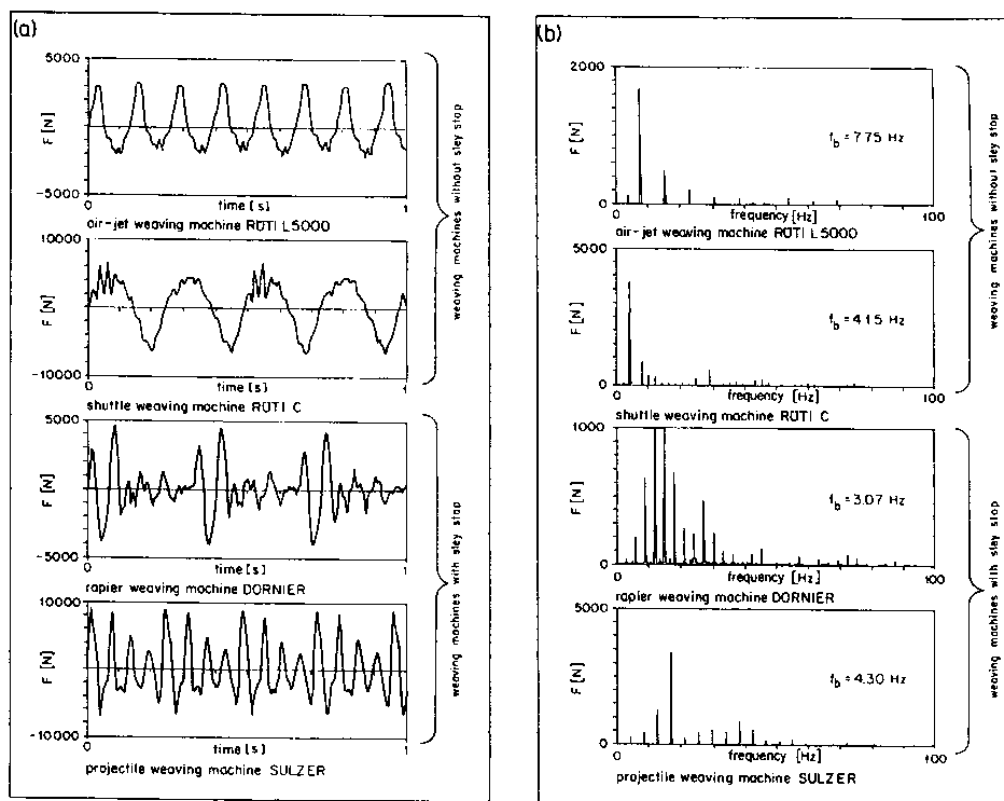


Figura 61: Carregamentos dinâmicos de máquinas e respectivos espectros de *Fourier* (Vibration Problems in Structures)

Os espectros de *Fourier*, representam as frequências e as amplitudes das várias sinusóides que, quando somadas, restituem o sinal original. Em teoria, o efeito de qualquer carga dinâmica periódica pode ser caracterizado a partir da sobreposição das suas sinusóides constituintes.

Um movimento sinusoidal é a oscilação de uma massa em torno de um ponto de referência caracterizado pela sua amplitude (A), e frequência (f) ou período (T). Em geral, a amplitude do sinal é determinada pelos aparelhos de medição em *Root Mean Square* (RMS) ^[3] que se relaciona com a amplitude da seguinte forma (Figura 62):

$$A_{\max} = \sqrt{2} \cdot A_{RMS} \quad (29)$$

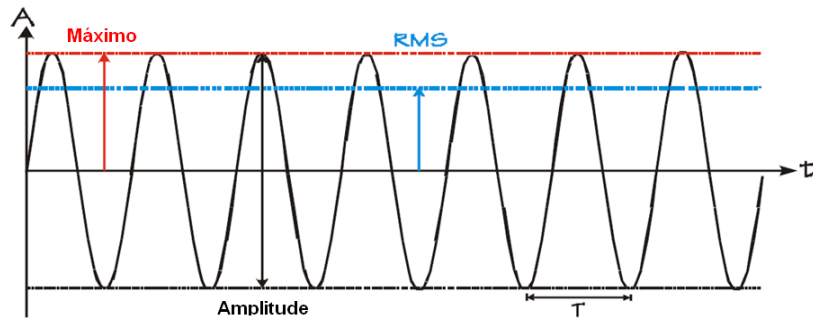


Figura 62: Relação entre amplitude máxima e RMS

6.3 Isolamento de vibrações

O isolamento de vibrações tem como finalidade reduzir o efeito das mesmas na estrutura, equipamentos e/ou pessoas. Um isolador de vibrações pode ser considerado, na sua forma mais elementar, como um elemento com características elásticas ligado entre uma máquina e a fundação. A função dum isolador é reduzir a magnitude do movimento transmitido duma fundação a vibrar para o equipamento ou vice-versa”.^[3]

O conceito de isolamento de vibrações é ilustrado na Figura 63, considerando um sistema com um grau de liberdade. Este sistema caracteriza-se por um corpo rígido que representa um equipamento ligado à fundação por um aparelho de apoio isolante com características elásticas e de dissipação de energia.

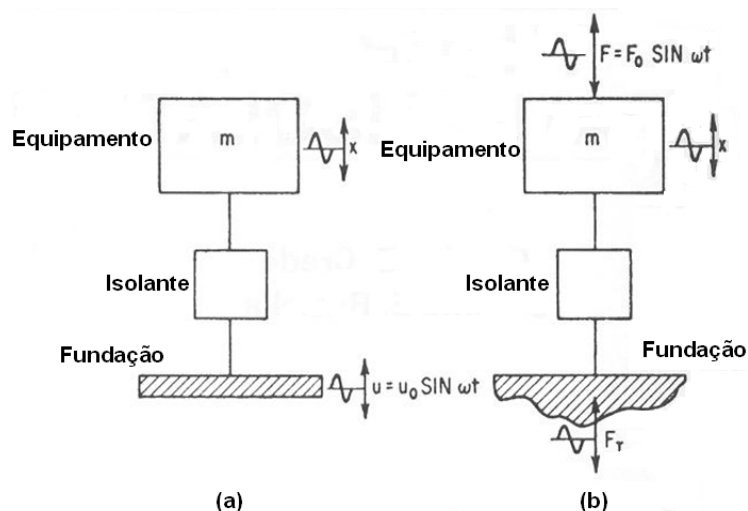


Figura 63: Diagramas de isolamento a) Vibração na base b) Vibração no equipamento

Os sistemas de isolamento podem ser classificados de várias formas como é resumido na Figura 64 ^[3]. O sistema de isolamento mais simples é aquele onde a massa (m) é suportada por um material tipo borracha, que pode ser caracterizado como o modelo a da Figura 64, ou seja, pode ser modelado por uma mola de rigidez, k , e amortecimento, c .

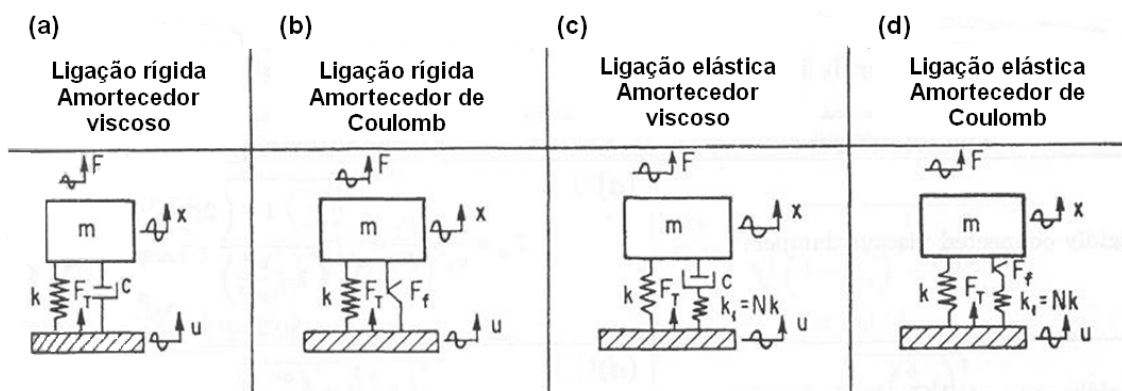


Figura 64: Modelos de sistemas de isolamento (HARRIS)

A eficiência do sistema de isolamento é medida pela transmissibilidade, que mede a redução da força ou movimento absorvidos pelo isolador. A transmissibilidade (T) da ação é normalmente avaliada de forma absoluta, pois se considera que uma das partes do sistema está parada. Isto é, para o caso da fonte de vibração ser uma força oscilante originada pelo equipamento (força de excitação), a transmissibilidade é a razão da amplitude da força transmitida à fundação em relação à amplitude da força de excitação.

6.3.1 Modelo de isolamento amortecido

Em Engenharia Civil os sistemas de isolamento são normalmente constituídos por elementos de borracha ou equivalente, molas ou a combinação das duas. Para o caso de um modelo com um grau de liberdade o isolador é caracterizado por uma mola associada a um amortecedor, como caracteriza a Figura 65. A análise deste modelo considera naturalmente um sistema com um grau de liberdade, ou seja, assume-se que o equipamento e a fundação são rígidos e o isolamento não tem massa.

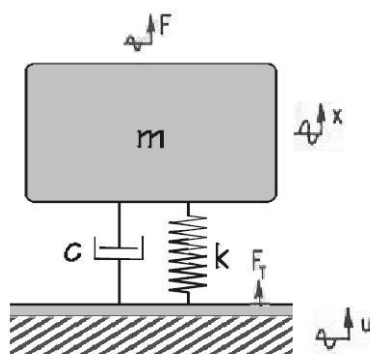


Figura 65: Modelo de isolamento visco-amortecido

Nestes casos a transmissibilidade (T_R) é caracterizada pelo diagrama da Figura 66, cuja função se apresenta a seguir.

$$T_R = \frac{x_0}{u_0} = \frac{F_T}{F_0} = \sqrt{\frac{1 + \left(2 \cdot \xi \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(2 \cdot \xi \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad (30)$$

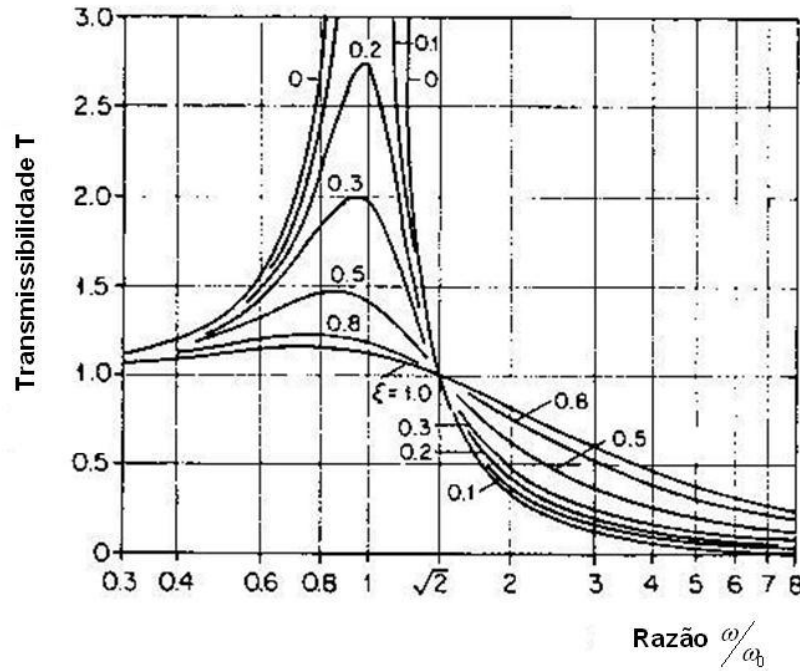


Figura 66: Transmissibilidade dum sistema amortecido (BACHMANN)

A forma mais comum de representar a transmissibilidade utiliza uma escala em decibel (dB), pois facilita a análise do mesmo, evidenciando as diferenças das curvas em função do respectivo coeficiente de amortecimento, como se ilustra na Figura 67.

$$T_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(T_R) \quad (31)$$

Analisando o gráfico da transmissibilidade observa-se que o sinal de excitação é sempre amplificado pelo sistema quando a relação $\omega/\omega_0 < \sqrt{2}$, sendo que quanto mais próximas são as frequências de excitação e a frequência de ressonância da estrutura, maior é a amplificação do sinal, sendo o máximo da amplificação, para o caso do amortecimento ser baixo, T_{max} aproximado por:

$$T_{max} = \frac{1}{2 \cdot \xi} \quad (32)$$

De notar que só para valores $\omega/\omega_0 > \sqrt{2}$, é que a transmissibilidade corresponde a uma redução da intensidade da carga dinâmica transmitida à base. Para esta gama de frequências de excitação a transmissibilidade diminui com a diminuição do coeficiente de amortecimento do sistema, ao contrário do que acontece para frequências de excitação muito próximas da frequência própria do sistema livre.

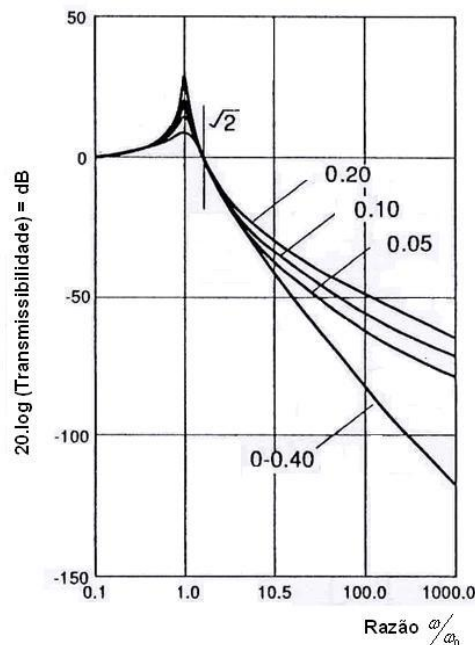


Figura 67: Transmissibilidade (dB) (KELLY)

6.4 Efeitos das vibrações em edifícios

Vibrações induzidas pelo Homem, máquinas, tráfego, trabalhos de construção, etc., podem afectar os edifícios nos seus elementos estruturais ou não estruturais. As vibrações podem igualmente ser uma fonte de problemas para equipamentos, processos de produção e causa de desconforto para as pessoas sujeitas às mesmas. Na prática, o cálculo ou medida da magnitude das vibrações (aceleração, velocidade ou deslocamento) necessita ser feito para determinar se as vibrações podem ou não ser toleradas pela: estrutura, as pessoas e os equipamentos. Os efeitos das vibrações podem assim ser divididos em três categorias ^[1]:

- Efeitos em estruturas (capacidade resistente dos membros estruturais e não estruturais);
- Efeitos em pessoas (perturbam e causam desconforto aos ocupantes);
- Efeitos sobre equipamentos (equipamentos sensíveis em hospitais, laboratórios, etc.).

Também a organização da regulamentação nesta área dos efeitos das vibrações em Engenharia Civil, é orientada segundo três critérios: estrutural, fisiológico e de funcionamento de equipamentos. A secção que se segue pretende caracterizar de forma sumária os limites aceitáveis de vibração segundo os três critérios referidos.

6.4.1 Critério Estrutural

As vibrações em edifícios podem aumentar os esforços ou deformações nos seus elementos e podem levar à fendilhação de lajes e paredes, agravar as fendas já existentes em elementos estruturais ou não estruturais e, no limite, conduzir ao eventual colapso desses elementos. Vibrações contínuas podem também originar problemas de fadiga ou de rotura em elementos estruturais principais da estrutura do edifício.

A Figura 68 ilustra a quantidade de danos estruturais esperados em função de vários parâmetros. Vários países têm legislação própria sobre esta matéria, embora a abordagem seja muitas vezes diferente em eles. É usual que os critérios de aceitação tenham em consideração os seguintes parâmetros ^[1]:

- Tipo e qualidade dos materiais usados no edifício;
- Tipo de construção;
- Propriedades das fundações;
- Dimensões dos elementos estruturais principais;
- Idade do edifício;
- Duração do efeito da vibração;
- Caracterização da vibração (frequência, aceleração, etc.).

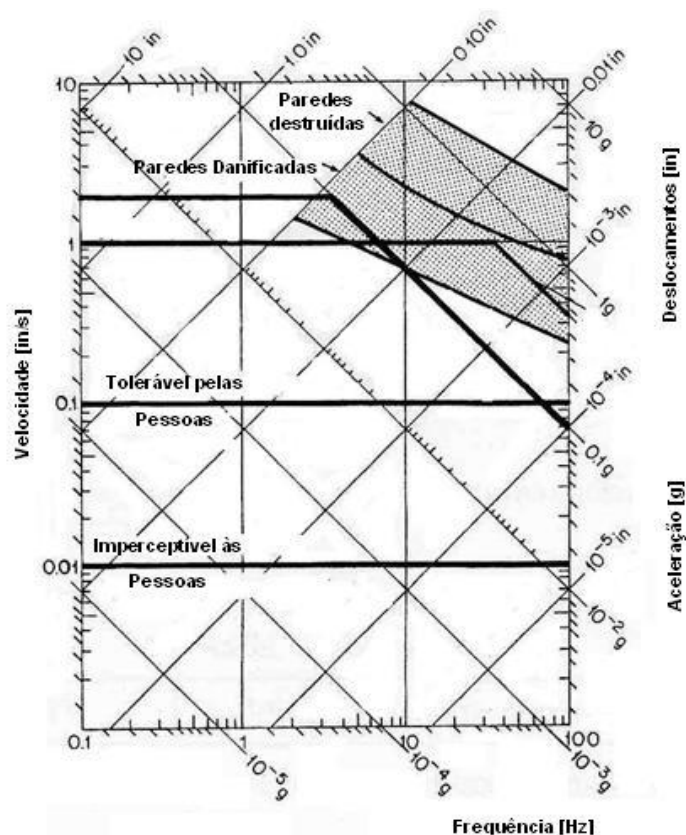


Figura 68: Espectro de resposta para efeitos da vibração em pessoas e estruturas
(Adaptado de BAHCMANN); 1 in = 25.4 mm

6.4.2 Critério Fisiológico

Os efeitos dos fenómenos vibratórios nos seres humanos são complexos, e a sua quantificação não é simples. Carlos Dinis Gama e Gustavo Paneiro do IST publicaram um estudo sobre “A incomodidade humana perante as vibrações e sua caracterização absoluta e relativa”.^[27] Muitos outros estudos têm sido publicados, destacando-se a publicação nº209 do CEB: “*Vibration Problems in Structures – Practical Guidelines*”, de 1991.^[9]

A percepção das vibrações depende tanto das condições envolvente, como do indivíduo e, segundo a ISO 2631, da posição do mesmo. Por isso, não é de estranhar que num mesmo edifício, o mesmo fenómeno oscilatório ocasione incomodidades nuns locais e noutros o impacte vibratório se situe abaixo dos limites de desconforto humano, de tantas que são as variáveis que intervêm neste fenómeno. As vibrações são normalmente medidas em termos de acelerações (ou velocidades) e frequência e também depende das posições do indivíduo. As Figuras 69 e 70 indicam os limites de incomodidade em humanos às vibrações, relacionando a frequência com a velocidade e a regularidade da excitação.

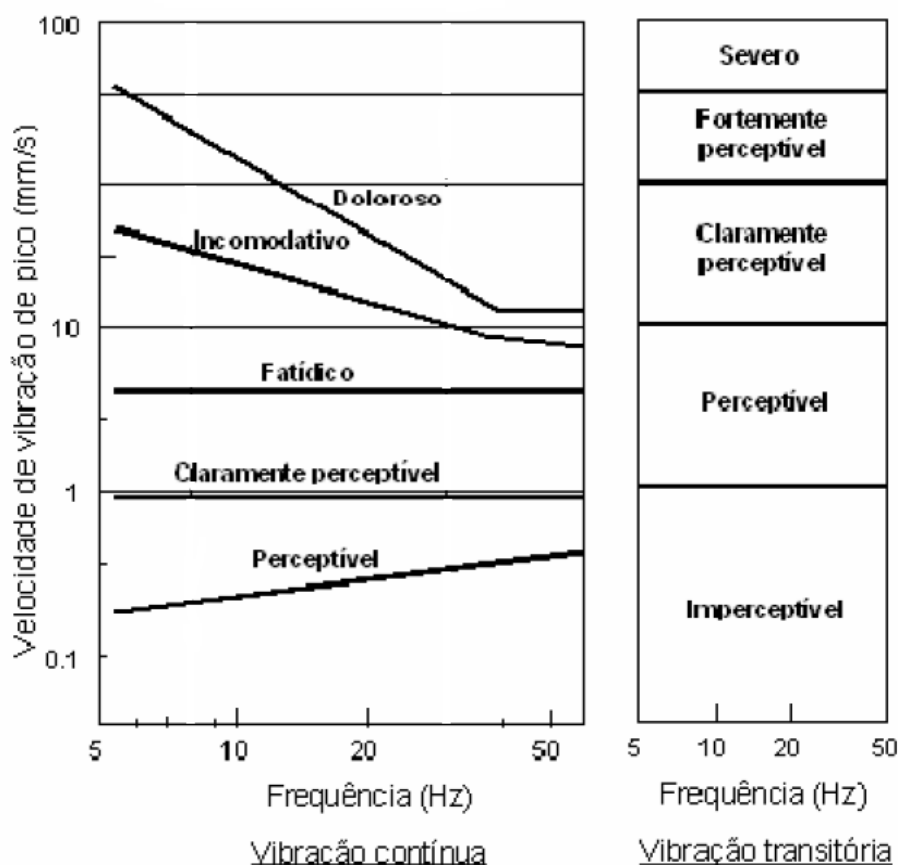


Figura 69: Graus de incomodidade das vibrações sobre pessoas
(Atewell & Farmer, 1976, adaptado por Gama)

A norma ISO 2631 sugere que a posição do indivíduo em relação à vibração influencia a sua percepção da mesma. Assim, de uma forma empírica, compreende-se que quanto maior for a

superfície de contacto do corpo com uma determinada superfície a vibrar, maior a percepção do indivíduo ao fenómeno vibratório.

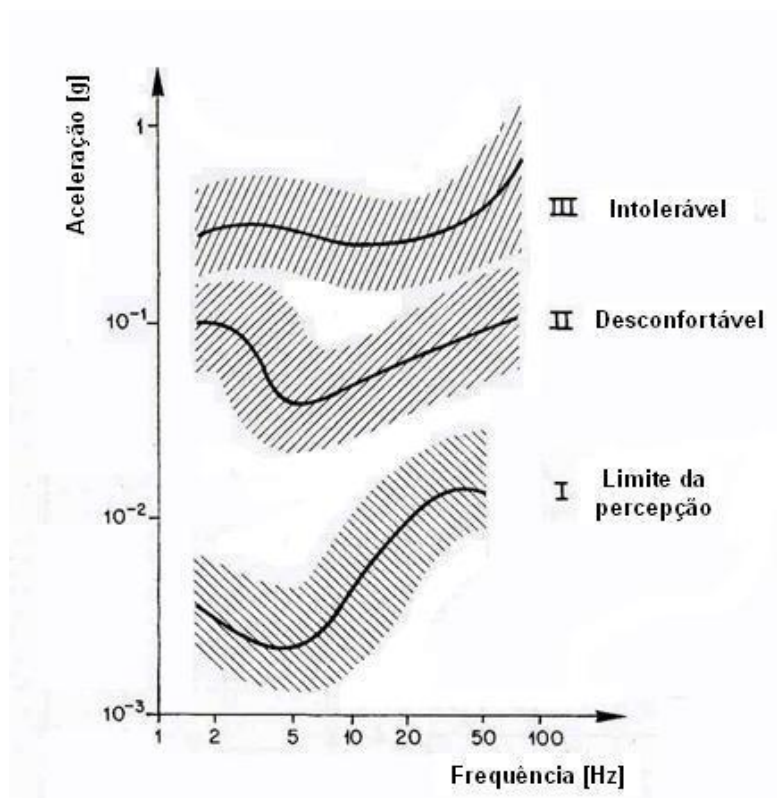


Figura 70: Percepção humana das acelerações de vibrações (BACHMANN)

A ISO 2631-1 define métodos de medida da vibração em humanos e indica os principais factores para determinar o grau de aceitabilidade à exposição da vibração. Ela apresenta informações e orienta quanto aos possíveis efeitos da vibração sobre a saúde, o conforto, o limite de percepção, na faixa de 0.5 a 8 Hz, e o enjoo, para frequências entre 0.1 e 0.5 Hz. ^[27]

Face à finalidade deste estudo, consideram-se os limites de conforto humano considerados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16: Critérios de aceitação para efeito de vibração em humanos

Efeito das vibrações nas pessoas	Frequências 1 a 10 Hz a_{\max} [mm/s ²]	Frequências 10 a 100 Hz v_{\max} [mm/s]
Imperceptível	10	0.16
Perceptível	40	0.64
Claramente Perceptível	125	2.0
Incomodativo	400	6.4
Desagradável (doloroso no limite)	1000	16.0
Inofensivo	> 1000	> 16.0

**Tabela 17: Valores admissíveis das vibrações para pessoas situadas em diversos locais
(ISSO 2631, adaptado por GAMA)**

Tipos de locais	Período	Limiar de incomodidade humana às vibrações
Hospitais	Dia ou Noite	0.10 mm/s
Residências	Dia / Noite	0.20 a 0.40 mm/s / 0.14 mm/s
Escritórios	Dia ou Noite	0.40 mm/s
Oficinas	Dia ou Noite	0.80 mm/s

O efeito vibratório pode também induzir ao aparecimento de ondas sonoras (ruído) da estrutura. Uma máquina por si só produz ruído que pode ser incómodo para os ocupantes do edifício principalmente dos que se encontram na vizinhança da mesma. Contudo, as vibrações transmitem-se até longas distâncias através de vários meios de propagação, tais como colunas, paredes, fundações, etc. (*structural borne sound*). Estas vibrações podem radiar das paredes e tectos como ruído audível. Como se pode constatar pela Figura 71 a frequência mínima audível é por volta dos 20 Hz, mas a audibilidade aumenta para frequências da ordem dos 50 Hz ^[1].

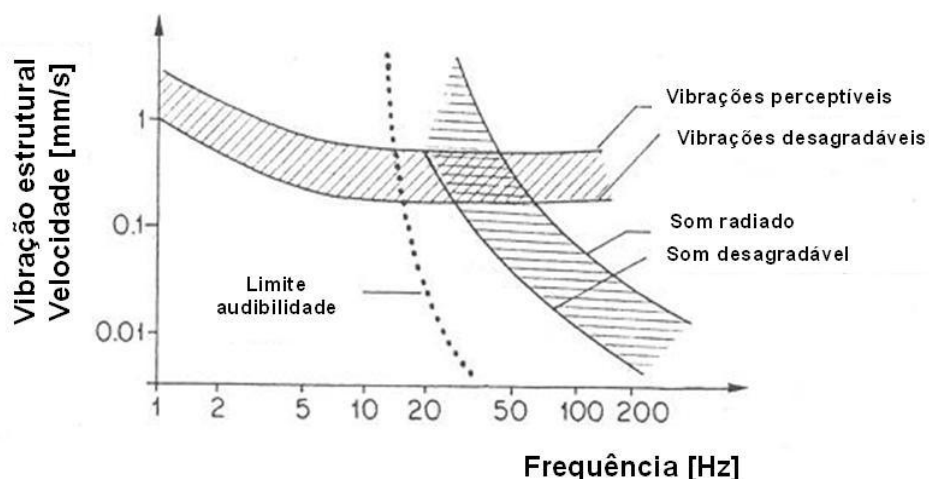


Figura 71: "Borne- vibration" em estruturas

6.5 Vibrações induzidas por helicópteros

Embora possa não ser um problema para heliportos ao nível do solo, as vibrações em heliportos elevados, nomeadamente os que são na cobertura de edifícios sensíveis, tais como hospitais, podem ser importantes.

As vibrações da estrutura do heliporto podem ser causadas pelo impacto da aterragem, vibrações da “máquina” transmitidas pelo trem de aterragem e o “*downwash*” do rotor principal^[7].

As cargas produzidas pelo impacto da aterragem não são cíclicas, pelo que as vibrações resultantes não devem ser um problema de maior para a estrutura. Além do mais, o efeito dinâmico do impacto de uma aterragem dura é já considerado no dimensionamento da estrutura através do coeficiente dinâmico, conforme referido no Capítulo 6. Tendo em conta que aterragens duras não são frequentes, não é recomendado qualquer requisito especial de dimensionamento para o impacto das vibrações de “aterragens duras”, para além dos já incorporados no coeficiente dinâmico^[7].

É, no entanto, possível que as vibrações transmitidas pelo trem de aterragem quando o motor está na máxima potência imediatamente antes da descolagem, ou depois da aterragem, possam causar ressonância na superfície dum heliporto elevado. A indução da vibração é nestes casos geralmente curta em duração e pequena na amplitude do sinal, pelo que pode ser ignorado para a maioria das estruturas.

A principal causa de eventual ressonância da estrutura depende portanto da acção de rotação do rotor principal do helicóptero, e será tanto maior quanto mais próxima for a frequência de excitação, que é função da velocidade de rotação do rotor, com a frequência própria vertical de vibração da estrutura, que é função da rigidez e massa desta. Durante o arranque e paragem do motor é possível que a frequência de ressonância da estrutura seja alcançada, mas como neste caso se está num regime transitório o seu efeito é em princípio negligenciável.

A situação descrita corresponde em geral a cargas dinâmicas com relativa curta duração e pequena amplitude, no entanto, dado que os hospitais correspondem a estruturas sensíveis à vibração, deve desenvolver-se uma análise dinâmica mais detalhada da estrutura e considerar o dimensionamento pormenores de isoladores de vibração^[7].

O último componente que pode induzir a vibração da estrutura em heliportos é gerado pelo *downwash* durante a descolagem/aterragem e voo estacionário em efeito de solo. Segundo Schwartz a maior parte do ar oriundo do rotor em efeito de solo é estagnado, isto é, não há campo de pressão com efeito pulsante por baixo do rotor, excepto perto das pontas do rotor onde ele é de amplitude pequena^[7]. As vibrações induzidas pelo *downwash* podem ser negligenciadas no dimensionamento estrutural de heliportos^[7]. Contudo, na opinião de alguns especialistas em aerodinâmica de helicópteros, nos modelos de helicópteros mais recentes é possível que o aumento das velocidades da ponta do rotor aumente a amplitude do efeito pulsante do escoamento do *downwash*, e assim induzir a vibração da superfície de aterragem que, embora possa não ser condicionante para o seu dimensionamento, pode condicionar o funcionamento normal do edifício sobre o qual está implantado o heliporto.

Em resumo, as vibrações produzidas pelo helicóptero não condicionam o dimensionamento da estrutura do heliporto. Contudo, em edifícios com heliporto na cobertura, estas vibrações podem causar desconforto aos seus ocupantes e/ou condicionar o bom funcionamento de equipamentos, particularmente em edifícios sensíveis, como é o caso dos hospitais.

6.6 Caso de Estudo

O objectivo deste estudo é avaliar o efeito das vibrações que o EH-101 “Merlin” pode transmitir, através da plataforma de aterragem, para a estrutura do hospital sobre o qual aterra. Desta forma, pretende avaliar-se as vibrações produzidas pela operação do EH-101 sobre a estrutura anteriormente desenvolvida e os possíveis ganhos no caso de se implementar um sistema de isolamento na base da estrutura.

6.6.1 Análise das vibrações Produzidas pelo EH-101

Durante a execução deste estudo foram desenvolvidos esforços e idealizadas ensaios com objectivo de avaliar as vibrações transmitidas pelo helicóptero ao solo durante as manobras de aterragem. Pretendia-se deste modo caracterizar o escoamento do ar por baixo do rotor e avaliar a sua frequência e intensidade. Por dificuldades várias não foi possível executar estes ensaios, que permitiriam caracterizar a carga dinâmica real transmitida pelo EH-101 ao terreno durante uma aterragem.

A FAP tem um programa de avaliação e controlo das vibrações dentro do helicóptero, pelo que as aeronaves estão equipadas com uma série de sensores para avaliar os níveis de vibração em pontos-chave do aparelho. A Figura 72 mostra a localização dos sensores espalhados pela aeronave, que pertencem ao sistema RADS-AT, que é um sistema de equilibragem de rotores e controlo dos níveis vibratórios.

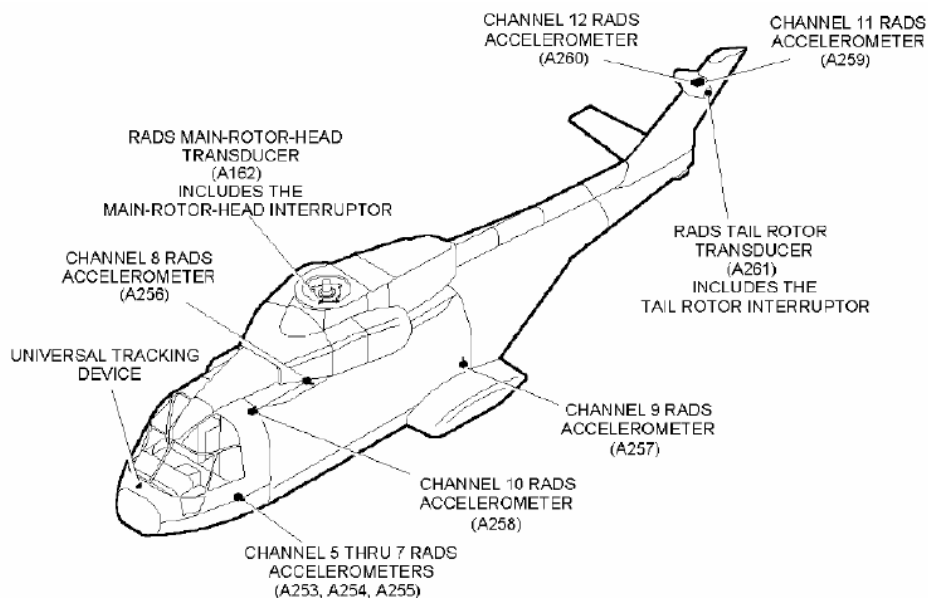


Figura 72: Localização dos componentes do RADS-AT (SOUSA – Relatório Tirotínio)

Junto da Direcção de Material Aeronáutico (DMA) da FAP foi possível obter os registos existentes e, analisados em colaboração com os técnicos desta direcção, permitiu interpretar os registos e compreender as vibrações que o helicóptero transmite para o exterior e como estas podem influenciar o dimensionamento da zona de aterragem.

Os dados são recolhidos em várias condições de voo, estando o sistema de análise programado para filtrar os resultados para frequências determinadas, que estão relacionadas com a velocidade de rotação do rotor principal ($R = 214 \text{ RPM} = 3.57 \text{ Hz}$) e a velocidade de passagem das pás do rotor principal e respectivas harmónicas. Como o rotor é constituído por 5 pás, a frequência fundamental respectiva é 17.83 Hz ($5 R$). São registadas para estas gamas de frequências os deslocamentos, velocidades e acelerações, nos diferentes acelerómetros, excepto para a condição de linha de voo a 135 kts ($\text{knots} - [\text{Milha Náutica} / \text{hora}]$) em que o resultado é apresentado segundo um espectro de Fourier.

Analizadas as características dos acelerómetros, verifica-se que na direcção do trem principal existem dois sensores, um no chão da cabine, que mede na direcção vertical ($A257 - \text{CRVert}$), e outro sobre a porta lateral, que mede na direcção lateral ($A256 - \text{FRLat}$). Das cinco condições de voo com registos, só são relevantes para este estudo o voo estacionário em efeito de solo (*Hover*) e helicóptero pousado em potência mínima (*MPOG - Minimum Pitch on Ground*).

Os dados recolhidos para este estudo referem-se ao voo realizado pela aeronave com o número de cauda 19612, no dia 14 de Dezembro de 2006. As Figuras 73 e 74 representam o espectro de Fourier das frequências e respectivas acelerações nos sensores mencionados a uma velocidade e cruzeiro de 135 kts . É certo que esta não é a condição de voo que mais se adequa ao presente estudo, contudo as figuras mostram a gamas de frequências que mais se fazem sentir no helicóptero e, à parte de um factor de escala, é nestas frequências que a magnitude das cargas transmitidas para o exterior será mais elevada.

Para as condições de voo em *MPOG* e *Hover* é possível obter informação através de gráficos polares que para cada frequência dá a intensidade e a fase do sinal obtido, como se pode ver nas Figuras 75 e 76 que mostram os resultados para a frequência de paragem das pás – $5 R$ (18 Hz), o que corresponde ao sinal com maior magnitude em termos de aceleração.

A Tabela 18 resume a intensidade do carregamento em G's (RMS) para as principais harmónicas da frequência de rotação do motor, onde mais uma vez se verifica que a maior intensidade se faz sentir na frequência de passagem das pás do rotor principal ($5 R$).

Tabela 18: Resumo das acelerações no helicóptero nos diferentes sensores

Frequência ($R=3.6 \text{ Hz}$)	FRLat				CRVert			
	MPOG		Hover		MPOG		Hover	
	(G's)	(mm/s^2)	(G's)	(mm/s^2)	(G's)	(mm/s^2)	(G's)	(mm/s^2)
R	0.01	98.1	0.02	196.2	0.0	0	0.01	98.1
5 R	0.01	98.1	0.06	588.6	0.01	98.1	0.01	98.1
10 R	0.01	98.1	0.02	196.2	0.01	98.1	0.03	294.3

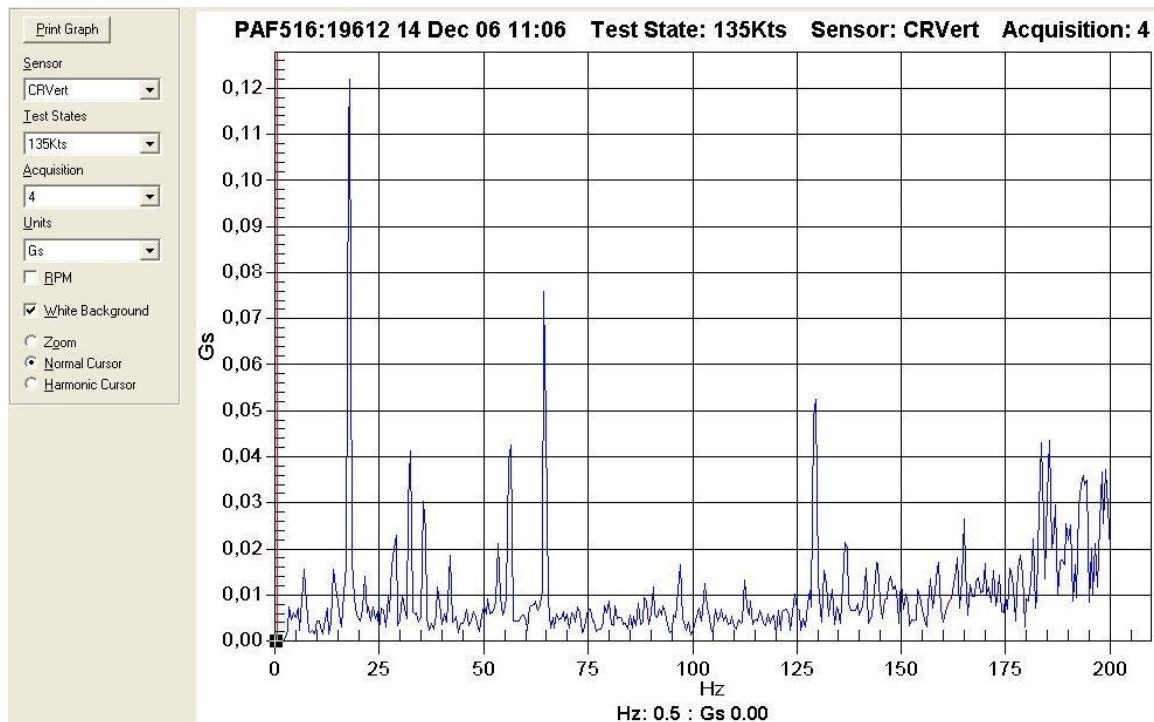


Figura 73: Espectro de Fourier CRVert

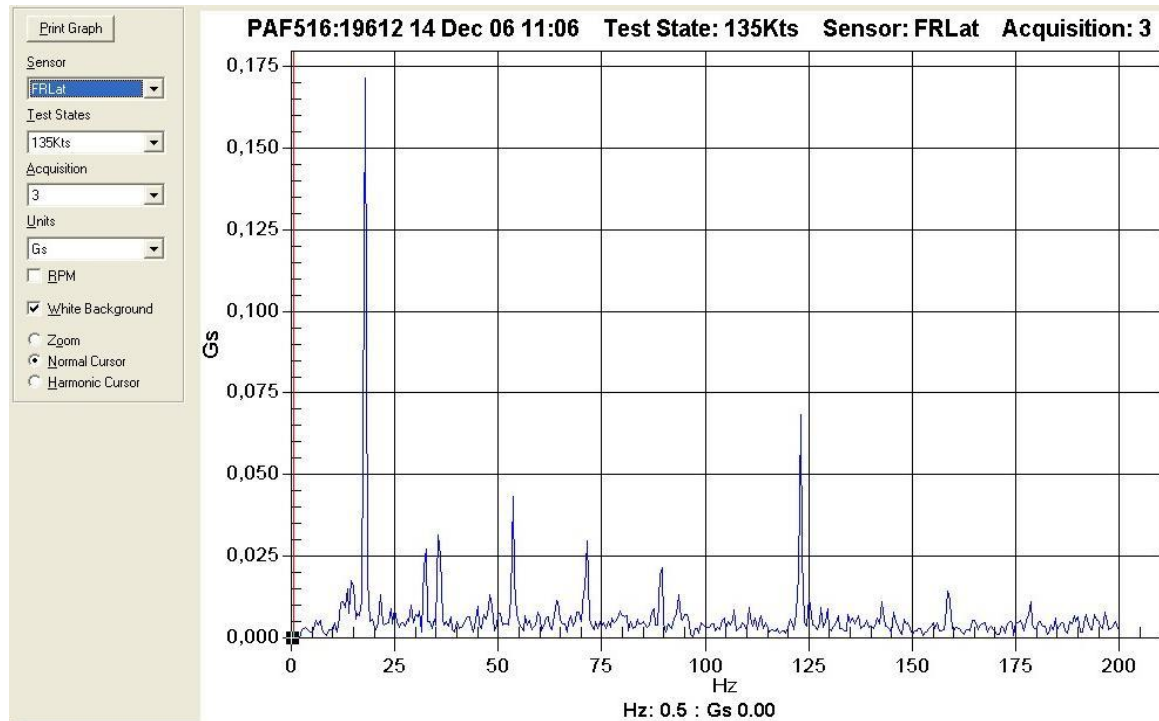


Figura 74: Espectro de Fourier FRLat

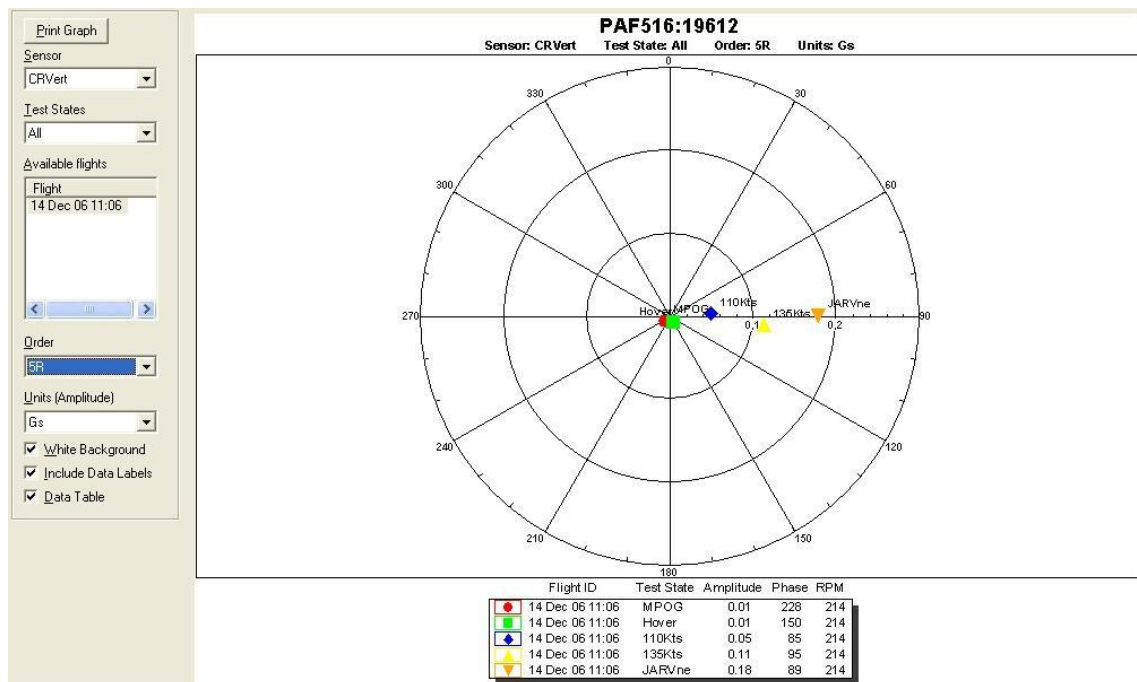


Figura 75: Gráfico polar para a frequência 5R em CRVert

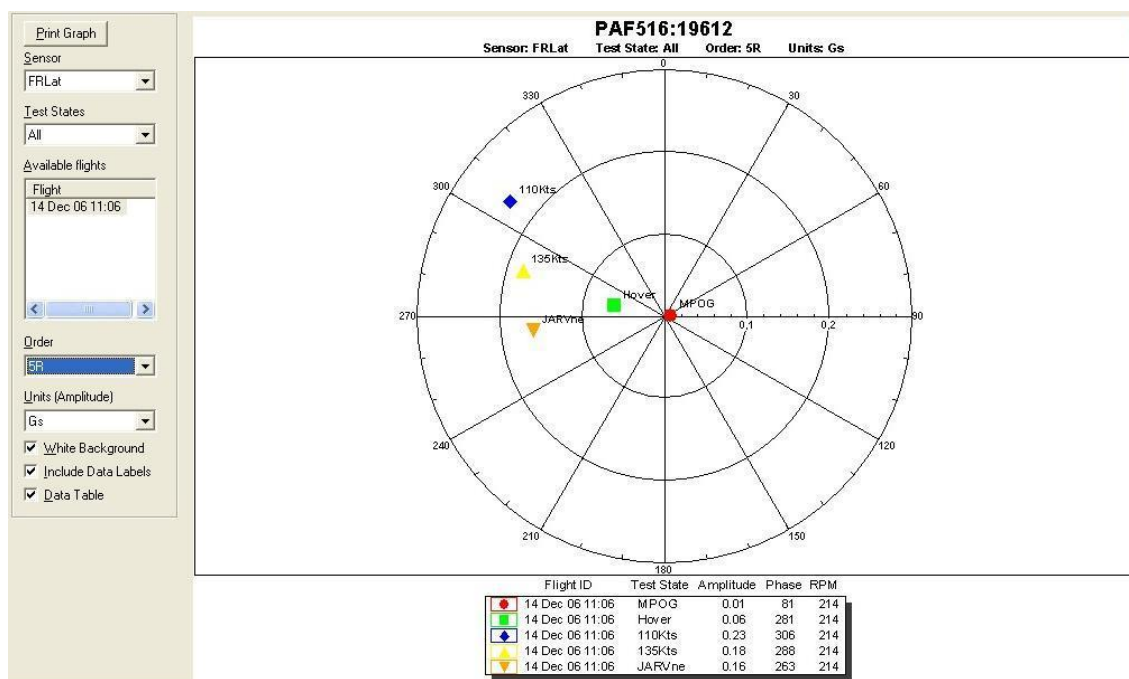


Figura 76: Gráfico polar para a frequência 5R em FRLat

Como foi referido anteriormente, a vibração que o helicóptero pode transmitir para a plataforma de aterragem é, em princípio, transmitida através das rodas quando o helicóptero está no solo, pois o efeito do choque da aterragem é um efeito transitório contemplado no dimensionamento estrutural e o *downwash* é um fluxo de contínuo (não pulsante).

De forma a fazer uma análise o mais abrangente possível considera-se que o helicóptero está parado e desligado na plataforma. Durante o procedimento de arranque é provável que a máquina excite a frequência fundamental da estrutura, mas este efeito pode ser desprezado por ser transitório e de curta duração. É em potência mínima que o aparelho pode estar a trabalhar alguns minutos, pelo que é nesta condição que o seu efeito pode ser mais sentido na infra-estrutura de suporte.

Os valores das vibrações apresentados não correspondem aos valores transmitidos para o exterior, contudo demonstram a sua amplitude aproximada e sobretudo as frequências críticas para o dimensionamento do sistema de isolamento, sobretudo para as acelerações verticais, pois o sensor (CRVert) está colocado sobre uma perna do trem principal.

Mediante a análise dos dados anteriores constata-se que a frequência vertical mais baixa que à partida é transmitida do helicóptero para a plataforma de aterragem corresponde à frequência de passagem das pás do rotor principal, ou seja, 18 Hz.

6.6.2 Dimensionamento do sistema de isolamento

O dimensionamento dum sistema de isolamento tem como base três grandezas que devem ser estudadas e que condicionam o resultado final:

- Frequências Próprias da estrutura;
- Gama de frequências de excitação e respectiva magnitude;
- Transmissibilidade admitida.

Em obras de Engenharia Civil a transmissibilidade admitida é da ordem de 10%, o que corresponde a -20 dB. Por exemplo, este foi o valor considerado para o dimensionamento de rigidez vertical do isolamento de base do novo Hospital da Luz, que para além do melhoramento do comportamento do edifício ao sismo, pretende evitar que as vibrações produzidos pela passagem do metropolitano na vizinhança afectem doentes e/ou equipamentos.

Definida a transmissibilidade admitida analisa-se o gráfico de transmissibilidade e define-se qual a relação ω/ω_0 mínima, sendo que ω é a menor das frequências de excitação admitidas. A Figura 77 mostra que, para valores de $\omega/\omega_0 \geq \sqrt{2}$, quanto menor for o coeficiente de amortecimento da estrutura de suporte melhor será o seu funcionamento. Assim, para garantir uma transmissibilidade inferior a -20 dB, para um coeficiente de amortecimento global de 10%, a frequência próprias da estrutura de apoio (mais amortecimento) deve ser 3.6 vezes inferior à frequência de excitação mais baixa.

A plataforma de aterragem mais o sistema de amortecimento pode ser simplificado por uma associação em série de molas de rigidez, k , como se pode ver na Figura 78 cuja rigidez global é dada por:

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{1}{k_i} \quad (33)$$

Ao introduzir um isolamento na base duma estrutura, com uma dada rigidez, k , faz com que a rigidez global da estrutura diminua e, por conseguinte, segundo a equação (19) a frequência própria da estrutura é reduzida, o que melhora o seu comportamento perante a vibração.

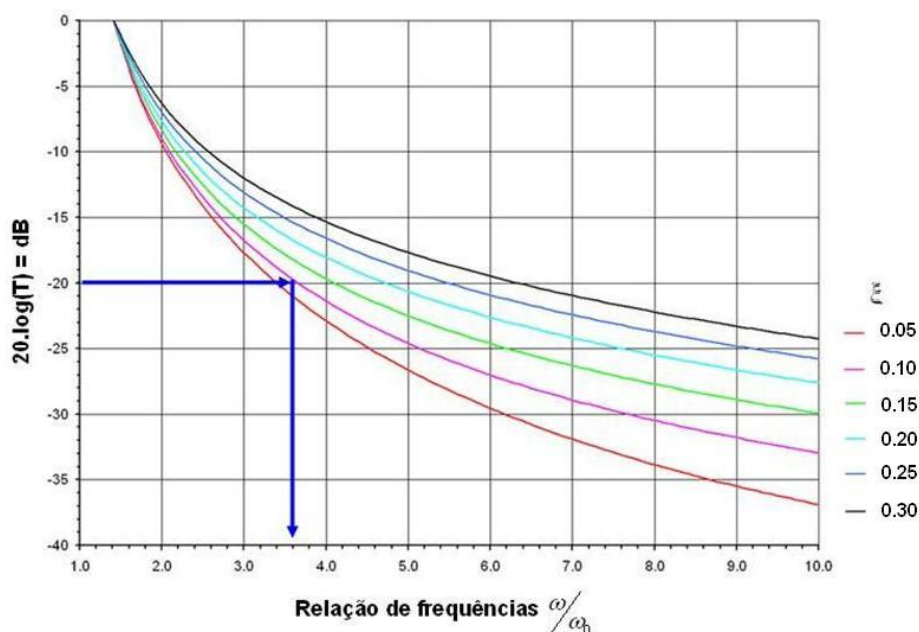


Figura 77: Transmissibilidade (dB) para diferentes coeficientes de amortecimento

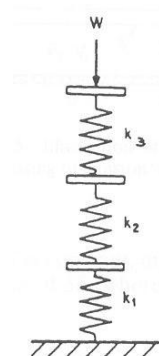


Figura 78: Associação de molas em série

6.6.3 Análise dinâmica do modelo de elementos finitos da estrutura

Foi feita a análise modal da estrutura da solução dimensionada e o primeiro modo com movimento vertical apresenta uma frequência própria, $\omega_0 = 5.6$ Hz, o que implica $\omega/\omega_0 = 3.2$, em relação à frequência forçada de excitação de $\omega = 18$ Hz. Desta forma, a transmissibilidade é ligeiramente superior a 20 dB. Analisando directamente estes resultados pode afirmar-se desde já que a estrutura poderia ser construída sem necessidade de qualquer isolamento de base.

De qualquer forma, para compreender o efeito do isolamento no comportamento da estrutura às vibrações verticais escolheram-se 2 pontos de controlo nos pilares, um a 5 e outro a 25 cm da base. Entre estes dois pontos, foram intercaladas molas verticais com diferentes valores de rigidez, para avaliar a transmissibilidade das vibrações através do controlo das acelerações (e velocidades) nos pontos referidos. Os pontos de controlo escolhidos situam-se no pilar central sendo o ponto mais próximo da base denominado por “Control Inf” e o outro por “Control Sup”.

Simulou-se a situação em que o helicóptero está mais tempo a trabalhar em regime contínuo sobre a estrutura na condição de MPOG. Da Tabela 18 pode observa-se que nestas condições, e simulando a acção com uma variação no tempo com frequência de 18 Hz (5R), a aceleração é aproximadamente 0.1 m/s^2 . Para simular as vibrações que o helicóptero transmite à estrutura aplicaram-se em dois pontos no meio da laje duas forças verticais de 72 kN associadas a uma acção dinâmica sinusoidal com 18 Hz de frequência e uma amplitude de 0.1 m/s^2 durante 30 s. Esta acção é uma aproximação conservativa, dado que se despreza a contribuição dos amortecedores da aeronave e que se considera que possui o peso máximo à descolagem. No entanto, ao simular só uma acção vertical, está-se a desprezar as acções do corte também transmitidas pelo helicóptero.

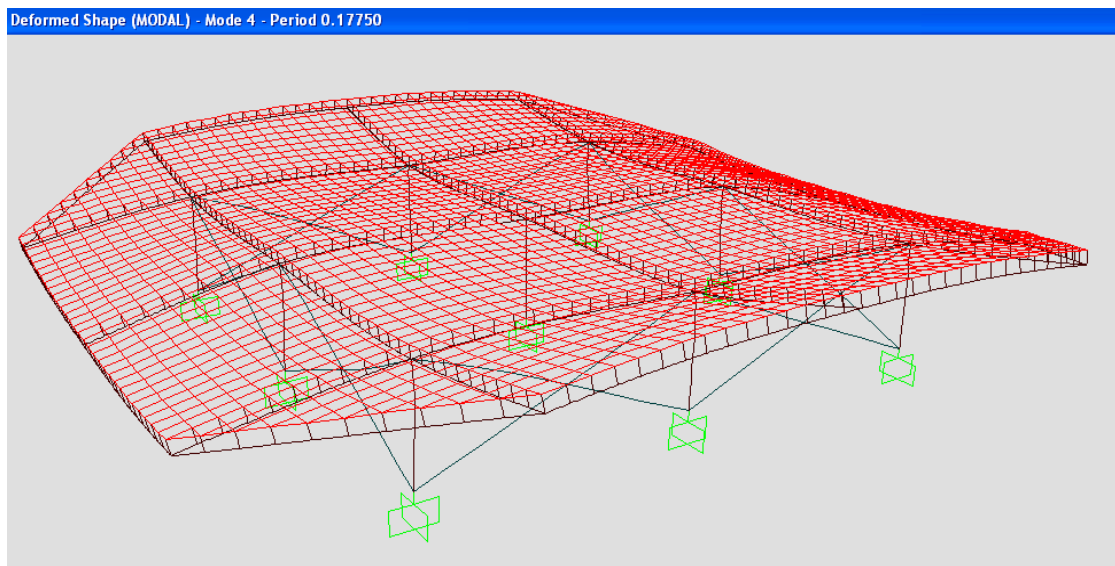


Figura 79: Primeiro modo de excitação vertical da laje (estrutura sem amortecimento)

Foram feitas 2 simulações e respectivas medições das respostas nos pontos de controlo, a primeira considerando o modelo encastrado na estrutura de suporte (portanto sem sistema de amortecimento), e a segunda considerando um sistema amortecido em todos os pilares, com um material do tipo borracha de rigidez vertical (k) 10000 kN/m. Nos pontos de controlo foram avaliadas as acelerações e velocidades relativas, ao ponto de equilíbrio (Figuras 81 a 84), e os modos de vibração, nomeadamente o primeiro modo de vibração vertical (Figura 80).

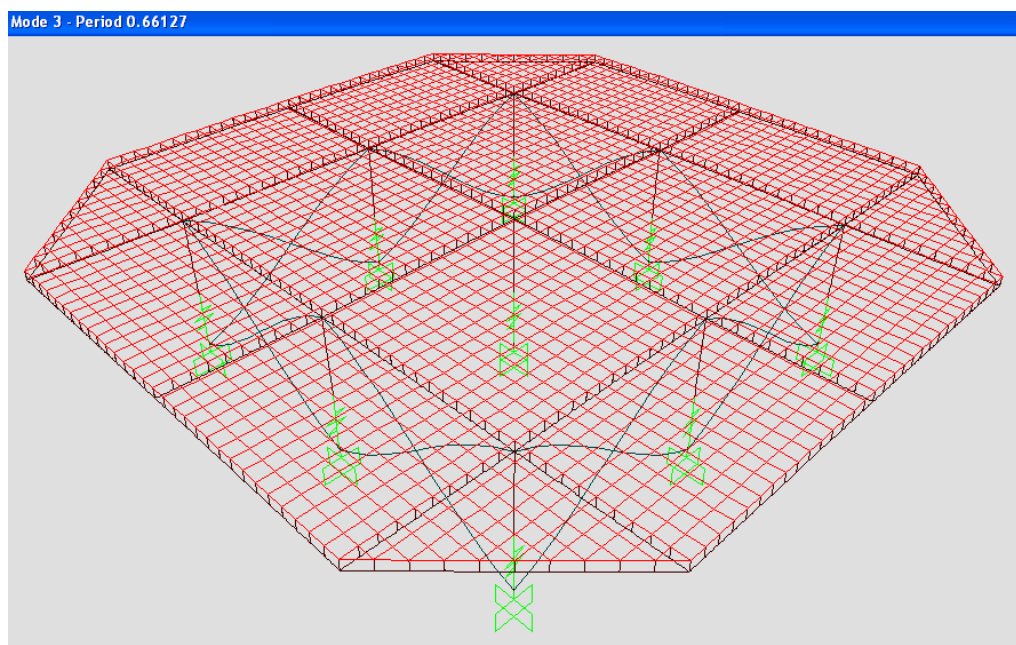


Figura 80: Primeiro modo vertical com molas $k=10000$ kN/m

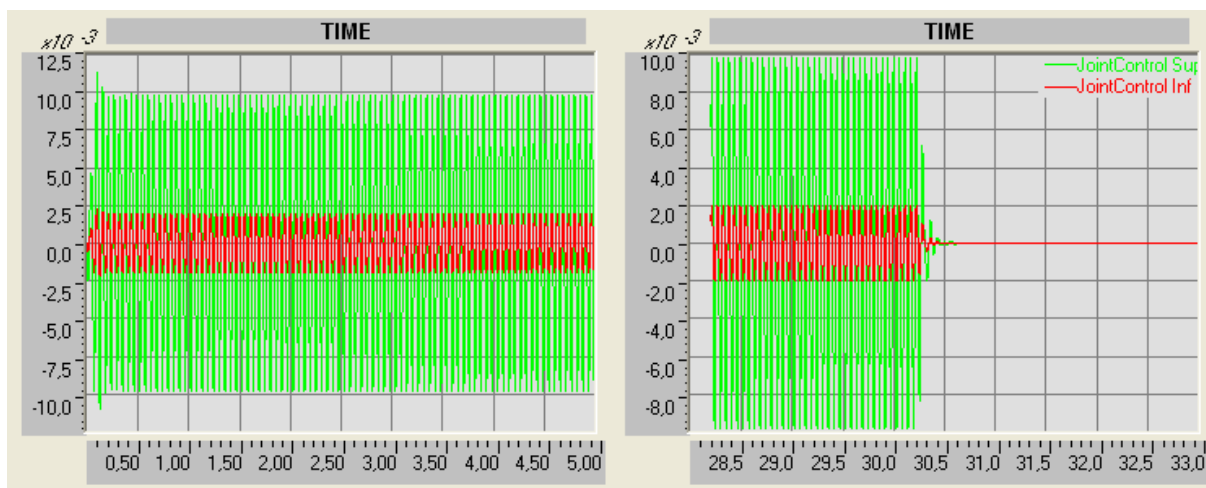


Figura 81: Acelerações nos pontos de controlo no modelo encastrado [m/s²]

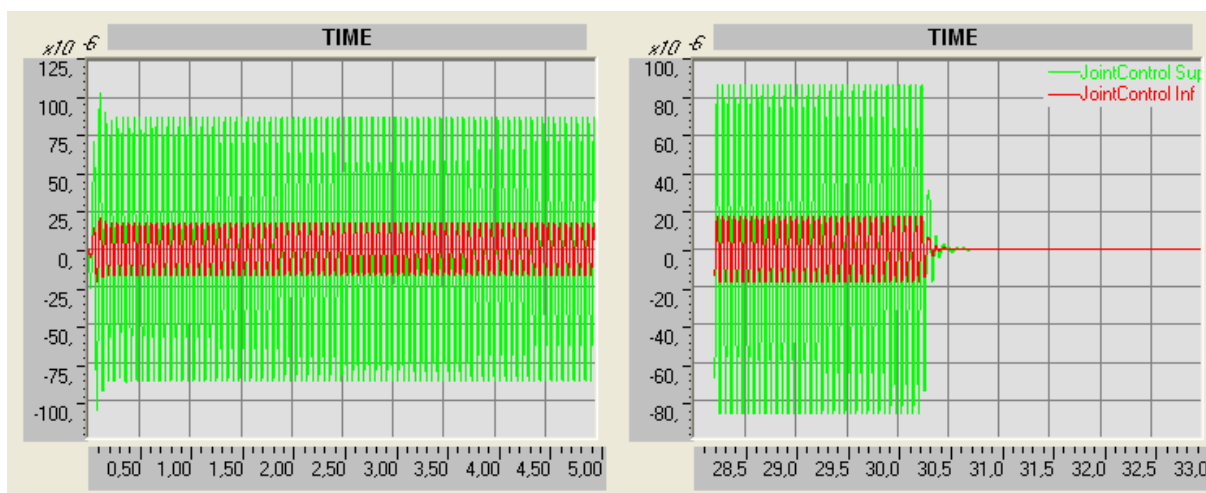


Figura 82: Velocidades nos pontos de controlo no modelo encastrado [m/s]

Com este ensaio consegue-se aferir as acelerações e velocidades transmitidas ao edifício onde assenta o heliporto antes e depois da base deste ser isolada com borracha.

A primeira diferença importante relaciona-se com a alteração dos modos de resposta da estrutura, nomeadamente dos modos verticais, nos quais a frequência própria de resposta (ω_0) diminui de 5.6 Hz para 1.5 Hz.

As Figuras 81 e 82 representam respectivamente as acelerações e velocidades, no primeiro segundo de regime forçado, nos pontos de controlo. As Figuras 83 e 84 referem-se à mesma informação mas para o modelo com isolamento. Observando estes resultados verifica-se que no modelo isolado a amplitude das medições diminui significativamente no ponto de controlo inferior. Também é visível que no modelo isolado o efeito de amortecimento da vibração da estrutura se traduz num decaimento mais rápido quando se considera a ligação encastrada.

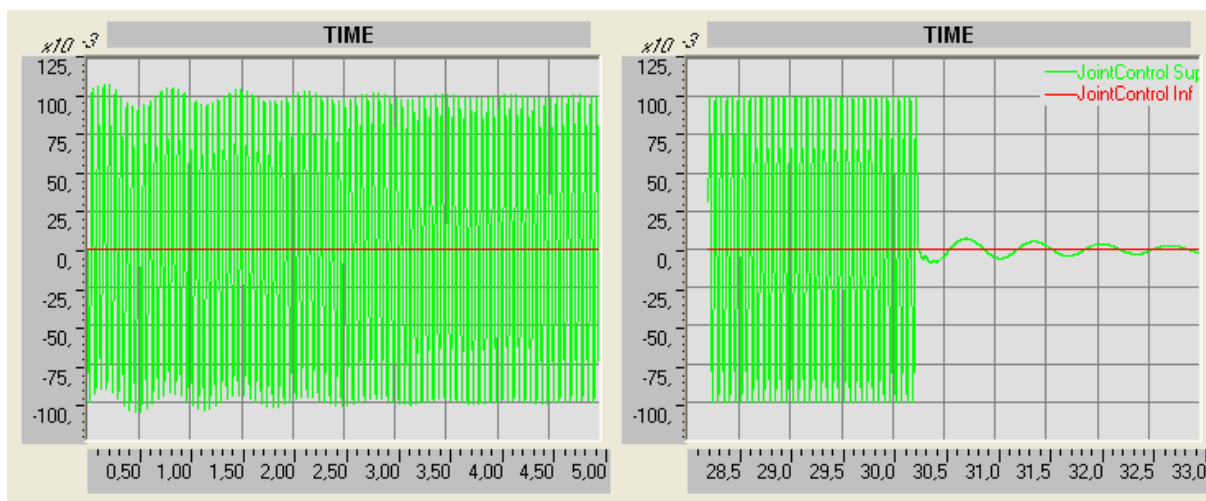


Figura 83: Acelerações nos pontos de controlo no modelo com molas ($k=10000\text{kN/m}$) [m/s^2]

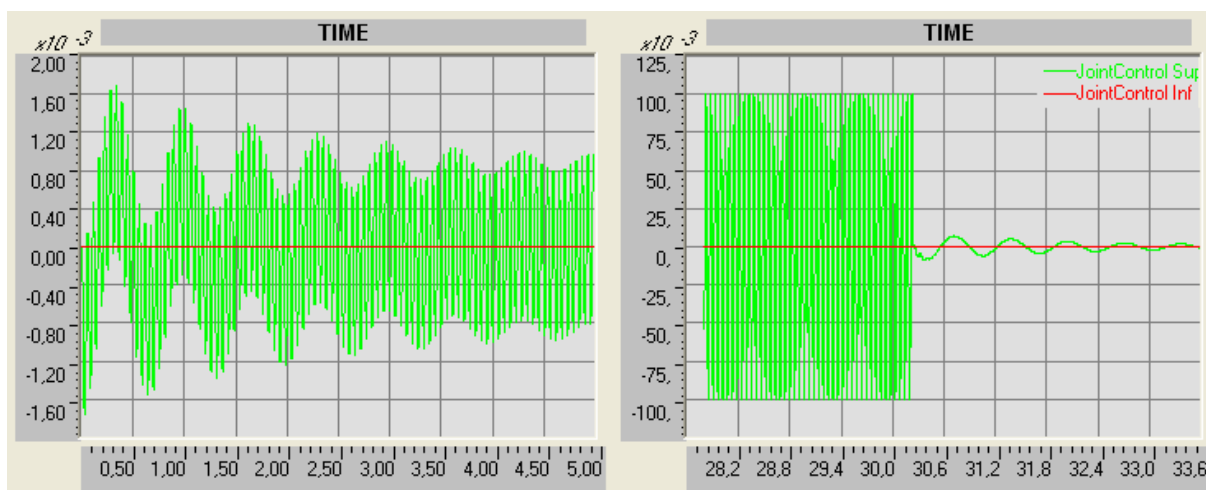


Figura 84: Velocidades nos pontos de controlo no modelo com molas ($k=10000\text{kN/m}$) [m/s]

Os resultados indicam que um isolamento na base da estrutura do heliporto reduz significativamente as vibrações transmitidas ao edifício, mas amplifica ligeiramente o efeito na própria estrutura do heliporto. Este tipo de dimensionamento é à partida desnecessário para a maioria dos edifícios, dadas as amplitudes de movimento provocado pelo helicóptero. Contudo, em edifícios sensíveis, como os hospitais, pode ser considerada a utilização de sistemas de isolamento de base, tanto tendo em conta o conforto dos ocupantes, na sua maioria doentes, como pela sensibilidade do equipamento instalado.

Estes sistemas de isolamento foram aliás já adoptados em heliportos elevados como se pode observar na Figura 85. Um conjunto destes aparelhos de apoio foram aplicado na base da plataforma de um heliporto nos EUA pela *Kinetics Noise Control*.



Figura 85: Aparelho de apoio num heliporto elevado (cortesia de Dave Meredith)

7 Conclusão

Neste capítulo resumem-se os aspectos mais importantes do trabalho realizado.

7.1 Situação actual – A Força Aérea Portuguesa substituiu recentemente os helicópteros médios SA-330 “Puma” da esquadra 751, pelos helicópteros pesados EH-101 “Merlin”. Sendo claro que esta nova aeronave representa uma melhoria significativa na capacidade de operação, ela coloca igualmente novos desafios. De facto, o EH-101 é substancialmente maior e mais pesado que o seu antecessor o que, associado ao facto de ser uma aeronave relativamente recente, dá origem a novos desafios à engenharia que se dedica à concepção e dimensionamento de infra-estruturas para helicópteros.

7.2 Objectivo do trabalho – O objectivo do trabalho consistiu em conceber e dimensionar a nível de Estudo Prévio um heliporto na cobertura dum edifício construído, que possibilite a operação do EH-101 “Merlin” sem restrições. Considerando que uma das missões da esquadra 751 consiste no transporte de sinistrados directamente para um hospital central, o caso de estudo correspondeu ao estudo de uma solução estrutural para um heliporto a construir na cobertura de um hospital em funcionamento. Neste contexto, as principais linhas de desenvolvimento do trabalho foram: 1) estudo das soluções construídas, 2) identificação dos condicionamentos de projecto, 3) resumo da legislação aplicável, 4) concepção e dimensionamento de uma solução estrutural aplicável à situação de um heliporto a construir na cobertura de um edifício hospitalar em funcionamento, e 5) estudo das vibrações introduzidas na estrutura do edifício durante a operação normal do heliporto.

7.3 Estudo de soluções construídas – Na sua maioria, os heliportos elevados são construídos em aço e/ou betão. Estes materiais são pesados o que torna, por vezes, necessário reforçar a estrutura dos edifícios de suporte. O alumínio e os materiais compósitos são materiais mais leves que o aço e o betão, contudo mais onerosos. O betão é de todos o material menos oneroso, requer pouca manutenção e é bastante resistente ao fogo, contudo as estruturas de betão armado são em geral mais pesadas. As estruturas totalmente em aço são correntes em heliportos construídos em edifícios ou torres muito altas, deve contudo atender-se a rigidez que a estrutura da plataforma terá que ter para permitir a operação de helicópteros pesados em segurança. Quando se associa o aço estrutural ao betão é possível conceber soluções estruturais com vigas e pilares em aço e laje de betão, conseguem-se estruturas relativamente ligeiras, e com a rigidez necessária. O alumínio possibilita estruturas leves e fáceis de construir, é muito resistente aos elementos atmosféricos e praticamente dispensa manutenção, contudo é menos resistente ao fogo. Por fim, os materiais compósitos, cuja aplicação em projectos deste género é muito recente, associam as vantagens do alumínio à resistência ao fogo, no entanto, o seu preço elevado e o relativo desconhecimento da evolução das suas propriedades ao longo do tempo têm limitado a sua aplicação em estruturas de heliportos elevados.

7.4 Condicionamentos de projecto – No projecto duma instalação aeroportuária em geral, para além dos condicionantes devido à geometria e às acções, é necessário atender-se às condicionantes de ruído e de espaço livre circundante à infra-estrutura, que são específicas do tráfego aéreo. A opção por um heliporto elevado construído na cobertura de um edifício, é portanto uma opção lógica nos grandes centros urbanos, onde o custo dos terrenos é elevado e as construções são normalmente em altura. Nestes casos, a instalação de um heliporto num ponto mais elevado que os obstáculos circundantes corresponde, normalmente, à solução mais simples e segura. Por outro lado, os helicópteros são aeronaves particularmente ruidosas, pelo que a instalação de um heliporto elevado permite a sua operação com menores restrições de ruído, possibilitando também a definição de rotas de circulação sobre a cidade que evitem zonas sensíveis ao ruído. Por fim, é fundamental garantir a durabilidade da estrutura e a segurança em todas as operações com as aeronaves no heliporto, garantindo sempre que o espaço aéreo circundante permaneça livre de obstáculos, e respeitando a legislação aplicável.

7.5 Legislação aplicável – Em Portugal, a construção, certificação e exploração de aeródromos civis é regulada pelo recente Decreto-Lei n.º186/2007. A nível internacional, compete à *International Civil Aviation Organization* (ICAO) definir os princípios e acordos que permitam a evolução da aviação civil internacional de forma organizada e segura, emitindo na forma de Anexos as suas recomendações. O Anexo 14, volume II, complementado pelo Heliport Manual, são ICAO de referência para a construção de um heliporto. Contudo, estes anexos contêm apenas recomendações, o que leva alguns países a legislar sobre esta matéria. Em Portugal, compete ao Instituto Nacional de Aviação Civil (INAC) a regulamentação da Aviação Civil. No entanto, tanto o INAC como o recente Decreto-Lei nº186/2007, remetem para os documentos ICAO, no caso específico do dimensionamento de infra-estruturas aeroportuárias.

7.6 Revisão da legislação – A ICAO formou recentemente uma comissão de revisão designada por *Heliport Design Working Group* (HDWG), para rever os requisitos preconizados pelo Anexo 14 relativamente à concepção e projecto de heliportos. Pelo que se conhece, as propostas deste grupo apontam para uma diminuição significativa das dimensões da zona de aterragem, bem como das suas características resistentes. Esta alteração corresponde a reduzir a área resistente de um heliporto para helicópteros das classes PC2 e PC3, onde se assume como possível a aterragem, de 1.5D para 1D, sendo D a maior dimensão da aeronave que se prevê venha a operar no heliporto. Em contrapartida, a comissão de revisão propõe o aumento da área de segurança, sem características resistentes capazes de garantir a operação normal mas com capacidade para suporte do helicóptero em situações imprevistas, de 0.25 D para 0.50 D.

7.7 Legislação para heliportos do Serviço de Emergência Médica – Os heliportos destinados a fins de interesse público, nomeadamente os pertencentes ao Serviço de Emergência Médica, não se encontram directamente abrangidos pelo Decreto-Lei nº186/2007 nem pelas recomendações ICAO.

No entanto, Portugal é membro da *Joint Aviation Organization* (JAA), entidade que regula a aeronáutica civil em território Europeu, emitindo este organismo as normas *Joint Aviation Recommendations* (JAR). Segundo este organismo o Serviço de Helicópteros de Emergência Médica só pode ser realizado por helicópteros das classes 1 e 2. Nos EUA uma entidade semelhante com enorme experiência acumulada, a *Federal Aviation Administration* (FAA), regula a aeronáutica civil e, embora outros países não tenham que seguir as entidades americanas, as suas normas constituem normalmente uma referência. Segundo a FAA, os heliportos civis destinados ao Serviço Nacional de Emergência Médica devem ser dimensionados de modo a que também os helicópteros militares com missão de transporte de sinistrados possam operar sem restrições. A transposição destas normas para Portugal carece de legislação específica que defina de forma clara as condições que se consideram necessárias para que um heliporto civil destinado à emergência médica deve possuir para que se considere que nele pode operar sem restrições uma aeronave militar, e nomeadamente o novo EH-101 “Merlin”.

7.8 Solução estrutural para um heliporto elevado de um hospital – No caso de heliportos englobados no projecto de um complexo hospitalar, naturalmente que as soluções estruturais totalmente em betão armado revelam-se em geral em Portugal as mais económicas. No entanto, no caso da construção de um heliporto elevado na cobertura de um hospital em funcionamento, outros factores são de considerar, nomeadamente: a) o peso adicional da nova estrutura na cobertura e sua influência no comportamento estrutural do edifício, e b) a facilidade de execução da nova estrutura com o hospital em funcionamento. Neste sentido, soluções estruturais do heliporto elevado com estrutura mista aço / betão afiguram-se uma boa solução, dado que: a) se trata de uma estrutura mais leve que uma solução totalmente de betão, b) permite uma ligação simples à estrutura do edifício, e c) se trata de uma estrutura em que é possível a pré-fabricação da maioria das componentes da estrutura, tanto da estrutura metálica, como da laje de betão, reduzindo assim os trabalhos em obra à montagem destas componentes. O dimensionamento da plataforma que materializa a zona de aterragem e a estrutura de apoio é feito conforme o preconizado pelo *Heliport Manual*, contudo os restantes regulamentos nacionais aplicáveis à construção são verificados. Foram dimensionadas duas zonas de aterragem, uma em função do regulamento em vigor e outra em função das propostas do HDWG. Tendo em conta que se prevê que o Anexo 14 do ICAO seja brevemente revisto, foi dimensionada uma estrutura para suportar a plataforma resultante das propostas para o futuro Anexo 14. Trata-se de uma estrutura constituída por uma grelha metálica com vãos tipo de 7.5 m, constituída por vigas HEB 400 apoiadas em colunas metálicas RHS 300x300x10. Sobre esta grelha metálica apoiam-se painéis de laje com 0.30 m de espessura, pré-fabricados ou eventualmente betonados no local com recurso a cofragem tradicional sobre um cimbrequil montado na laje de cobertura do edifício ou utilizando uma cofragem metálica perdida apoiada na estrutura metálica e em apoios provisórios na laje de cobertura. A ligação dos painéis de laje à estrutura metálica é realizada com conectores de cabeça que garantem o funcionamento misto da plataforma para as cargas das aeronaves e os pesos dos acabamentos. Esta solução mostrou ser estruturalmente eficiente, tanto em serviço, como para situações extremas especificadas regulamentarmente, e afigura-se ser

bastante mais simples e rápida de construir que uma solução totalmente em betão e, em Portugal, mais económica que uma solução totalmente metálica.

7.9 Estudo das vibrações transmitidas à estrutura do edifício – Um aspecto importante do projecto de um heliporto consiste na avaliação das vibrações transmitidas à estrutura do edifício hospitalar durante a operação normal de helicópteros na infra-estrutura. Mediante as características das acções e os requisitos do edifício em causa pode decidir-se isolar o edifício ou os equipamentos do efeito das vibrações. No caso dos helicópteros, as vibrações mais significativas são transmitidas pelas rodas à estrutura quando o helicóptero manobra no solo antes e depois de aterrar. Em geral, as vibrações produzidas por um helicóptero são de pequena amplitude e com elevadas frequências, bastante afastadas das frequências próprias do edifício, pelo que não afectam a sua estrutura. Contudo, estas frequências podem causar desconforto aos ocupantes ou condicionar a operação dos sensíveis equipamentos hospitalares. Nestes casos, pode justificar-se a adopção de sistemas de isolamento das vibrações que, conforme se verificou, reduzem bastante as acelerações transmitidas à estrutura do edifício, dentro da gama de frequências pretendida.

7.10 Desenvolvimentos futuros – O desenvolvimento deste trabalho evidenciou um conjunto de aspectos que devem ser tratados em maior detalhe em trabalhos futuros. Por um lado, torna-se necessário um estudo que fundamente a nova regulamentação aplicável à construção e operação de heliportos em hospitais em Portugal, detalhando as possibilidades de operação de helicópteros militares nestas infra-estruturas e as suas condições. Por outro lado, a importância e sensibilidade das estruturas hospitalares às vibrações, aconselha a que sejam bem conhecidas as acções transmitidas à plataforma de aterragem durante a operação normal dos heliportos elevados. Ensaios com aeronaves reais poderão contribuir para caracterizar melhor as acções dinâmicas transmitidas à estrutura. Por fim, a pormenorização e detalhe da solução estrutural, a nível de Projecto de Execução, constitui naturalmente um desenvolvimento do presente trabalho, bem como o estudo de soluções em alumínio ou materiais compósitos.

Bibliografia

LIVROS

- [1] BACHMANN, Hugo; AMMANN, Walter – “Vibrations in Structures – Induced by Man and MMachines” – Structural Engineering Documents 3e; IABSE-AIPC-IVBH; 1987
- [2] GESSOW, Alfred; MYERS, Garry C. Jr. – “Aerodynamics of the Helicopter”; Macmillan Company; New York, USA; 1952
- [3] HARRIS, Cyril M.; PIERSOL, Allan G. – “Harris’ Shock and Vibration Handbook” – Fifth Edition; McGraw-Hill Handbooks; 2002.
- [4] HORONJEFF, Robert; McKELVEY, Francis X. – “Planing & Design of Airports”; McGraw-Hill, 4ª Edition, 1994
- [5] KELLY, James M. – “Earthquake-Resistant Design with Rubber”; Springer-Verlag
- [6] McCORMICK, Barnes W. – “Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics”; John Wiley & Sons; New York, USA; 1995
- [7] SCHWARTZ, Witczak; LEAHY, R.B.; WITCZAK, M.W. – “Structural Design Guidelines for Heliports”; Department of Civil Engineering, University of Maryland; October, 1984.
- [8] VELOSO, Joaquim José – “Manual de Aeródromos” – Direcção de Infra-estruturas; CLAFA - FAP
- [9] “Vibration Problems in Structures – Practical Guidelines” – Bulletin D’information nº209; Comité Euro-International du Béton (CEB); Agosto 1991

REGULAMENTOS

- [10] California Airport Land Use Planning Handbook – State of California Department of Transportation Division of Aeronautics; Janeiro 2002
- [11] Decreto-Lei – DL 186/2007 de 12 de Maio
- [12] DIRECTION GÉNÉRALE DE L’AVIATION CIVILE – L’Instruction Technique pour les Aérodomes: SERVICE DES BASES AÉRIENNES; (Legislação Francesa)
- [13] European Standard – Eurocode 1: Actions on structuresEuro
- [14] International Civil Aviation Organisation (ICAO) – Heliport Manual – 3rd Ed, 1995
- [15] International Civil Aviation Organisation (ICAO) – Technical Annex 14, Volume II – Heliports
- [16] ISO 2631-2: Avaliação da exposição à vibração no corpo inteiro - Parte 2: Vibrações contínuas e por choque em edificações (1 a 80Hz).
- [17] ISO 2631-1 – Vibração mecânica e choque – Avaliação da exposição à vibração no corpo inteiro - Parte 1: Requisitos Gerais.
- [18] Joint Aviation Authorities (JAA) – JAR OPS 3 – Commercial Air Transportation (Helicopters)

- [19] Louisiana Hospital Heliport Study; Volume 1: Development Guide; Louisiana Department of Transportation and Development, April, 1982
- [20] Louisiana Hospital Heliport Study; Volume 2: Hospital Facilities Study; Louisiana Department of Transportation and Development, May, 1984
- [21] Offshore Helicopter Landing Areas – CAP 437 – Guidance on Standards; UK CAA
- [22] OFFSHORE TECHNOLOGY REPORT 2001/072: Helideck structural requirements; PAFA Consulting Engineers for the Health and Safety Executive; UKOOA
- [23] U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS – Airfield and heliport planning and design – Unified facilities criteria (UFC); Air force civil engineer support agency
- [24] US Federal Aviation Administration (FAA) – Heliport Design Advisory Circular 150/5390-2B (AC-2B), 30 September 2004
- [25] US Federal Aviation Administration (FAA) – Structural Design Guidelines for Heliports

ESTUDOS

- [26] “Capital Development Guidelines:- 6.7 Air Ambulance Helipads”; Victorian Department of Human Services (Capital Management Branch)
- [27] GAMA, Carlos Dinis da; Paneiro, Gustavo – “A incomodidade humana perante as vibrações e sua caracterização absoluta e relativa”; Centro de Geotecnia, IST, Lisboa
- [28] GERSON; “San Francisco General Hospital Air Medical Access Needs and Feasibility Study”; Overstreet Architects, USA
- [29] GUERREIRO, Luís – “Residencia para a 3ª Idade e equipamento de Saúde – Estudo para Definição do Sistema de Isolamento de Base”; Relatório ICIST EP nº 28/03; Maio de 2003
- [30] “Interim Sound and Vibration Design Guidelines for Hospital and Healthcare Facilities” – Public Draft 1; ASA-INCE-NCAC; Novembro 2006
- [31] KAREEN, Ahsen; KIJEWski, Tracy; TAMRA, Yukio; “Mitigation of Motions of Tall Buildings with Specific Examples of Recent Applications”
- [32] LEVERTON, John W.; ICAO Annex 14 Heliport Design Workshop – HeliExpo 2006
- [33] LEVERTON, John W.; Heliport Design Workshop – HeliExpo 2007
- [34] LEVERTON, John W.; Heliport Design – ICAO Annex 14 Volume II – “The changes being Considered”, AHS International, USA, November, 2006.
- [35] Mais Alto – Revista Jan/Fev de 2007
- [36] “Master Plan Noise and Ground Vibration – Survey Performed at the Liverpool Hospital – Noise and Vibration Impact Assessment”; Sinclair Knight Merz; Austrália; Agosto 2006
- [37] “Project Development and Concept Design Report – Heliport Landing Sites – Bathurst and Orange Bloomfield Hospitals”; Heli-Consultants Pty Limited – Government Architect’s Office, May, 2005
- [38] REGAZZI, Rogério Dias; XIMENES, Gilmar Machado – “A importancia da avaliação da vibração no corpo Humano”; INMETRO, Rio de Janeiro, Brasil

- [39] SOUSA, César; CABRAL, Teresa; MILHARADAS, Marco – “Avaliação de condição do sistema de transmissão da Aeronave EH-101 – Relatório de Tirocínio”; FAP, Abril 2007

SITE INTER-NET

- [40] <http://en.wikipedia.org>
- [41] <http://www.augustawestland.com/>
- [42] <http://www.emfa.pt>
- [43] <http://www.fecheliports.com>
- [44] <http://www.inac.pt/>
- [45] <http://www.rotor.com>
- [46] <http://www.offshore-technology.com/>
- [47] <http://www.inem.min-saude.pt>
- [48] <http://www.kineticsnoise.com/arch/heliports.aspx>.

Anexo A

Minimum usable amounts of extinguishing agents
for surface level heliports

Category	Foam meeting performance level B		Complementary agents			
	Water (L)	Discharge rate foam solution (L/min)	Dry chemical powders (kg)	or	Halons (kg)	or CO ₂ (kg)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
H1	500	250	23		23	45
H2	1 000	500	45		45	90
H3	1 600	800	90		90	180

Minimum usable amounts of extinguishing agents for
elevated heliports

Category	Foam meeting performance level B		Complementary agents			
	Water (L)	Discharge rate foam solution (L/min)	Dry chemical powders (kg)	or	Halons (kg)	or CO ₂ (kg)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
H1	2 500	250	45		45	90
H2	5 000	500	45		45	90
H3	8 000	800	45		45	90

Anexo 1: dimensionamento dos sistemas de combate a incêndio

Helicopter category	Maximum take-off mass		Point load for each wheel	Under- carriage wheel centres	Super- imposed load	Super- imposed load
	(kg)	(kN)	(kN)	(m)	(S _{H_u}) (kN/m ²)	(S _{H_b}) (kN/m ²)
1	up to 2 300	up to 22.6	12.0	1.75	0.5	1.5
2	2 301 — 5 000	22.6 — 49.2	25.0	2.0	0.5	2.0
3	5 001 — 9 000	49.2 — 88.5	45.0	2.5	0.5	2.5
4	9 001 — 13 500	88.5 — 133.0	67.0	3.0	0.5	3.0
5	13 501 — 19 500	133.0 — 192.0	96.0	3.5	0.5	3.0
6	19 501 — 27 000	192.0 — 266.0	133.0	4.5	0.5	3.0

Anexo 2: Categoria dos Helicópteros em função do Peso (ICAO – *Heliport Manual*)

Design load for helicopter on landing — Case A

Superimposed loads

Helicopter	2.5 $L_H R$ distributed as two point loads at the wheel centres for the helicopter category given in Table 1-2. Average value for $R = 1.3$.
Lateral load	$1.6 \frac{L_H}{2}$ applied horizontally in any direction.
Over-all superimposed load	Load at platform level together with the maximum wind loading. 1.4 S_{H_a} over the whole area of the platform. (S_{H_a} given in Table 1-2).
Dead load	1.4G
Wind loading	1.4W
Punching shear check	2.5 $L_H R$ load over tyre or skid contact area of $64.5 \times 10^3 \text{ mm}^2$.

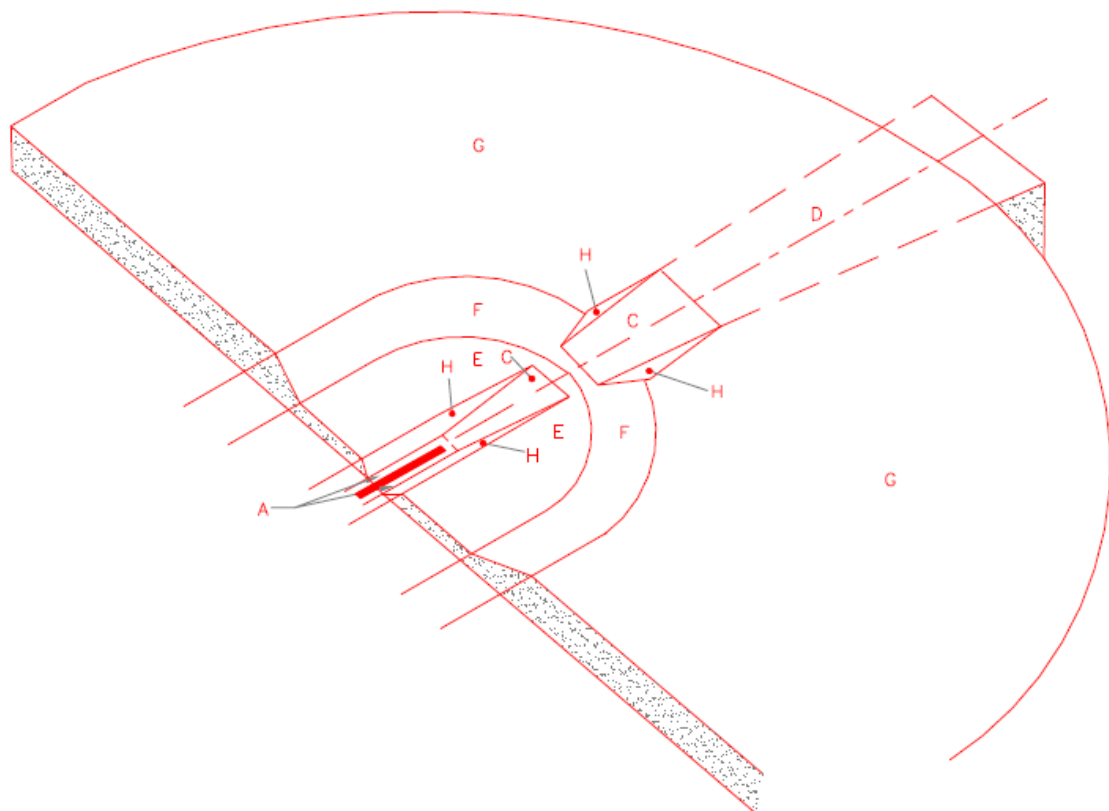
Design load for helicopter at rest — Case B

Superimposed loads

Helicopter	1.6 L_H distributed as two point loads at the wheel centres for the helicopter category given in Table 1-2.
Over-all superimposed load (personnel, freight, etc.)	1.6 S_{H_b} over the whole area of the platform. S_{H_b} given in Table 1-2.
Shear check	Check as appropriate.

<i>Symbol</i>	<i>Meaning</i>	<i>Partial load factors</i>	
L_H	Maximum take-off mass of helicopter	Dynamic load (ultimate design load)	2.5
G	Dead load of structure	Live load	1.6
W	Wind loading	Dead load	1.4
R	Structural response factor	Wind loading	1.4
S_{H_a}	Superimposed load — Case A		
S_{H_b}	Superimposed load — Case B		

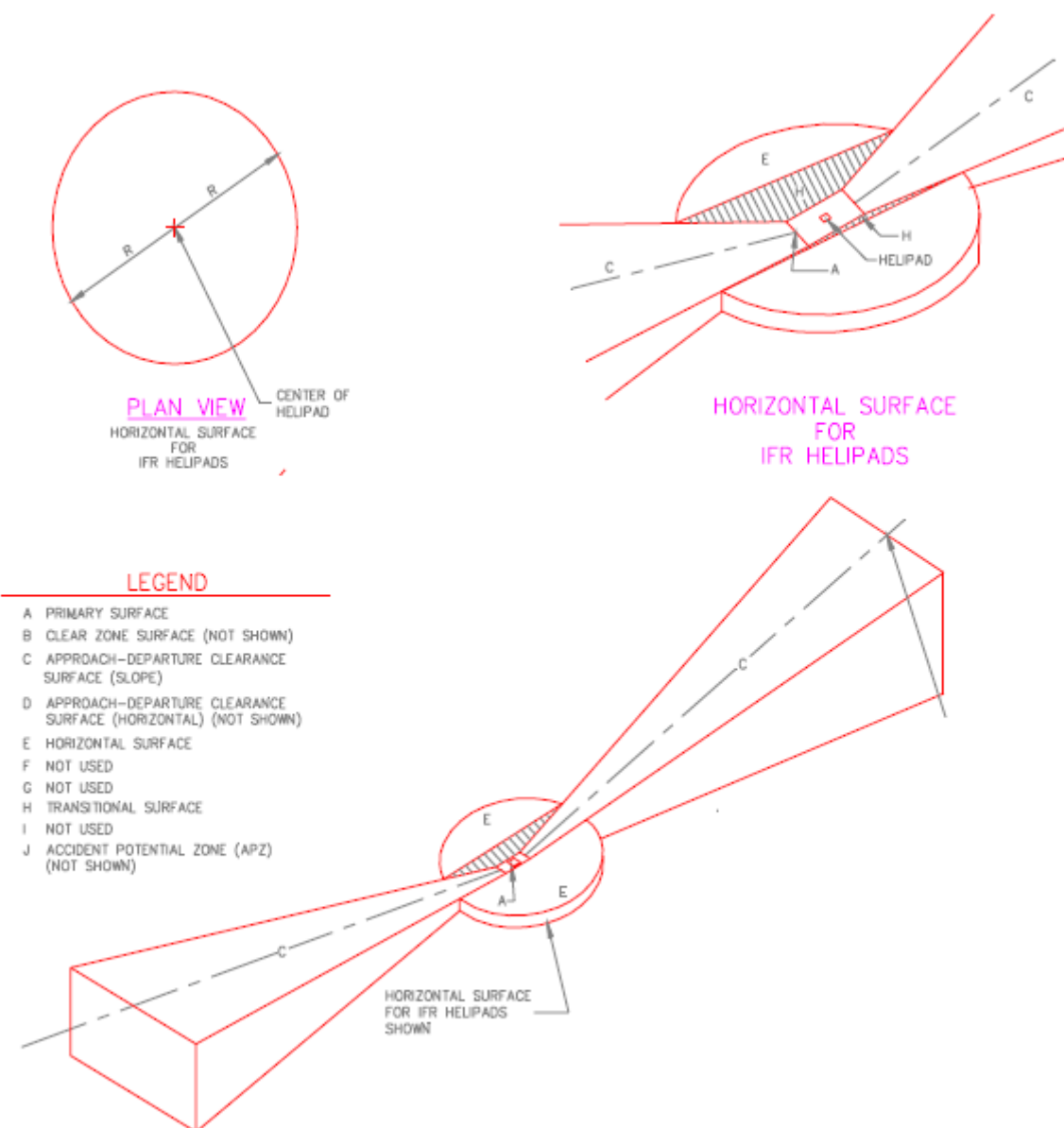
Anexo 3: Quadro Resumo das acções para o caso A e B (ICAO – Heliport Manual)



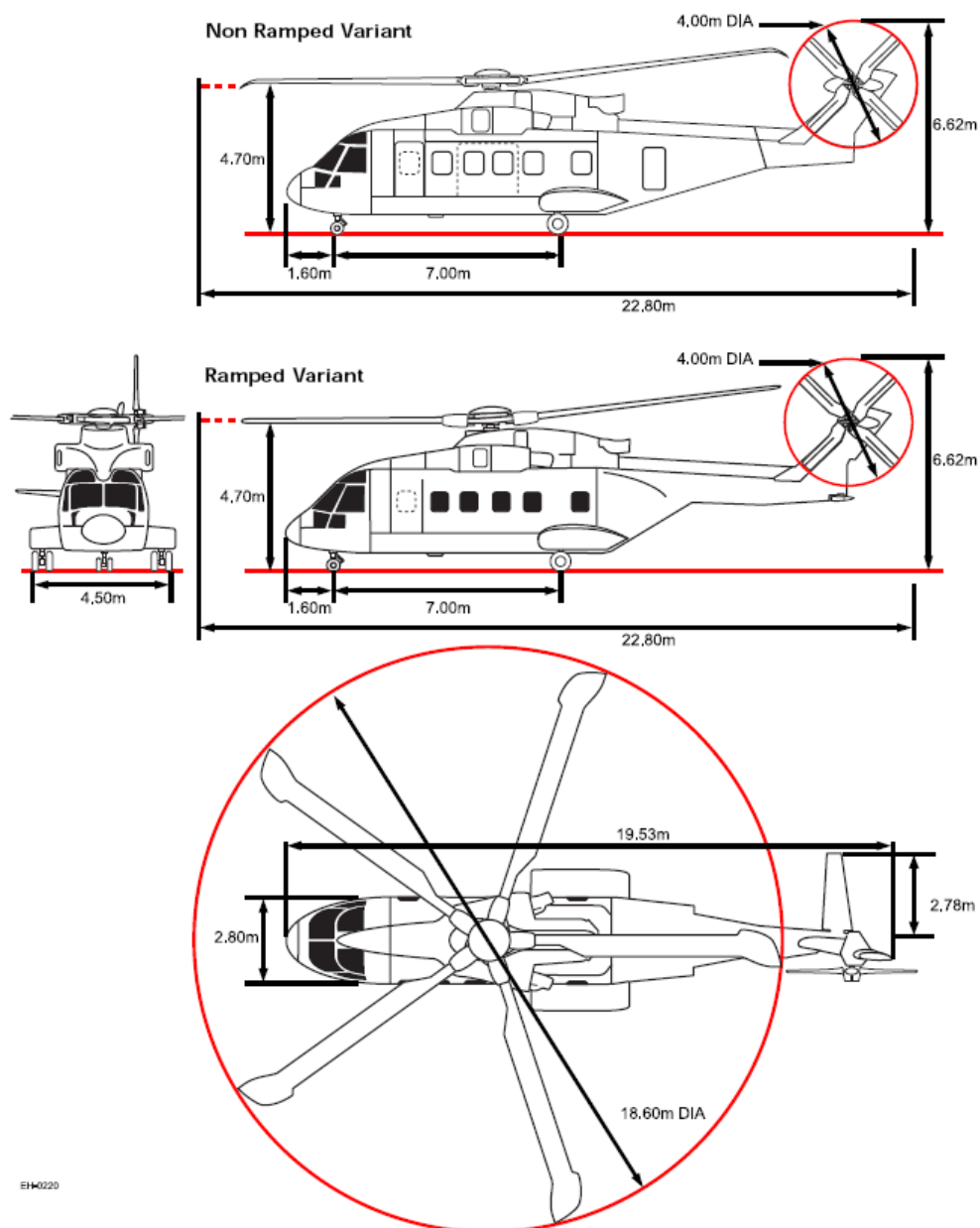
LEGEND

- A PRIMARY SURFACE
- B CLEAR ZONE SURFACE (NOT SHOWN)
- C APPROACH-DEPARTURE CLEARANCE SURFACE (SLOPE) (40H:1V RATIO)
- D APPROACH-DEPARTURE CLEARANCE SURFACE (HORIZONTAL)
- E INNER HORIZONTAL SURFACE (45.72m [150'] ELEVATION)
- F CONICAL SURFACE (20H:1V)
- G OUTER HORIZONTAL SURFACE (152.40m [500'] ELEVATION)
- H TRANSITIONAL SURFACE (7H:1V)
- I NOT USED
- J ACCIDENT POTENTIAL ZONE (APZ) (NOT SHOWN)

Anexo 4: Exemplo de superfícies de desobstrução IFR (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS)



Anexo 5: Exemplo superfícies de aproximação IFR (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS)



Anexo 6: Dimensões do EH-101 “Merlin” (Catálogo do EH-101)

Weights		
	kg	lb
Maximum Gross Weight	15600	34392
Typical Useful Load	6000	13230
External Cargo Capacity (Standard)	3000	6600
External Cargo Capacity (Role Fit)	4536	10000

Anexo 7: Cargas do EH-101 "Merlin" (Catálogo do EH-101)

Specification

Airframe

Modular airframe of aluminium alloy and composite construction

Constant cross section cabin

Integral footsteps, handholds, work platforms and walkways for easy access to transmission and rotor system

Sliding fairings and access panels for easy access

Cabin windows – jettisonable for emergency exit

Crashworthy pilot's and co-pilot's seats

Active Control Structural Response (ACSR) active vibration control system

Cockpit and cabin environmental control system

Anti-iced windscreens with washing and wiping systems

Retractable tricycle landing gear with steering and braking system

High levels of corrosion protection

Port cabin door (sliding or airstair)

Starboard sliding cabin cargo door

Two easy access avionics cabinets

Two jettisonable cockpit emergency exits

Primary and standby pitot static systems

Cockpit, cabin and avionic bay environmental control systems



Hydraulic System

Three integrated hydraulic power supplies

Emergency accumulator

Hydraulic system control panel

Powerplant and Fuel System

Three CT7-8E engines with integral inlet particle separators

Auxiliary Power Unit for engine start and ground power

Three air starters

Four or five crashworthy fuel tank system with option of self-sealing tanks

Single-point pressure refuelling and defuelling

Gravity refuelling point for each fuel tank

Fuel gauging system

Fuel system control panel

Duplex fuel boost pumps

Rotors and Controls

Five-blade composite articulated main rotor system with elastomeric bearings and dual load paths

Composite main rotor blades with optional de-icing system

Four-blade cross beam teetering tail rotor

Three duplex main rotor servo actuators

One duplex tail rotor servo actuator

Pilot and co-pilot flying controls

Avionics

Glass cockpit with colour electronic LCD units

Two flight/navigation display mode selectors

Two avionic system management computers

Data transfer module

Multifunction control and display units

Dual duplex digital automatic flight control system

Health and Usage Monitoring System (HUMS)

Cockpit caution warning system

Power systems display mode selector

Standby instruments

Central warning panel

Communication and navigation suite

Cockpit and cabin intercommunication system (ICS)



Electrical System

Two 90 kVA generators

One 25 kVA generator

One 25 Ah battery

AC and DC ground power points

Cockpit lighting

Cabin lighting

Anti-collision lights and navigation lights

Two landing lights, one steerable

Emergency lighting system

Electrical generation system control panel

Transmission

Main gearbox with three engine inputs and dual lubrication system

Accessory gearbox

Intermediate gearbox and tail rotor gearbox with interconnecting driveshafts

Quantitative debris monitors

Rotor brake



Specification

Weights

	kg	lb
Maximum Gross Weight	15600	34392
Typical Useful Load	6000	13230
External Cargo Capacity (Standard)	3000	6600
External Cargo Capacity (Role Fit)	4536	10000

Fuel Capacities

Three standards of fuel tanks are available offering increasing levels of protection

	Litres	US Gallons	kg
4-Tank Installation			
Crash Resistant Tanks	4303	1140	3442
Crashworthy Tanks	4160	1100	3328
Self-Sealing Tanks	4094	1080	3275
5-Tank Installation			
Crash Resistant Tanks	5380	1420	4302
Crashworthy Tanks	5211	1380	4169
Self-Sealing Tanks	5120	1350	4095
Optional Auxiliary Cabin Tanks			
180 US Gallon Tank	649	180	519

Powerplant Ratings (CT7-8E)

Engine Rating	Engines Operating	shp	kW
5 min Take-off	3	2527	1884
30 min IRP	3	2488	1855
60 min	3	-	-
2.5 min Contingency	2	-	-
2 min Contingency	2	2522	1881
Max Continuous	3	2041	1522

Transmission Rating

Rating	shp	% Rotor Speed Nr	% Torque
2.5 min Take-off	5580	102	112
5 min Take-off	5304	102	106.5
Max Continuous	4982	102	100
2.5 min OEI	4152	102	125
Continuous OEI	3720	102	112

Performance

All Engines Operating

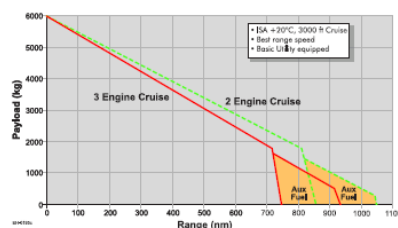
ISA		
Maximum Cruise Speed	150 knots	278 km/h
Best Range Speed	124 knots	230 km/h
Best Range Fuel Flow*	1650 lb/h	750 kg/h
Best Endurance Speed	80 knots	148 km/h
Hover In Ground Effect	10800 ft	3290 m
Hover Out of Ground Effect	4800 ft	1460 m
Oblique Rate of Climb	2788 ft/min	14.2 m/s
ISA +20°C		
Hover In Ground Effect	8400 ft	2560 m
Hover out of Ground Effect	2600 ft	790 m
ISA +35°C		
Hover In Ground Effect	5400 ft	1650 m
Hover Out of Ground Effect	2600 ft	790 m

One Engine Inoperative

ISA		
Maximum Weight to HIGE	31500 lb	14300 kg
Oblique Rate of Climb	1470 ft/min	7.5 m/s
Service Ceiling	10000 ft	3050 m
ISA +35°C		
Service Ceiling	6100 ft	1860 m

Cat A (Safe Flyaway) Performance

- ISA +35°C, Sea Level, Maximum Gross Mass 15600 kg with the CT7-8E engine
- The three-engine EH101 has 75% of take-off power available for OEI flyaways, compared with 60% for typical two-engine helicopters



Anexo 8: Características do EH-101 "Merlin" (Catálogo do EH-101)

Anexo B