



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Felipe Gelain

Análise acústica e vibratória das aeronaves de segurança pública durante o resgate e transporte aeromédico de neonatos

Florianópolis
2023

Felipe Gelain

Análise acústica e vibratória das aeronaves de segurança pública durante o resgate e transporte aeromédico de neonatos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Stephan Paul, Dr. Eng.

Florianópolis
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gelain, Felipe

Análise acústica e vibratória das aeronaves de segurança pública durante o resgate e transporte aeromédico de neonatos / Felipe Gelain ; orientador, Stephan Paul, 2023.
182 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Aeromédico. 3. Aviação. 4. Ruído. 5. Vibração. I. Paul, Stephan. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Felipe Gelain

Análise acústica e vibratória das aeronaves de segurança pública durante o resgate e transporte aeromédico de neonatos

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a. Maria Lucia Machado Duarte, Ph.D.
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Andrey Ricardo da Silva, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Coordenação do Programa de
Pós-Graduação

Prof. Stephan Paul, Dr. Eng.
Orientador

Florianópolis, 2023.

Dedico este trabalho à minha família Nicole, Maria Alice e Lucas, sua grande força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a minha esposa, Nicole Thays Albino Gelain, pela força e apoio nos dias, noites e madrugadas ao longo desses anos. Agradeço também aos meus pais, Ivo Gelain e Zenita Parenti Gelain, por ter confiado e acreditado em mim.

Agradeço ao Prof. Stephan Paul por ter sido mais que um orientador, foi e é um grande amigo. Pelas palavras de apoio e por sempre estar preocupado com o bom andamento do trabalho. Muito obrigado Comandante!

Agradeço ainda o Professor Arcanjo Lenzi, pela cordialidade, pela educação, pelo postura ética e pela dedicação em sempre ajudar o próximo. Meu mais sincero obrigado Chefe!

Agradeço também a todos os colegas do LVA, que fizeram parte dessa jornada, em especial, aos meus amigos, Plínio, Ricardinho e Leonardo Nogueira. Muito obrigado a todos vocês.

Agradeço aos meus amigos que contribuíram e apoiaram o desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Major BM Jair Pereira dos Santos Júnior e ao Enfermeiro André Ricardo Moreira pela oportunidade de compartilhar minha vida com vocês.

Agradeço aos meus amigos e colegas do Batalhão de Operações Aéreas do CBMSC e do Batalhão de Aviação da PMSC, especialmente ao Coronel PM RR Wallace Carpos, ao Coronel BM RR João Batista Cordeiro Júnior, ao Coronel BM Diogo Bahia Losso, ao Tenente-Coronel PM Leandro de Amorim, ao Tenente-Coronel BM Sandro Fonseca, ao Tenente-Coronel BM Túlio Tartari Zanin e ao Major BM Hugo Manfrin Dalossi, por terem me apoiado, me motivado e me auxiliado durante todos os longos voos de medições.

Agradeço à Head Acoustics pela licença do software ArtemiS SUITE que possibilitou as análises deste trabalho e à Grom Acústica & Vibração por intermediar o contato e por toda a atenção despendida na aquisição dos acelerômetros e microfones.

Por fim, agradeço a todos os professores do POSMEC, em especial aos Professores Júlio Apolinário Cordioli e Andrey Ricardo da Silva, pela gentileza e cordialidade que sempre demonstraram por mim.

"Uma vez que você tenha experimentado voar, você andar  pela terra com seus olhos voltados para céu, pois l  você esteve e para lá você desejar  voltar."
John H. Secondari

RESUMO

A influência da vibração e do ruído, provenientes de diferentes fontes, é um assunto de grande, especialmente quando o foco é a aviação, o transporte de pacientes adultos e neonatos. As equipes das unidades aéreas públicas rotineiramente se deparam com operações de busca, resgate e transporte aeromédico. Contudo, a falta de informações relacionadas aos níveis de pressão sonora e às vibrações das aeronaves, em especial nos modelos utilizados no estado de Santa Catarina, impede ou prejudica a adoção de protocolos e a escolha adequada do modal de transporte, seja ele terrestre - através de ambulâncias, ou aéreo - através de aviões ou helicópteros. Este trabalho de dissertação aborda as aeronaves utilizadas pelas Unidades Aéreas Públicas do Estado de Santa Catarina em busca de determinar os níveis de pressão sonora e de aceleração aos quais os pacientes ou tripulantes são submetidos. Aborda ainda a perda de inserção sonora proporcionado pela incubadora de transporte FANEM IT-158 TS utilizada nos transportes de recém-nascidos. Para isto, uma série de testes envolvendo todas as possíveis configurações de voo dos diferentes modelos de aeronaves e testes com a incubadora na câmara reverberante foram realizados a fim de obter as informações. Os resultados mostram que os níveis de pressão sonora e de aceleração são bastante influenciados pelas configurações de voo. Ao se comparar aeronaves de asas fixas e rotativas, tanto os níveis de pressão sonora quanto os de aceleração aos quais os pacientes são expostos são bastante semelhantes, facilitando a escolha do melhor modal de transporte para o paciente.

Palavras-chave: Aeromédico. Aviação. Resgate. Ruído. Operações Aéreas. Incubadora. Vibração.

ABSTRACT

The influence of vibration and noise, coming from different sources, is a subject of great importance, especially when the focus is on aviation, the transport of adult and newborn patients. Air unit teams routinely deploy with search, rescue and air medical transport operations. However, the lack of information related to sound pressure levels and aircraft vibrations, especially in the models used in the state of Santa Catarina, prevents or impairs the adoption of protocols and the adequate choice of transport mode, be it land - through services, or by air - through planes or helicopters. This dissertation work addresses the aircraft used by the Public Air Units of the State of Santa Catarina in order to determine the sound pressure and listening levels at which patients or crew are controlled. It also addresses the loss of sound insertion provided by the FANEM IT-158 TS transport incubator used in the transport of newborns. For this, a series of tests involving all possible flight configurations of different aircraft models and tests with the incubator in the reverberant chamber were carried out in order to obtain the information. The results show that sound pressure and interference levels are greatly influenced by flight configurations. When comparing fixed and rotary wing aircraft, both the sound pressure and temperature levels to which patients are exposed are quite similar, facilitating the choice of the best mode of transport for the patient.

Keywords: Aeromedical. Aviation. Rescue. Noise. Air Operations. Incubator. Vibration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – atendimentos e transferências aeromédicas anuais do Batalhão de Operações Aéreas do CBMSC entre 2010 e 2022	27
Figura 2 – Faixa de frequência relevante para vários tipos de exposição	40
Figura 3 – Curvas de ponderação	42
Figura 4 – Frequências de ressonância do corpo humano	43
Figura 5 – Impedância mecânica de um corpo humano de 70 kg sentado	44
Figura 6 – Transmissibilidade de vibração de um corpo humano sentado (cabeça e ombros)	45
Figura 7 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos	46
Figura 8 – Ruído interno da aeronave Boeing 737 em diferentes velocidades	49
Figura 9 – Fontes de Ruídos em Helicópteros	49
Figura 10 – Análise de banda estreita do ruído da cabine do helicóptero Lynx 100kt	51
Figura 11 – Ruído do sistema de exaustão do motor do helicóptero CH-21C	52
Figura 12 – Posicionamento do microfone no interior da cabine da aeronave AS 350 B2	68
Figura 13 – Posicionamento do microfone no interior da incubadora	69
Figura 14 – Boneca utilizada nos experimentos	69
Figura 15 – Orientação dos eixos de medição do acelerômetro triaxial	69
Figura 16 – Posição do acelerômetro triaxial na bandeja plástica da incubadora	70
Figura 17 – Posição da boneca na bandeja	70
Figura 18 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave AS350 B2	71
Figura 19 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave AS350 B2, prefixo PR-BNU, sobre a maca do kit aeromédico.	71
Figura 20 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave AW119 MkII	72
Figura 21 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave EMB-820C	72
Figura 22 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave C206H	72
Figura 23 – Posição dos microfones no interior da incubadora - câmara reverberante	73
Figura 24 – Configuração de medição - Câmara Reverberante	73
Figura 25 – Portinhola da cabeça aberta	74
Figura 26 – Espectro de magnitude em termos de NPS medidos na cabine do helicóptero AS350 B2 (HGR1) durante o voo de cruzeiro, em diferentes velocidades e com portas fechadas	77
Figura 27 – Espectro de magnitude em termos de NPS medidos na cabine do helicóptero AW119 MkII (PMM2) durante o voo de cruzeiro, em diferentes velocidades e com as portas fechadas	77

Figura 28 – Espectro de magnitude em termos dos NPS equivalente (L_{eq}), sem ponderação, medidos na cabine do helicóptero AS350 B2 durante voo de cruzeiro em diferentes velocidades	79
Figura 29 – Espectro de magnitude em termos dos NPS equivalente (L_{eq}), sem ponderação, medidos na cabine do helicóptero AW119 MkII durante voo de cruzeiro em diferentes velocidades	80
Figura 30 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação (L_{eq}) medidos nas aeronaves AS350 B2 durante operações de IGE, taxi e decolagem	80
Figura 31 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação (L_{eq}) medidos nas aeronaves AW119 MkII durante operações de IGE, taxi e decolagem	81
Figura 32 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação (L_{eq}) medidos nas aeronaves AS350 B2 durante operações de OGE, curvas de 360° a esquerda) e pouso	82
Figura 33 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação (L_{eq}) medidos nas aeronaves AW119 MkII durante operações de OGE, curvas de 360° a esquerda) e pouso	83
Figura 34 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente sem ponderação (L_{eq}) obtido em quatro diferentes aeronaves AS350 B2 em diversas configurações de voo	83
Figura 35 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente sem ponderação (L_{eq}) obtido na aeronave AW119 MkII em diversas configurações de voo	84
Figura 36 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação A (L_{Aeq}) obtido em quatro diferentes aeronaves AS350 B2 em diversas configurações de voo	84
Figura 37 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação A (L_{Aeq}) obtido na aeronave AW119 MkII em diversas configurações de voo	84
Figura 38 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação C (L_{Ceq}) obtido em quatro diferentes aeronaves AS350 B2 em diversas configurações de voo	85
Figura 39 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação C (L_{Ceq}) obtido na aeronave AW119 MkII em diversas configurações de voo	85
Figura 40 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos no interior das aeronaves AS350B2 durante as operações críticas com a porta traseira esquerda aberta	86

Figura 41 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos no interior da aeronave AW119 MkII durante as operações críticas com as portas traseiras abertas.	86
Figura 42 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos no interior das aeronaves AS350B2 em diferentes velocidades de cruzeiro com a porta traseira esquerda aberta	87
Figura 43 – Espectro de magnitude em 1/3 de oitava do NPS com ponderação C medidos no interior da aeronave AW119 MkII em diferentes velocidades de cruzeiro com as portas traseiras abertas	88
Figura 44 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com e sem ponderação obtido nas aeronaves de asas fixas em suas respectivas velocidades de cruzeiro	92
Figura 45 – Espectro em termos de NPS medidos na cabine dos aviões durante o voo de cruzeiro.	93
Figura 46 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos na cabine dos aviões Cessna durante voo de cruzeiro	94
Figura 47 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos na cabine dos aviões BE-55 e EMB-820C durante voo de cruzeiro . . .	95
Figura 48 – Dimensões aproximadas da cúpula da incubadora Fanem IT-158 TS.	98
Figura 49 – Geometria e malha atribuída para a definição das frequências naturais através do software COMSOL Multiphysics™	99
Figura 50 – Primeiro e segundo modo axial na direção x.	100
Figura 51 – Demais modos apresentados pelo COMSOL (Parte 1)	100
Figura 52 – Demais modos apresentados pelo COMSOL (Parte 2)	101
Figura 53 – Demais modos apresentados pelo COMSOL (Parte 3)	101
Figura 54 – Posição dos microfones no interior da cúpula da incubadora para as medições na câmara reverberante.	102
Figura 55 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora na câmara reverberante com as portinholas fechadas	103
Figura 56 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora na câmara reverberante com a portinhola da cabeça aberta	105
Figura 57 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora na câmara reverberante com as portinholas fechadas, em frequências superiores a de Schroeder	106
Figura 58 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora na câmara reverberante com as portinholas fechadas, em frequências superiores a de Schroeder	106

Figura 59 – NPS médio no interior da cabine da aeronave AS350 (100kt) e na incubadora Fanem IT-158 TS (portinhola fechada) e diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	109
Figura 60 – NPS médio no interior da cabine da aeronave AS350 (100kt) e na incubadora Fanem IT-158 TS e diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	109
Figura 61 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo nas aeronaves AS350 B2 (100 kt), por banda de 1/3 de oitava	114
Figura 62 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo nas aeronaves AS350 B2 (110 kt), por banda de 1/3 de oitava	114
Figura 63 – NPS médio no interior da cabine da aeronave AW119 MkII (100kt) e na incubadora Fanem IT-158 TS (portinhola fechada) e Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	115
Figura 64 – NPS médio no interior da cabine da aeronave AW119 MkII (110kt) e na incubadora Fanem IT-158 TS (portinhola fechada) e Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	116
Figura 65 – NPS médio no interior da cabine da aeronave AW119 MkII (130kt) e na incubadora Fanem IT-158 TS (portinhola fechada) e Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	116
Figura 66 – NPS médio no interior da cabine da aeronave AW119 MkII (140kt) e na incubadora Fanem IT-158 TS (portinhola fechada) e Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	117
Figura 67 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo na aeronave AW119 MkII (100 kt), por banda de 1/3 de oitava	124
Figura 68 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo na aeronave AW119 MkII (110 kt), por banda de 1/3 de oitava	124
Figura 69 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo na aeronave AW119 MkII (130 kt), por banda de 1/3 de oitava	125
Figura 70 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo na aeronave AW119 MkII (140 kt), por banda de 1/3 de oitava	125
Figura 71 – NPS médio entre o interior da cabine da aeronave C206H e da incubadora Fanem IT-158 TS e Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	126

Figura 72 – NPS médio entre o interior da cabine da aeronave C210N e da incubadora Fanem IT-158 TS e Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	127
Figura 73 – NPS médio entre o interior da cabine da aeronave EMB-820C e da incubadora Fanem IT-158 TS e Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora	128
Figura 74 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo na aeronave C206H (115kt), por banda de 1/3 de oitava	134
Figura 75 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo na aeronave C210H (140kt), por banda de 1/3 de oitava	134
Figura 76 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo na aeronave EMB-820C (200kt), por banda de 1/3 de oitava	135
Figura 77 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido em aeronaves AS350 B2	137
Figura 78 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido em aeronaves AS350 B2 sobre a maca do kit aeromédico	140
Figura 79 – Fixação do kit aeromédico na aeronave AS350 B2, prefixo PR-BNU.	142
Figura 80 – Maca do kit aeromédico da aeronave AS350 B2, prefixo PR-BNU. .	143
Figura 81 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z, obtido na aeronave AS350 B2 (110kt) sem kit aeromédico instalado.	144
Figura 82 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z, obtido na aeronave AS350 B2 (110kt) com kit aeromédico instalado.	144
Figura 83 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave AW119 MkII	146
Figura 84 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z, obtido na aeronave AW119 MkII (140kt)	148
Figura 85 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave Cessna C206H, em diversas configurações de voo.	150
Figura 86 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave Cessna C210N, em diversas configurações de voo.	152
Figura 87 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave Embraer EMB-820C, em diversas configurações de voo. .	153
Figura 88 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z, obtido na aeronave Cessna C206H (115kt)	155
Figura 89 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z, obtido na aeronave Cessna C210N (140kt)	155

Figura 90 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x , y e z , obtido na aeronave EMB-820C (200kt) com kit aeromédico instalado.	156
Figura 91 – Diagrama de blocos do tempo total médio de voo durante as missões de transporte aeromédico BOA/SC (2010 a 2022)	157
Figura 92 – Tempo de voo estimado para um voo de 1,5 horas com base na porcentagem de tempo de voo de aviões comerciais	158
Figura 93 – Perfis típicos de voo das aeronaves do BOA/CBMSC durante transferências aeromédicas	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística Operacional do Batalhão de Operações Aéreas do CBMSC entre 2010 e 2022	24
Tabela 2 – Nível de exposição sonora L_{AE} a um ruído contínuo com $L_{Aeq}=85dBA$ em diferentes tempos de exposição	38
Tabela 3 – Sensibilidade do corpo humano às vibrações	40
Tabela 4 – Acelerações e suas percepções na posição sentada	41
Tabela 5 – Comparação entre ISO 2631-1 e a predição auto-relatada dos valores de conforto	41
Tabela 6 – Níveis de pressão sonora equivalente no interior de diferentes aeronaves durante o voo de cruzeiro	48
Tabela 7 – Níveis de pressão sonora no interior de diferentes modelos de aeronaves de asas rotativas	51
Tabela 8 – Medições de dose de exposição à vibração em helicópteros conforme literatura	55
Tabela 9 – Medições de NPS em UTIN e incubadoras	57
Tabela 10 – NPS em incubadoras em UTIN conforme literatura	58
Tabela 11 – L_{Aeq} na cabine e em incubadoras durante o transporte em diferentes modelos de aeronaves	60
Tabela 12 – NPS em incubadoras Airshields modelo TI 500 durante o transporte terrestre ou aéreo	60
Tabela 13 – L_{Aeq} interno em incubadoras durante transporte conforme literatura	61
Tabela 14 – Vibração em incubadoras durante transporte conforme literatura no eixo vertical x	64
Tabela 15 – Configurações de medição em voo nas aeronaves AS350 B2	65
Tabela 16 – Configurações de medição em voo nas aeronaves AW119 MkII B2	66
Tabela 17 – Configurações de medição em voo asas fixas	66
Tabela 18 – Medições e respectivas informações dos helicópteros	76
Tabela 19 – Dados estatísticos dos NPS globais equivalentes com e sem ponderação medidos em diferentes aeronaves AS350 B2	89
Tabela 20 – Dados estatísticos dos NPS globais equivalentes com e sem ponderação medidos em diferentes aeronaves AW19 MkII	90
Tabela 21 – Número de medições e respectivas informações das configurações do voo e dos aviões	91
Tabela 22 – Dados estatísticos dos NPS globais equivalentes com e sem ponderação medidos em diferentes aeronaves aviões	96
Tabela 23 – Características utilizados para o cálculo analítico dos modos.	98

Tabela 24 – Comprimentos de ondas e frequências naturais dos modos axiais calculadas analiticamente com relação aos eixos x , y e z	98
Tabela 25 – Frequências naturais obtidas através de modelagem e análise através do software COMSOL Multiphysics™	99
Tabela 26 – Diferença entre os NPS equivalentes médios medidos no interior da incubadora e a câmara reverberante	102
Tabela 27 – Diferença entre o NPS médio medido no interior da incubadora na câmara reverberante, em 1/3 de oitava	104
Tabela 28 – Condições de avaliação da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo nas aeronaves AS350 B2.	108
Tabela 29 – NPS equivalentes médios com e sem ponderação, medidos no interior das cabines das aeronaves AS350 B2 e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS	110
Tabela 30 – Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, nas aeronaves AS350 B2	111
Tabela 31 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo de cruzeiro a 100 kt nas aeronaves AS350 B2 com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava	112
Tabela 32 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo de cruzeiro a 110 kt nas aeronaves AS350 B2 com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava	113
Tabela 33 – Condições de avaliação da diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo nas aeronaves AW119 MkII.	115
Tabela 34 – NPS equivalentes médios com e sem ponderação, medidos no interior das cabines das aeronaves Aw119 MkII e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS	118
Tabela 35 – Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, na aeronave AW119 MkII	119
Tabela 36 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo na aeronave AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 100 kt, por banda de 1/3 de oitava	120
Tabela 37 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo na aeronave AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 110 kt, por banda de 1/3 de oitava	121
Tabela 38 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo na aeronave AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 130 kt, por banda de 1/3 de oitava	122

Tabela 39 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo na aeronave AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 140 kt, por banda de 1/3 de oitava	123
Tabela 40 – NPS equivalentes médios com e sem ponderação, medidos no interior da cabine da aeronave C206H e da incubadora Fanem IT-158 TS	126
Tabela 41 – NPS equivalentes médios com e sem ponderação, medidos no interior da cabine da aeronave C210N e da incubadora Fanem IT-158 TS	127
Tabela 42 – NPS equivalentes médios com e sem ponderação, medidos no interior da cabine da aeronave EMB-820C e da incubadora Fanem IT-158 TS	128
Tabela 43 – NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior das cabines dos modelos de aeronave de asas fixas e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, em velocidades padrões de voo de cruzeiro.	129
Tabela 44 – Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, nos modelos de aeronaves de asas fixas, durante voo de cruzeiro.	130
Tabela 45 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo nas aeronaves C206H, por banda de 1/3 de oitava	131
Tabela 46 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo nas aeronaves C210N, por banda de 1/3 de oitava	132
Tabela 47 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo nas aeronaves EMB-820C, por banda de 1/3 de oitava	133
Tabela 48 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo x durante o voo nas aeronaves AS350 B2	138
Tabela 49 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo y durante o voo nas aeronaves AS350 B2	138
Tabela 50 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo z durante o voo nas aeronaves AS350 B2	139
Tabela 51 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo x durante o voo nas aeronaves AS350 B2 sobre a maca do kit aeromédico . .	141
Tabela 52 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo y durante o voo nas aeronaves AS350 B2 sobre a maca do kit aeromédico . .	141
Tabela 53 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo z durante o voo nas aeronaves AS350 B2 sobre a maca do kit aeromédico . .	142

Tabela 54 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo x durante o voo na aeronaves AW119 MkII	145
Tabela 55 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo y durante o voo na aeronaves AW119 MkII	147
Tabela 56 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo z durante o voo na aeronaves AW119 MkII	147
Tabela 57 – Resumo das médias das acelerações RMS, em m/s ² , medidos nos eixos x, y e z, durante o voo nas aeronaves de asas rotativas, em diversas configurações de voo.	149
Tabela 58 – Estatísticas das acelerações RMS medidas no eixo x durante o voo na aeronaves C206H, em diversas configurações de voo.	149
Tabela 59 – Estatísticas das acelerações RMS medidas no eixo y durante o voo na aeronaves C206H, em diversas configurações de voo.	149
Tabela 60 – Estatística das acelerações RMS medidas no eixo z durante o voo na aeronaves C206H, em diversas configurações de voo.	150
Tabela 61 – Estatísticas das acelerações RMS, medidas no eixo x durante o voo na aeronaves C210N, em diversas configurações de voo.	151
Tabela 62 – Estatísticas das acelerações RMS, medidas no eixo y durante o voo na aeronaves C210N, em diversas configurações de voo.	151
Tabela 63 – Estatísticas das acelerações RMS, medidas no eixo z durante o voo na aeronaves C210N, em diversas configurações de voo.	151
Tabela 64 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo x durante o voo na aeronaves EMB-820C, em diversas configurações de voo.	152
Tabela 65 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s ² , medidos no eixo y durante o voo na aeronaves EMB-820C, em diversas configurações de voo.	153
Tabela 66 – Estatística das acelerações RMS medidas no eixo z durante o voo na aeronaves EMB-820C, em diversas configurações de voo.	153
Tabela 67 – Resumo das acelerações RMS médias (sem ponderação), em m/s ² , medidos nos eixos z, y e x, durante o voo nas aeronaves de asas fixas, em diversas configurações de voo.	156
Tabela 68 – Estatísticas do tempo total médio de voo durante as missões de transporte aeromédico realizadas pelo BOA/SC entre 2010 a 2022 (em minutos)	158
Tabela 69 – Tempos de exposição médios utilizados para o cálculo da dose de exposição	160
Tabela 70 – Níveis de pressão sonora equivalentes médios ponderados em A utilizados para o cálculo da dose de exposição	161

Tabela 71 – Doses de exposição médias ao ruído (L_{EP}) de um paciente transportado no interior da cabine das aeronaves de asas rotativas, durante um transporte aeromédico padrão.	162
Tabela 72 – Doses médias de exposição ao ruído (L_{EP}) de um paciente transportado no interior das cabines das aeronaves de asas fixas, durante um transporte aeromédico padrão.	162
Tabela 73 – Dose média de exposição ao ruído (L_{EP}) de um RN transportado no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, durante um transporte aeromédico padrão nas aeronaves de asas rotativas	163
Tabela 74 – Dose média de exposição ao ruído (L_{EP}) de um RN transportado no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, durante um transporte aeromédico padrão nas aeronaves de asas fixas.	163
Tabela 75 – Dose diária média ($L_{EP,d}$) considerando o transporte de um RN no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, nas aeronaves de asas fixas e rotativas, para um período de 8 horas.	164

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAP	Academia Americana de Pediatria
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGL	Above Ground Level
AMPA	Associação de Médicos Aeromédicos
APH	Atendimento Pré-Hospitalar
BPF	Frequência de Passagem da Pá
CBMSC	Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina
IGE	In Ground Effect
ISO	International Organization for Standardization
LVA	Laboratório de Vibrações e Acústica
NBR	Norma Técnica Brasileira
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NPS	Nível de Pressão Sonora
NR	Norma Reguladora
OGE	Out of Ground Effect
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAINSPE	Perda Auditiva Induzida por Elevados Níveis de Pressão Sonora
PAIR	Perda Auditiva Induzida por Ruído
PCSC	Polícia Civil de Santa Catarina
PMSC	Polícia Militar de Santa Catarina
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RMS	Root Mean Square
RN	Recém-nascido
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
UAP	Unidade de Aviação Pública
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTIN	Unidade de Terapia Intensiva Neonatal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2	JUSTIFICATIVA	31
1.3	OBJETIVOS	33
1.3.1	Objetivo geral	33
1.3.2	Objetivos específicos	33
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	33
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	RESGATE E TRANSPORTE AEROMÉDICO	35
2.1.1	Aspectos gerais	35
2.2	EXPOSIÇÃO AO RUÍDO E À VIBRAÇÃO	37
2.2.1	Exposição do corpo humano ao ruído	37
2.2.1.1	Avaliação da exposição ao ruído	37
2.2.1.2	Ruído e aviação	38
2.2.2	Exposição do corpo humano a vibrações	39
2.3	RUÍDO E VIBRAÇÕES EM OPERAÇÕES AEROMÉDICAS	47
2.3.1	Ruído em aeronaves	47
2.3.1.1	Ruído em aeronaves de asas fixas	47
2.3.1.2	Ruído em helicópteros	49
2.3.1.3	Ruído em aeronaves durante o resgate e transporte aeromédico	52
2.3.2	Vibração em helicópteros	53
2.4	RUÍDO E VIBRAÇÃO ENVOLVENDO RECÉM-NASCIDOS	55
2.4.1	Ruído em unidade de terapia intensiva neonatal (UTIN)	55
2.4.2	Ruído durante o transporte neonatal	59
2.4.3	Vibração durante o transporte neonatal	62
3	MÉTODO	65
3.1	APARATO EXPERIMENTAL	67
3.2	PROCEDIMENTO DE MEDIÇÕES	67
3.2.1	Experimentos em voo	67
3.2.2	Experimento de laboratório	73
4	RESULTADOS	75
4.1	CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DAS AERONAVES	75
4.1.1	Aeronaves de asas rotativas	75
4.1.1.1	Níveis de pressão sonora interna em função da frequência	76
4.1.1.2	Nível de Pressão Sonora com ponderação A	84
4.1.1.3	Estatística geral dos NPSs globais	88
4.1.2	Aeronaves de asas fixas	91

4.1.2.1	Níveis de pressão sonora interna em função da frequência	91
4.1.2.2	Nível de Pressão Sonora com ponderação A	94
4.1.2.3	Estatística geral dos NPSs globais	95
4.2	CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DA INCUBADORA	97
4.2.1	Modos acústicos de cavidade	97
4.2.1.1	Modos acústicos obtidos por modelagem analítica	97
4.2.1.2	Modos acústicos obtidos por modelagem numérica	99
4.2.2	Diferença entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora (Câmara Reverberante)	102
4.3	DIFERENÇA DO NPS DENTRO E FORA DA INCUBADORA DURANTE O VOO	108
4.3.1	Diferença do NPS dentro e fora da incubadora nas aeronaves de asas rotativas	108
4.3.1.1	Diferença do NPS dentro e fora da incubadora nas aeronaves AS350	108
4.3.1.2	Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave AW119 .	115
4.3.2	Diferença do NPS dentro e fora da incubadora nas aeronaves de asas fixas	126
4.3.2.1	Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave C206H .	126
4.3.2.2	Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave C210N .	127
4.3.2.3	Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave EMB-820C	128
4.3.2.4	Análise conjunta das aeronaves de asas fixas	129
4.4	VIBRAÇÃO NAS INCUBADORAS DURANTE O VOO	136
4.4.1	Vibração na incubadora transportada em aeronaves de asas rotativas	136
4.4.1.1	Vibração na incubadora transportada em aeronaves AS350 B2 . . .	136
4.4.1.2	Vibração na incubadora transportada em aeronaves AW119 MkII . .	145
4.4.1.3	Resumo das acelerações RMS médias nas aeronaves de asas rotativas	149
4.4.2	Vibração na incubadora transportada em aeronaves de asas fixas	149
4.4.2.1	Análise conjunta das aeronaves de asas fixas	154
4.4.2.2	Resumo das acelerações RMS médias nas aeronaves de asas fixas	156
4.5	DOSES DE EXPOSIÇÃO	157
4.5.1	Perfil de voo durante transporte aeromédico	157
4.5.2	Dose de exposição ao ruído	160
4.5.2.1	Dose de exposição ao ruído diário (apenas voo)	160
4.5.2.2	Dose de exposição diária ao ruído em situação combinada (voo e UTIN)	164
5	CONCLUSÕES	166
	REFERÊNCIAS	171

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo uma apresentação inicial do trabalho, desde uma contextualização da problemática aqui envolvida, até uma breve descrição dos objetivos desta dissertação de mestrado.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A influência da vibração e do ruído, provenientes de diferentes fontes, é um assunto de grande relevância (PADDAN; GRIFFIN, M.J., 2002), especialmente quando o foco está na saúde da criança nos primeiros 28 dias de vida (período neonatal). Os neonatos podem ser aqueles bebês nascidos a termo, quando nascem dentro do período gestacional normal, entre 37 e 42 semanas, ou prematuros, quando nascem antes das 37 semanas, mas todos podem possuir estágios de maturidade, complicações fisiológicas e pesos diferentes (BROWNING *et al.*, 2008).

No contexto da saúde dos neonatos, verificou-se que a taxa de mortalidade neonatal teve expressiva queda nas últimas décadas no Brasil, graças aos avanços na medicina neonatal, com destaque para a utilização de sofisticada tecnologia no cuidado de recém-nascidos (RN) de alto risco no âmbito das unidades neonatais (VENTURA; ALVES; MENESES, 2012).

Dentre as especialidades médicas, a neonatologia é uma das áreas que mais tem progredido com o surgimento de novos equipamentos, procedimentos terapêuticos e conhecimentos (ROCHA; FERREIRA, 2013).

Para ter acesso à medicina neonatal muitas vezes se faz necessário o transporte hospitalar neonatal - procedimento realizado pelos profissionais para realizar a transferência do recém-nascido para um setor ou serviço fora do ambiente em que o paciente se encontra internado, geralmente com o objetivo de transferir o paciente para um local que disponha de recursos superiores que não estão disponíveis no local de origem, ou para permitir que o paciente receba tratamento contínuo num hospital de sua escolha (ASTNA, 2015).

Este transporte pode ocorrer da forma intra ou inter-hospitalar (SBP, 2011). Na modalidade inter-hospitalar geralmente é realizado com o auxílio de ambulância, avião ou helicóptero em um dispositivo especializado cujo objetivo é manter as condições ambientais, a incubadora (BROWNING *et al.*, 2008).

O BOA/CBMSC, desde a sua implantação em 2010 até o mês de dezembro de 2022, recebeu 2162 solicitações de transportes aeromédicos, dos quais cerca de 2092 foram realizados¹, o que corresponde a quase 16% de todas as ocorrências

¹ O número de atendimentos difere dos realizados porque em alguns casos, por mais que a aeronave decole, a missão não é cumprida por questões relacionadas à piora do quadro clínico do paciente, degradação das condições meteorológicas ou até mesmo óbito.

atendidas (Tabela 1). Ainda, dos cerca de 2092 transportes aeromédicos realizados, 42% (881) foram realizados por aeronaves de asas fixas e 58% (1211) foram realizados por aeronaves de asas rotativas.

Tabela 1 – Estatística Operacional do Batalhão de Operações Aéreas do Corpo de Bombeiros Militares do Estado de Santa Catarina (CBMSC) entre 2010 e 2022 (BOA, 2022)

Natureza dos Atendimentos	Quantidade	Percentual
Parada Cardiorrespiratória (PCR)	1541	11,74%
Acidente de Trânsito	2083	15,87%
Apoio a Secretaria da Saúde	144	1,10%
Apoio aos Batalhões do CBMSC	435	3,31%
Apoio a Marinha do Brasil	6	0,05%
Apoio a PMSC	9	0,07%
Afogamento	419	3,19%
Transporte de Órgãos	114	0,87%
Transporte de Autoridades	183	1,39%
Apoio a Defesa Civil	183	1,39%
Incêndio Florestal	293	2,23%
Prevenção	710	5,41%
Resgate/Salvamento/Busca	974	7,42%
Queda de Nível	705	5,37%
Transporte Aeromédico	2162	16,47%
Desastres Naturais	69	0,53%
Caso Clínico	2158	16,44%
Trauma	937	7,14%
TOTAL	13.125	100,00%

O transporte aeromédico tem sido requerido cada vez mais, já que as mudanças recentes nas condutas e protocolos dos centros médicos, deram muita ênfase ao transporte de pacientes, especialmente no sentido de direcionar a maior parte deles para os centros especializados (MCEVOY *et al.*, 2018), usando o modelo mais adequado de transporte, seja terrestre ou aéreo conforme recomendando pela AMPA (AMPA, 2015). No que concerne o transporte médico, o manual de orientações sobre o transporte neonatal do Ministério da Saúde (BRASIL, 2010) afirma que para a escolha correta do modal de transporte deve-se levar em conta diversos fatores, incluindo o estado clínico do paciente, a distância a ser percorrida, as condições do tempo, o número e o tipo de funcionários necessários, o equipamento exigido para a estabilização do paciente e a disponibilidade no momento do transporte. No Brasil, de maneira geral, são utilizadas as ambulâncias para o transporte terrestre e os helicópteros e aviões para o transporte aéreo.

Ainda, segundo o mesmo documento, considera-se que as ambulâncias são eficazes para transportar pacientes graves ou instáveis num raio de até cerca de 50

quilômetros e pacientes estáveis num raio de até 160 quilômetros. O custo envolvido no transporte terrestre por meio de ambulâncias é relativamente barato, e considera-se que esta modalidade de transporte seja mais segura, apresentando baixos níveis de vibração e níveis de pressão sonora, entre 90–100 dB (BRASIL, 2010). Apresenta ainda que os aviões são ideais para longas distâncias pela rapidez, pouca vibração e ruído, iluminação e espaço adequado para a monitorização e a manipulação do paciente. Todavia, apresenta desvantagens como elevado custo operacional, impossibilidade de realizar o transporte urbano e necessitar da ajuda de ambulância ou de helicópteros para o transporte do paciente do hospital ao aeroporto e vice-versa. Por fim, helicópteros são considerados mais eficientes para transportar pacientes graves num raio de 160 a 240km, mas apresentam algumas desvantagens, como espaço interno limitado e elevados NPS, o que interfere de forma substancial no transporte neonatal.

Diversos estudos apontam os elevados níveis de pressão sonora no interior dos veículos e aeronaves envolvidas em operações de resgate e transporte, porém o número de estudos é reduzido quando o foco está na comparação entre os modelos de aeronaves e veículos.

Pela falta de informações relacionadas aos níveis de pressão sonora e vibrações em aeronaves utilizados para transporte aeromédico, e em especial nos modelos de asas rotativas utilizados no estado de Santa Catarina (Eurocopter AS350 B2 e Agusta Westland AW119 MkII), e considerando o exposto no manual de orientações sobre o transporte neonatal do Mistério da Saúde (BRASIL, 2010), todos os transportes aeromédicos pediátricos e neonatais realizados pelo Batalhão de Operações Aéreas do CBMSC são realizados com as aeronaves de asas fixas, mesmo desconhecendo os Níveis de Pressão Sonora e de aceleração RMS relativos ao modelos de aviões utilizados. Quando não é possível a realização do transporte com o avião, esse é, obrigatoriamente, realizado por via terrestre, mesmo com o elevado risco de acidente de trânsito, pois a função primária do transporte aeromédico é promover segurança para o pacientes e para a equipe. Deste modo, se o voo ou parte dele não pode ser completado seguramente, não deve ser realizado (ASTNA, 2017).

As orientações dadas pelo manual do Ministério da Saúde nem sempre vão ao encontro das necessidades para o transporte de pacientes ou contrastam com a infraestrutura disponível em muitos estados brasileiros para realização do transporte aeromédico pelos agentes públicos, em particular os corpos de bombeiros, a polícia militar e a polícia rodoviária federal.

No caso do Estado de Santa Catarina verifica-se que o Estado dispõe de uma ampla estrutura para o atendimento de ocorrências e de transferências aeromédicas, em especial através do BOA/CBMSC.

O BOA/CBMSC iniciou suas atividades fazendo uso de apenas uma aeronave de asas rotativas (helicópteros), modelo AS350 (MAUS; PRATTS, 2013). No ano de

2013, passou a contar com uma aeronave de asas fixas (aviões), modelo Cessna C210N Centurion. Já em 2015 a capacidade operativa dobrou, com a aquisição de mais um helicóptero, modelo AS350 B2, e mais um avião, modelo C206H, para as operações, chegando, em 2018, a operar a partir de três bases operacionais distintas, uma em Florianópolis (helicóptero e avião²), uma em Blumenau (somente helicóptero³) e uma em Chapecó (somente avião⁴). Contudo, em maio de 2019 a aeronave PP-IMA necessitou realizar uma manutenção em Florianópolis e não retornou mais à Chapecó, sendo a base de Chapecó fechada. Desta forma, ambos os aviões eram operados da base de Florianópolis até novembro de 2020, quando a aeronave PR-EPH foi descomissionada e repassada ao Corpo de Bombeiro Militar do Estado de Alagoas. Para suprir a perda da aeronave, a Casa Civil do Estado de Santa Catarina, em junho de 2020, autorizou o BOA/CBMSC a utilização da aeronave Embraer, modelo EMB-820C Carajá, prefixo PT-RFT. Em 2021 a aeronave PP-IMA também foi descomissionada e encaminhada ao Corpo de Bombeiro Militar do Estado do Mato Grosso do Sul.

As ocorrências atendidas e os transportes cresciam, ano após ano, mas com o fechamento da base de Chapecó e a impossibilidade de abertura de novas bases, como por exemplo, em Jaguaruna, em decorrência da falta de pilotos (diversos pilotos foram para a reserva e outros deixaram de voar), dos elevados custos em manter a estrutura, do descomissionamento das aeronaves (por motivos mecânicos e obsolescência), o número de atendimentos e transportes estagnou entre os anos de 2017 e 2021 (Figura 1). Estes números voltam a crescer após agosto de 2021, quando houve a locação da aeronave Hawker Beechcraft, modelo King Air C90 e o recebimento, em maio de 2022, de mais uma aeronave Embraer, modelo EMB-820C, em decorrência da demanda trazida pela pandemia.

Com o aumento da demanda por transportes de pacientes, houve também uma intensificação dos estudos da interação das equipes, da fisiologia do paciente e dos estressores do ambiente, uma vez que, o transporte aeromédico ou terrestre apresenta muitas exigências específicas para os profissionais de saúde (ASTNA, 2017). A importância dos conhecimentos sobre os estressores do ambiente relacionado ao recém-nascido são evidenciados pela necessidade de o paciente estar estável para o transporte garantindo a estabilidade hemodinâmica, respiratória, glicêmica e ácido básica, como também o manejo sobre a vibração e ruídos acentuados a exemplo de sirenes (BALBINO; CARDOSO, 2017).

Para tal, o estudo dos estressores de voo, tais como hipóxia, disbarismos, umidade, temperatura, vibração, ruído, forças acelerativas, forças gravitacionais, luminosidade, fadiga de voo e mudanças de zonas de tempo (meridionais), entre outros, é

² Helicóptero Arcanjo-01, modelo AS350 B2, prefixo PR-HGR e avião Arcanjo-02, modelo Cessna 210N Centurion, prefixo PR-EPH.

³ Helicóptero Arcanjo-03, modelo AS350 B2, prefixo PR-BNU.

⁴ Avião Arcanjo-04, modelo C-206H Station Air, prefixo PP-IMA.

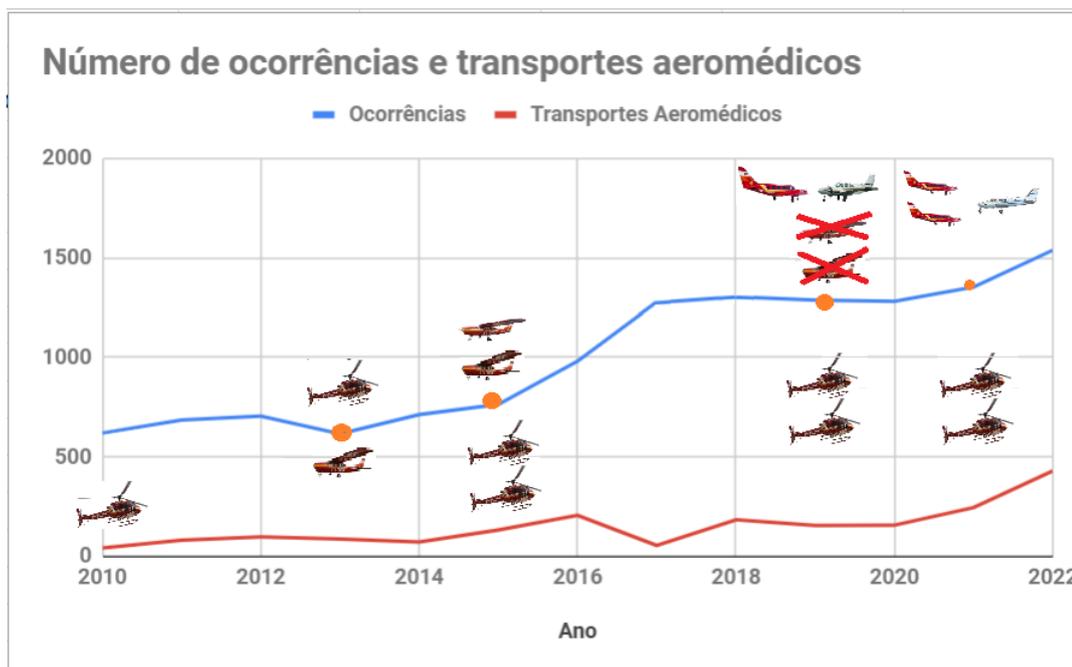


Figura 1 – Atendimentos e transferências aeromédicas anuais do Batalhão de Operações Aéreas do CBMSC entre 2010 e 2022 (BOA, 2022)

de extrema importância pois interferem diretamente na estabilidade hemodinâmica do paciente (SCHWEITZER, 2012). Dois dos principais estressores associados ao transporte são o excesso de ruído e de vibração (BAILEY *et al.*, 2018; SCHWEITZER, 2012).

De forma geral, a exposição sonora pode causar problemas tais como perda auditiva, incômodo e agressividade, hipertensão, altos níveis de estresse, zumbido, distúrbios do sono (PASSCHIER-VERMEER; PASSCHIER, 2000), depressão severa e, às vezes, ataques de pânico (KRYTER, 2009) e um maior risco de morrer de infarto devido ao estresse (HUSS *et al.*, 2010).

No que tange ao ruído e vibração em aeronaves, tanto os pilotos quanto a tripulação e os demais passageiros e/ou pacientes estão, a princípio, expostos a elevados níveis, tanto dentro como fora das aeronaves, podendo causar desconforto, causar problemas na comunicação e, em casos extremos, levar ao desenvolvimento de PAINSPE ou PAIR em membros da tripulação (pilotos, operador aerotático e operador de suporte médico) ou em pacientes e passageiros. As características do ruído e das vibrações, e com isso também o potencial de causar desconforto, interferir na comunicação ou causar PAINSPE, variam de acordo com os tipos de aeronaves e com o estágio de voo. Bouchut (2011) observou nas transferências realizadas por helicópteros Eurocopter EC135, na região de Rhône na França, um alto grau de exposição a vibrações e ruídos, mais elevados que nas ambulâncias terrestres atingindo todo o corpo do paciente.

Nota-se ainda que os trabalhadores que executam suas atividades profissionais

no campo da aviação se encontram frequentemente expostos a elevados níveis de ruído e vibração. Além dos ruídos gerados pela aeronave durante o voo, em solo há outras fontes de níveis sonoros intensos, o que pode potencializar o risco de desenvolvimento de alterações de várias funções orgânicas dos trabalhadores não somente referentes a perda auditiva (ATHAYDE; AZEVEDO; ANDRADE, 2015).

Reconhecendo os efeitos negativos da exposição ao ruído e às vibrações, existem mundialmente legislações que estabelecem formas de avaliação e limites de exposição. No Brasil, a NR 15, do Ministério do Trabalho, estabelece limites de tolerância para os ruídos contínuos ou intermitentes na situação ocupacional em adultos. Para a mesma situação ocupacional a NHO 01 (FUNDACENTRO, 2001) traz recomendações sobre os níveis de ruído e tempo de exposição um pouco mais rigoroso do que a NR-15. Nota-se que ambas as normas tratam o ruído sob a ótica de perda de audição no contexto laboral, enquanto o ruído traz consequências mais amplas do que apenas perda auditiva. Considerando diferenças entre o sistema auditivo periférico e central em adultos e crianças, bem como diferenças anatômicas gerais nestas duas populações, os limites não podem ser estendidos à população infantil, não existindo então legislação sobre os níveis permitidos de exposição em função do tempo para crianças.

A busca bibliográfica realizada para este estudo mostrou que as pesquisas mais recorrentes com crianças são aquelas relacionadas à exposição ao ruído em ambiente escolar, nas Unidades de Terapia Intensiva Neonatal e durante o Transporte Inter-hospitalar. Entretanto não foram encontrados estudos direcionados ao transporte e a exposição durante o transporte nos diversos modelos de aeronaves de asas rotativas existentes, em especial nos modelos mais utilizados no estado de Santa Catarina, os helicópteros AS350 B2 e AW119 MkII.

Por sua vez, a normativa mais utilizada para análise de vibração em adultos, além da própria NR-15 no Brasil, uma vez que define as atividades e operações que expõem os trabalhadores às vibrações localizadas ou de corpo inteiro, é as ISO 2631-1, a qual para faixas de frequências de interesse entre 0,5 e 80 Hz preconizam níveis máximos de vibração para o corpo inteiro e faixas de percepção com relação ao conforto.

A exposição do corpo humano à vibração pode causar danos físicos, ou perturbar o sistema nervoso. Essa exposição diária à vibração de corpo inteiro, durante longos períodos, pode resultar também em problemas ortopédicos e dos sistemas circulatório, urológico e, em especial, sistema nervoso. Os principais sintomas são fadiga, insônia, dor de cabeça e "tremores" (BRÜEL&KJAER, 1989; BALBINOT, 2001).

Com relação à vibração à qual a tripulação está exposta, vários estudos têm demonstrado uma alta prevalência de dor nas costas, especialmente na região lombar (SHEARD *et al.*, 1996) em pilotos de helicóptero (HANSEN; WAGSTAFF, 2001). Estudos mais direcionados investigaram a transmissibilidade da vibração do assento à

região lombar e torácica da coluna vertebral em pilotos de helicópteros durante voos regulares. A partir de medições em aeronaves diferentes (Sikorsky S-76 e Bell 412) detectou-se que a maior parte da energia vibratória nestes helicópteros se concentra em uma faixa de frequência próxima à primeira ressonância do corpo humano (OLIVEIRA, C.; NADAL, 2005).

Já quanto à influência da vibração no paciente transportado, estudos encontraram correlação entre o transporte inter-hospitalar terrestre e a maior frequência cardíaca e maior contagem de leucócitos no sangue, o que pode estar relacionado a algum estresse particular (mas não identificado) relacionado a transferência em ambulância (LEVENE; FAWER; LAMONT, 1982). Logo, ser capaz de identificar os níveis de vibração e os efeitos deletérios do transporte e as suas formas de mitigação seriam de grande valia (BLAXTER *et al.*, 2017).

Frente ao exposto, a avaliação das características acústicas e vibracionais no interior de aeronaves tem, portanto, grande relevância, não somente do ponto de vista do conforto dos passageiros (BITENCOURT *et al.*, 2006), mas também no que concerne a tripulação e aos pacientes (BAUMANN *et al.*, 2003; SUNDBACK; TINGVALL, 1980). No que tange às aeronaves de asas fixas, as características do ruído e vibração no seu interior, a prevalência e os fatores contribuintes para a perda auditiva em pilotos e tripulantes destas aeronaves já foram muito estudados com o foco no conforto e nas atividades laborais, contudo não sob a ótica do transporte de pacientes, muito menos com considerando pacientes recém-nascidos em incubadora.

No entanto, há ainda poucas pesquisas focadas em uma das aeronaves mais utilizadas pelas forças policiais, corpos de bombeiros e organizações militares em todo o mundo, o Eurocopter AS 350 B2 Esquilo e o Agusta Westland AW 119 MkII Koala.

O AS350 B2 é um dos preferidos das Unidades Aéreas Públicas, devido ao seu grande leque operacional, pelo seu baixo custo operacional e pela grande disponibilidade de peças. Introduzido na década de 70, o Esquilo surgiu como substituto do Aérospatiale Alouette II e rapidamente adquiriu reputação como aeronave multimissão, podendo executar diversos tipos de funções, tais como combate a incêndios, patrulhamento policial, busca e salvamento, transporte de passageiros e transporte aeromédico. Capaz de operar em condições climáticas extremas, tornou-se uma visão comum em helipontos e aeroportos por todo o mundo. Considerando todas as suas versões, foram produzidos e vendidos mais de 6000 helicópteros modelo AS350 Esquilo em mais de 100 países, totalizando em 2016 mais de 23 milhões de horas de voo (HELIBRAS, 2016). Aproximadamente 5000 helicópteros Esquilo ainda estão em operação ao redor do mundo. Dentre os usuários destas 5000 aeronaves encontram-se diversas Forças Armadas e Forças Policiais, que valorizam a sua grande manobrabilidade. Introduzido no Brasil inicialmente pela Polícia Civil do Rio de Janeiro, com mais de 30 anos de atividade com este modelo de aeronave (DEFESANET, 2011), o AS 350 é hoje o modelo

mais utilizado pelas Unidades Aéreas Públicas no Brasil.

Conforme dados atuais fornecidos pela SENASP, a frota de helicópteros monoturbinas das unidades aéreas públicas do Brasil somam 145 aeronaves, das quais 108 (75%) são do modelos AS350 Esquilo e 15 (11%) do modelo AW119 Koala. O Grupamento de Radiopatrulha Aérea da Polícia Militar de São Paulo, a unidade com a maior frota do país - dos 27 helicópteros para atendimento de ocorrências, possui 24 do modelo AS350 Esquilo.

Em Santa Catarina, as Unidades Aéreas Públicas da Polícia Militar e do Corpo de Bombeiros Militar dispõem de seis aeronaves de asas rotativas, sendo cinco do modelo AS350 B2 Esquilo e uma do modelo AW119 MkII Koala.

A capacidade única de manobra do helicóptero AS350 torna-o extremamente valioso em operações, contudo os problemas acústicos e vibracionais associados a ele necessitam de estudos mais aprofundados (GELAIN; PAUL, 2018), pois apesar de ser uma aeronave amplamente utilizada, inclusive em missões sensíveis (transporte aeromédico, portas abertas), são poucos os materiais publicados que descrevem as características vibroacústicas do AS350 Esquilo.

Ainda, no que concerne a análise dos padrões de ruído e vibrações nas aeronaves utilizadas pela UAP, cabe destacar que o padrão de voo da aviação de Segurança Pública é muito diferente do realizado pela aviação executiva, pois constantemente operam em situações de baixa velocidade e baixa altitude - conhecidas como "Curva do Homem Morto", além de operarem em grande altitude próximo do peso máximo de decolagem ou de portas abertas⁵

Junto ao AS 350 B2, o helicóptero AW119 MkII Koala também é utilizado em diversos estados como por exemplo no Rio Grande do Sul e Goiás (BENI, 2010), ganhando cada vez mais relevância com aquisições recentes pela PRF (seis aeronaves) (BENI, 2018), pelo estado do Rio de Janeiro (uma aeronave) e pelo estado do Rio Grande do Norte (uma aeronave). O AW 119 MkII é utilizado como aeronave de múltiplo emprego devido ao seu amplo espaço interno, que diferentemente do AS350 Esquilo, não necessita voar com a porta aberta durante o transporte de pacientes. Destaca-se também a disponibilidade de potência, a capacidade do gancho de carga (até 1.400kg) e a possibilidade de receber um guincho elétrico (Hoist) com capacidade para até 204kg (PADILHA, 2017).

Da mesma forma, o AW119 Koala carece de estudos focados nas suas características vibroacústicas e nas influências durante o transporte de pacientes, uma vez

⁵ Apesar da grande versatilidade, a aeronave Esquilo não dispõe de grande espaço interno. Muitos operadores utilizam essa aeronave para realizar transportes inter-hospitalares de pacientes e atendimentos de vítimas primárias. Ademais, pelo fato de terem que sacrificar o assento do segundo piloto em comando, acabam por não utilizar o kit aeromédico homologado e conduzem o paciente em maca na posição transversal sobre o banco traseiro. Desse modo, dependendo da altura do paciente, a porta lateral permanece aberta durante todo o voo e assim, toda a tripulação fica submetida a um elevado nível de pressão sonora.

que se trata de uma aeronave muito nova, introduzida apenas no ano 2000 e com pouco mais de 300 unidades produzidas (FACTORY, 2011).

Assim, por se tratarem de diferentes modelos, as aeronaves de asas rotativas em questão (AS350 e AW119) devem apresentar padrões de ruído e vibração diferentes, uma vez que as características dependem da fonte de ruído, ou seja, das características do tipo de aeronave. Devido a cada tipo de helicóptero ser mecanicamente e aerodinamicamente diferente, por exemplo, 2, 3, 4, 5 ou mais pás do rotor principal, ou diferentes relações de engrenagem na caixa de transmissão principal, cada helicóptero terá uma assinatura acústica única (JAMES, 2005; HATFIELD; GASAWAY, 1963).

Desta forma, busca-se realizar uma comparação entre os níveis apresentados entre os modelos utilizados e, se possível, com os valores existentes na literatura.

1.2 JUSTIFICATIVA

O BOA/CBMSC, há mais de treze anos tem atuado em ocorrências de atendimento aeromédico especializado, sejam elas de transporte aeromédico ou de resgate propriamente dito. As aeronaves Arcanjos⁶, são divididas em aeronaves de asas fixas (aviões), focadas no transporte aeromédico e em buscas, e em aeronaves de asas rotativas (helicópteros), que atuam tanto no transporte aeromédico quanto em busca/salvamento/resgate.

Devido ao seu baixo tempo de resposta, a sua manobrabilidade e a facilidade de pouso, os helicópteros atuam fortemente em ações de resgate, mas desempenham também uma atuação essencial no transporte inter-hospitalar de adultos.

Porém, quando o foco são bebês recém-nascidos, estes pacientes apresentam grande sensibilidade aos estímulos externos durante seu transporte, ou seja, vibração e ruído, quando são submetidos a esse tipo de estímulos, normalmente ocorre uma alteração na frequência cardíaca e/ou respiratória, podendo eventualmente afetar o seu nível de oxigenação sanguínea (BROWNING *et al.*, 2008). Apesar de algumas vantagens do transporte por helicóptero, foi ainda detectado, durante o pouso, uma rápida desaceleração que foi correlacionada com um aumento repentino na perfusão cerebral venosa e um risco potencial de sangramento cerebral (BOUCHUT, 2011).

Assim, o transporte neonatal está associado a um alto risco de doenças cerebrais e sangramento em bebês de muito baixo peso, mas sem correlação ao meio de transporte. Nenhum estudo demonstrou uma relação direta entre o transporte de helicóptero e a hemorragia intraventricular em recém-nascidos, mas com o objetivo de garantir a saúde do neonato, por falta de dados específicos referentes ao ruído e vibração das aeronaves utilizadas para o transporte aeromédico no estado de Santa

⁶ Denominação dada às aeronaves do CBMSC em homenagem ao nome do helicóptero do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, que teve papel fundamental no resgate de vítimas da grande enchente de 2008.

Catarina, todos os transportes aeromédicos pediátricos/neonatal realizados pelo BOA são realizados com as aeronaves de asas fixas. Quando não é possível a realização do transporte com o avião, esse é, obrigatoriamente, realizado por via terrestre, mesmo com o elevado risco de acidente de trânsito e longos períodos de transporte.

Por esse motivo, o tema em questão tem grande relevância não só para a corporação, mas para todo o SAMU, uma vez que trará maior entendimento sobre as aeronaves utilizadas e auxiliará as equipes médicas de voo na compreensão, padronização e na definição dos protocolos de transferências inter-hospitalares envolvendo neonatos.

Apesar de diversos estudos relacionados ao tema, não foram encontrados trabalhos referentes aos modelos de aeronaves (AS350 B2, AW119 MkII, C206H, C210N, BE-55 e EMB-820C), ambulâncias e incubadora (FANEM IT-158 TS) utilizados no estado de Santa Catarina, evidenciando a importância do presente estudo.

Para isso, este estudo tem como objetivo principal medir e analisar as condições vibroacústicas das aeronaves das UAP do Estado de Santa Catarina, comparando os dados obtidos nesse modal de transporte com os demais modais e verificar se os níveis apresentados enquadram-se dentro dos valores toleráveis disponíveis na literatura.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Caracterizar as condições vibroacústicas das aeronaves das Unidades Aéreas Públicas do Estado de Santa Catarina durante o resgate e transporte aeromédico.

1.3.2 Objetivos específicos

De maneira a alcançar o escopo do trabalho aqui descrito, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- (a) Medir os níveis de pressão sonora no interior dos diferentes modelos de aeronaves de asas rotativas e fixas da PMSC e CBMSC, nas diversas configurações de voo;
- (b) Medir os níveis de pressão sonora e vibração no interior de uma incubadora neonatal durante um possível transporte aeromédico;
- (c) Determinar a diferença entre os níveis de pressão sonora medidos dentro e fora da incubadora modelo Fanem IT-158 TS no LVA da UFSC;
- (d) Calcular a dose de exposição ao ruído dos pacientes e da tripulação durante as ocorrências de resgate e transporte aeromédico;
- (e) Calcular a dose de exposição à vibração dos pacientes durante as ocorrências de transporte aeromédico em incubadora modelo Fanem IT-158 TS;
- (f) Comparar os dados medidos nos helicópteros com os dados medidos nos aviões do Batalhão de Operações Aéreas do CBMSC;
- (g) Comparar os dados medidos com os níveis toleráveis disponíveis na literatura;

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O presente capítulo faz uma breve contextualização sobre a importância e a motivação do trabalho.

O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica, incluindo uma seção sobre o histórico sobre as operações de resgate e transporte aeromédico, diferenciando os modais e apresentando os principais estressores de voo que impactam na estabilidade do paciente. Além disso, traz reflexão sobre os impactos da exposição do corpo humano à vibração e ao ruído. Na sequência versa sobre as principais fontes de ruídos e vibração em aeronaves e apresenta um breve resumo de dados encontrados na literatura. Ainda, a última seção do capítulo versa sobre os cuidados envolvendo recém-nascidos, aos níveis de pressão sonora aos quais estão expostos nas UTINs e

também durante os transportes inter-hospitalares, seja terrestres ou aéreos, trazendo valores de NPS e vibração encontrado na literatura para esses casos.

O terceiro capítulo descreve os métodos adotados para a instrumentação e coleta de dados para a posterior análise, tanto em laboratório quanto em voo.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, considerando a caracterização acústica das aeronaves envolvidas, uma breve caracterização acústica da incubadora Fanem IT-158 TS em termos dos modos acústicos e suas respectivas frequências naturais bem como dados sobre a diferença entre os níveis de pressão sonora medidos dentro e fora deste modelo de incubadora realizados em laboratório, na câmara reverberante do LVA-UFSC. Apresenta-se também a análise de dados sobre a diferença entre os níveis de pressão sonora medidos dentro e fora da incubadora durante o voo, em termos de NPS equivalente e por banda de 1/3 de oitava, com e sem ponderação. Ainda, apresenta-se a análise de dados de vibração da incubadora durante o voo de transporte aeromédico envolvendo neonatos e, por fim, apresenta-se o cálculo da dose de exposição ao ruído diária e semanal, bem como a dose de exposição à vibração de corpo inteiro, tanto para um paciente transportado no interior da cabine das aeronaves, quanto para pacientes transportados no interior da incubadora Fanem IT-158 TS

O quinto capítulo apresenta as conclusões deste trabalho bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESGATE E TRANSPORTE AEROMÉDICO

2.1.1 Aspectos gerais

O APH e as operações de resgate se tornaram uma grande demanda social, uma vez que, como relata Fonseca (2016), o aumento da mortalidade em decorrência do trauma¹, exigiu que as políticas públicas, que até então eram focadas no intra-hospitalar, comesçassem a enxergar fora das portas dos hospitais, pois os pacientes chegavam aos hospitais em estado grave e muitas vezes já sem vida por falta de ações simples de primeiros socorros (GRAU, 2015).

Historicamente, o APH iniciou durante as Guerras Napoleônicas quando o cirurgião militar Dominique Jean Larrey, integrante da Grande Armada de Napoleão, passou a utilizar ambulâncias puxadas por animais para levar atendimentos aos feridos em combate. Durante a guerra Franco Prussiana, as operações de resgate e de transporte militar de feridos evoluíram com a utilização de balões. Porém eram transportes realizados com ausência ou limitações de profissionais de saúde, principalmente médicos.

Em muitos casos, causavam mais baixas em decorrência da influência da baixa pressão atmosférica, desconhecida naquela época (FERRARI, 2013). Tal conhecimento começou a ser gerado a partir do trabalho de Paul Bert, que por meio de uma câmara hipobárica, analisou os efeitos da baixa pressão em humanos e animais, sobretudo no sistema respiratório e cardiovascular. Bert demonstrou que o homem não estava adaptado ao ambiente aéreo e estava sujeito à hipóxia, hipotermia, mal estar intermitente e efeitos deletérios do oxigênio e nitrogênio (FERRARI, 2013).

O APH rudimentar realizado durante o resgate e o transporte de pacientes, com o passar dos tempos, evoluiu para um sistema de resgate especializado de saúde, veículos e equipamentos especialmente projetados para esse fim (GRAU, 2015). Na sua evolução, o APH, em função da necessidade de um rápido atendimento e transporte, passou a utilizar aeronaves, denominado atendimento aeromédico.

Atualmente o estado de Santa Catarina dispõe de dois tipos de serviço aeromédico, um formado pelo serviço de resgate e atendimentos aeromédico especializado, prestado pelo CBMSC em parceria com o SAMU, com equipes treinadas em resgates e suporte avançado de vida em aeronaves permanentemente configuradas como unidade de suporte avançado aeroespacial e outro pelo serviço realizado pela PMSC e pela PCSC, em aeronaves que atuam concomitantemente no serviço aeropolicial e aeromédico, com policiais capacitados em táticas policiais para atendimentos de ocor-

¹ Lesão produzida por uma ação violenta, física ou química, externa ao organismo tal como acidentes de trânsito, quedas de nível, choques elétricos, entre outros.

rências de segurança pública e em resgates e atendimentos pré-hospitalar, fornecendo um serviço de suporte básico à vida, conhecido como multimissão - modelo adotado por diversos estados brasileiros.

Basicamente, as atividades aeromédicas são divididas em operações de resgate e de transporte aeromédico, a primeira operação é tipicamente realizada por helicópteros (aeronaves de asas rotativas) e a segunda por aviões (aeronaves de asas fixas). Os helicópteros são utilizados no atendimento de resgate, ou seja, no atendimento e transporte do paciente diretamente do local da ocorrência para o leito hospitalar, em voos curtos, entre 160 e 240km, visando diminuir o tempo resposta. Fatores como velocidade, facilidade para chegar em locais de difícil acesso e versatilidade, fazem do helicóptero uma ferramenta indispensável para as ocorrências de resgate. Como voam ponto a ponto, minimizam a distância percorrida e evitam os atrasos decorrentes do trânsito experimentados pelas ambulâncias, diminuindo consideravelmente o tempo resposta, aumentando a qualidade e o conforto no atendimento (GRAU, 2015; BRASIL, 2010). Pacientes em locais remotos como montanhas, cânions, florestas e corpos de água, também são beneficiados pelo serviço de resgate aeromédico (AAMS, 2014).

Já aviões são ideais para realizarem o transporte de pacientes em longas distâncias, proporcionando rapidez, pouca vibração e ruído, iluminação e espaço adequados para a monitorização e a manipulação do paciente. Todavia necessitam da ajuda de ambulância ou de helicópteros para o transporte do paciente do hospital ao aeroporto e vice-versa.

Tanto o resgate quando o transporte aeromédico e terrestre apresentam exigências específicas para os profissionais de saúde (ASTNA, 2017). O resgate e transporte aeromédico requerem da equipe, um entendimento específico da fisiologia e dos estressores de voo, sendo esses conhecimentos a base das habilidades específicas para atuação no ambiente aeromédico, tanto nas aeronaves de asa fixa como nas de asa rotativa (ASTNA, 2009).

Desse modo, é importante conhecer os principais estressores de voo e suas influências na fisiologia do paciente.

Estressores de Voo

O transporte aeromédico requer da equipe um entendimento das alterações fisiológicas que possam ocorrer no paciente. As aeronaves e suas tripulações são impactadas diretamente pelas propriedades físico-químicas da atmosfera, sendo expostos aos seus efeitos fisiológicos deletérios ou até mesmo perigosos (ASTNA, 2017). Assim, para que o transporte ocorra, é primordial que a estabilidade hemodinâmica, respiratória e glicêmica do paciente estejam garantidas, bem como também o correto manejo sobre a vibração e os ruídos (BALBINO; CARDOSO, 2017).

Nas transferências realizadas por helicópteros, observou-se um alto grau de

exposição a vibrações e ruídos, mais elevados do que nas ambulâncias terrestres, atingindo o corpo todo do paciente recém-nascido (BOUCHUT, 2011), assunto esse que será abordado em seguida.

Neste sentido, é importante salientar que, tanto no caso da tripulação ou dos passageiros/paciente, a exposição pode ser analisada por duas óticas: 1) aquela preocupada com lesões do sistema auditivo ou do corpo inteiro causado por vibrações, sendo esta visão amparada na legislação vigente; 2) ou aquela que avalia a influência de ruído e vibrações no bem estar e na capacidade de trabalho da tripulação.

A seguir, o presente trabalho fará um apanhado sobre as duas óticas, abordando, ora a questão de possíveis lesões relacionadas, ora sobre o impacto no bem-estar do paciente/tripulação.

2.2 EXPOSIÇÃO AO RUÍDO E À VIBRAÇÃO

2.2.1 Exposição do corpo humano ao ruído

A exposição ao ruído² pode causar efeitos negativos auditivos e extra-auditivos no ser humano.

Os efeitos auditivos da exposição ao ruído e outros sons com elevadas intensidades foram estudados extensivamente com relação aos postos de trabalho, primordialmente de acordo com a perda auditiva induzida por ruído (BASNER *et al.*, 2014). Essa perda auditiva compromete a comunicação, causa déficit de atenção e concentração, comprometimento de memória e aumento do estresse e fadiga. Estes fatores podem aumentar significativamente o risco de um trabalhador de outra lesão ou acidente no trabalho (CORDEIRO *et al.*, 2005; DZHAMBOV; DIMITROVA, 2017).

Além da perda auditiva, a exposição ao ruído pode causar incômodo e agressividade, hipertensão, altos níveis de estresse, zumbido, distúrbios do sono e outros efeitos prejudiciais (PASSCHIER-VERMEER; PASSCHIER, 2000), tais como esquecimento, depressão severa e, às vezes, ataques de pânico (KRYTER, 2009).

2.2.1.1 Avaliação da exposição ao ruído

Apesar das diferenças que existem nas formas de avaliação do impacto sonoro sobre as pessoas, seja tanto ao potencial dano à audição causado pelo ruído quanto o incômodo causado por ele, grande parte das avaliações adota uma análise com base no NPS.

² Classificam-se como ruídos os sons considerados desagradáveis ou indesejados, podendo um mesmo som ser interpretado de forma diferente por indivíduos distintos (GERGES, 2000). O som como fenômeno físico é então sujeito à interpretação humana, e quando não desejado, é o chamado ruído. Apesar de sons com elevada intensidade terem potencial de causar danos ao ser humano, não necessariamente significam, obrigatoriamente, um incômodo para todas as pessoas em todas as circunstâncias. Isso explica o grande número de metodologias existentes na tentativa de quantificar o incômodo sonoro produzido por sons.

A partir do NPS, várias outras grandezas tais como o Nível de Pressão Sonora Equivalente, com ponderação "A" ou L_{Aeq} , Nível de Pressão Sonora Pico, com ponderação "C" ou L_{Cpeak} , Nível de Pressão Sonora Máxima ou L_{max} ou Dose de Exposição L_{AE} podem ser determinadas.

Tabela 2 – Nível de exposição sonora L_{AE} a um ruído contínuo com $L_{Aeq}=85$ dBa em diferentes tempos de exposição (NABINGER, 2005)

L_{Aeq} [dBA]	Tempo Exposição	Nível de Exposição Sonora L_{AE} [dBA]
85	1 segundo	85
85	1 minuto	102,7
85	1 hora	112,5
85	8 horas	129,6
85	1 dia	134,4
85	1 semana	142,8
85	1 mês	148,8
85	1 ano	159,9
85	10 anos	169,9
85	100 anos	179,9

No Brasil, a exposição ao ruído nos postos de trabalho é regulamentada conforme Anexo 1 da NR-15 e pela norma NHO 01. Ambas versam sobre a exposição máxima permitida em postos de trabalho para evitar o risco de perda auditiva induzida por ruído em trabalhadores, não sendo objeto da norma outros efeitos negativos tais como incômodo e agressividade, hipertensão, altos níveis de estresse, distúrbios do sono, depressão severa e, às vezes, ataques de pânico (PASSCHIER-VERMEER; PASSCHIER, 2000; KRYTER, 2009).

Segundo ambas a avaliação da exposição ocupacional ao ruído contínuo ou intermitente deverá ser feita por meio da determinação da dose diária de ruído ou do nível de exposição, parâmetros representativos da exposição diária do trabalhador. Esses parâmetros são totalmente equivalentes, sendo possível, a partir de um obter-se o outro, mediante expressões matemáticas.

Comparando-se a Norma Regulamentadora 15, do Ministério do Trabalho, e a NHO-01, verifica-se que a primeira apresenta recomendações brandas e refere-se à exposição ocupacional ao ruído em adultos, não podendo ser estendida à população infantil. Já a norma NHO-01, em comparação com a NR-15, traz recomendações sobre os níveis de ruído e tempo de exposição um pouco mais rigorosas, porém ainda focado no público adulto e referente à exposição ocupacional.

2.2.1.2 Ruído e aviação

Ruído afeta tanto a tripulação e passageiros de aeronaves, como também a população em solo que reside na vizinha de aeroportos, aeródromos e próximo a rotas

de voo.

No que concerne tripulação e passageiros de aeronaves, o ruído nas aeronaves contribui não somente com a perda auditiva (AL-OMARI; AL-KHALAF; HUSSIEN, 2018), mas com uma série de efeitos não auditivos, tais como incômodo, distúrbios do sono (ADMI *et al.*, 2007), estresse (HUSS *et al.*, 2010), dessincronização entre o horário de sono/vigília e o ciclo gerado pelo sistema de temporização circadiana (MARTINEZ; LENZ; MENNABARRETO, 2008), aumento do risco de cometimento de erros e acidentes de trabalho (FIDO; GHALI, 2008), interferência na fala, problemas de saúde mental, hipertensão, transtornos psicológicos e cardiovasculares (COSTA; SILVA; NETO, 2003). O impacto do ruído da aeronave nos parâmetros cardiovasculares tem recebido considerável atenção nos últimos anos, especialmente na Europa. Um estudo italiano, envolvendo mais de 300 pilotos, sugeriu que a exposição crônica ao ruído é um fator de risco para hipertensão em pilotos expostos a altos níveis de ruído (TOMEI *et al.*, 2005). Da mesma forma, foram encontradas fortes correlações entre a exposição ao ruído, às condições ambientais e aos poluentes na cabine da aeronave com taxas mais altas de bronquite crônica, doenças cardiovasculares, distúrbios do sono, depressão e fadiga em comissários de bordo ao compará-los com a população em geral (MCNEELY *et al.*, 2014) .

No que concerne aos níveis de pressão sonora às quais a tripulação é exposta durante as operações os mesmos devem ser analisados à luz da Norma Regulamentadora NR-15 do Ministério do Trabalho (BRASIL, 1978), ou da NH-01 da FUNDACENTRO (FUNDACENTRO, 2001).

Todavia, quando há excitação de altos níveis de vibração e ruído como, por exemplo, em um helicóptero, tanto as ponderações "A" e "C" não são suficientemente adequadas para caracterizar a resposta do corpo humano quanto aos efeitos psicológicos como estresse, insônia, depressão e agressividade (SCHOMER; NEATHAMMER, 1985).

2.2.2 Exposição do corpo humano a vibrações

A vibração no corpo humano é definida como toda a vibração produzida por um evento externo atuando no corpo humano como, por exemplo, quando o corpo está sobre uma superfície que está vibrando (BRÜEL&KJAER, 1989).

Para lidar corretamente com a vibração, é imperativo que se conheça a sua fonte, seus níveis, suas frequências e as suas doses de exposições (GRIFFIN, M. *et al.*, 2000), pois o corpo humano é impactado de forma diferente pelas vibrações com características distintas, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Sensibilidade do corpo humano às vibrações (CHAFFIN *et al.*, 2006)

Frequência	Sensibilidade
0 a 2	Sistema vestibular
2 a 30	Biomecânica: ressonância do corpo
>20	Músculos, tendões e pele

A faixa de interesse para a análise de vibrações de corpo inteiro é de 0,5 a 100 Hz e, caso o interesse seja para vibrações em mãos e braços, o espectro de interesse é ampliado para valores entre 5-5000 Hz (PASCHOLD; MAYTON, 2011) , conforme Figura 2.

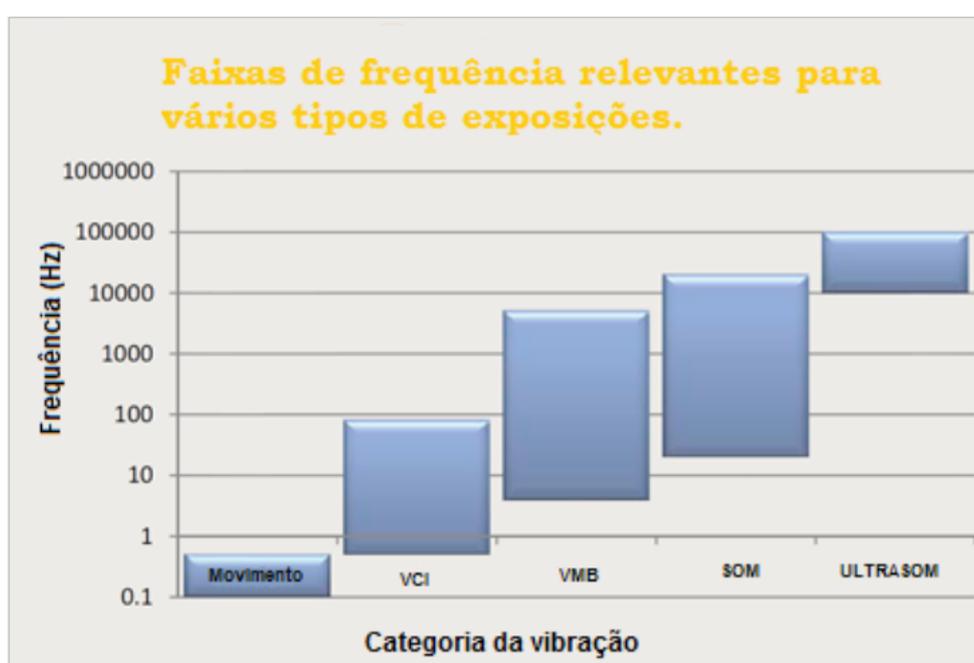


Figura 2 – Faixa de frequência relevante para vários tipos de exposição (PASCHOLD; MAYTON, 2011)

Os limites de percepção à vibração e os níveis que causam desconforto às pessoas foram medidos em experimentos, gerando-se curvas de conforto humano, baseado nos critérios de vibração. A Norma ISO 2631-1:1997, através das suas curvas, é usada como referência pelos guias de projeto para avaliação do conforto humano.

A Tabela 4, apresenta a percepção de conforto conforme os valores de aceleração sentidos por indivíduos adultos, na posição sentada, conforme a Norma ISO 2631-1:1997.

Tabela 4 – Acelerações e suas percepções na posição sentada (ISO-2631-1, 1997)

Aceleração (m/s²)	Percepção
Menos de 0,315	Não desconfortável
0,315-0,63	Pouco desconfortável
0,5-1	Razoavelmente desconfortável
0,8-1,6	Desconfortável
1,25-2,5	Muito desconfortável
Maior que 2,0	Extremamente desconfortável

Como se pode notar, há faixas nas quais as acelerações podem ser enquadradas de duas formas diferentes, o que, em tese, prejudica ou dificulta um correto enquadramento. Desta forma, Plewa *et al.* (2012) apresentou uma tabela um pouco mais detalhada, corrigindo a ambiguidade de classificação. A Tabela 5 descreve as novas faixas de percepção para os valores apresentados na norma ISO 2631-1.

Tabela 5 – Comparação entre ISO 2631-1 e a predição auto-relatada dos valores de conforto à exposição de vibração veicular de corpo inteiro durante o trabalho (PLEWA *et al.*, 2012)

Escala	Acel. RMS (m/s²)	Percepção
0	< 0,32	Não desconfortável
1	0,32 – 0,50	Pouco desconfortável
2	0,50 – 0,63	Pouco desconfortável a razoavelmente desconfortável
3	0,63 – 0,80	Razoavelmente desconfortável
4	0,80 – 1,00	Razoavelmente desconfortável a desconfortável
5	1,00 – 1,25	Desconfortável
6	1,25 – 1,60	Desconfortável a muito desconfortável
7	1,60 – 2,00	Muito desconfortável
8	2,20 – 2,50	Muito desconfortável a extremamente desconfortável
9	> 2,50	Extremamente desconfortável

Além de relacionar acelerações e percepções de vibração, a ISO 2631-1:1997 define os limites de exposição a vibrações transmitidas ao corpo humano, por superfícies sólidas, no intervalo de frequência de 0,5 a 80 Hz, por um pessoa adulta na posição sentada. Pode ser aplicada dentro do intervalo de frequência especificada para vibrações periódicas e não periódicas ou esporádicas com um espectro difuso de frequência. Eventualmente, pode também ser aplicada à excitação de impacto, desde que a energia em questão esteja contida na banda entre 0,5 e 80 Hz, pois as vibrações de corpo inteiro (VCI), danosas ao organismo, estão na faixa de frequências de 1 a 80 Hz para (XIMENES, 2006; BRÜEL&KJAER, 1989). As vibrações de mãos e braços (VMB), também conhecidas como segmentais, localizadas ou de extremidades, ocorrem na faixa de 6,3 a 1250 Hz (XIMENES, 2006; BRÜEL&KJAER, 1989), sendo que a faixa mais crítica para causa de dano físico se situa entre 50 Hz a 150 Hz.

Os limites fornecidos pela norma ISO 2631-1:1997 são para uso de acordo com os três critérios geralmente reconhecíveis de saúde, percepção e conforto e doença de movimento (cinetose). Em geral, a vibração transmitida para um corpo humano em contato com esses equipamentos é composta de diferentes frequências de vibração, o que precisa ser levado em consideração ao medir a vibração humana porque o corpo humano não é igualmente sensível a todas as frequências e direções de vibração, conforme Figura 3.

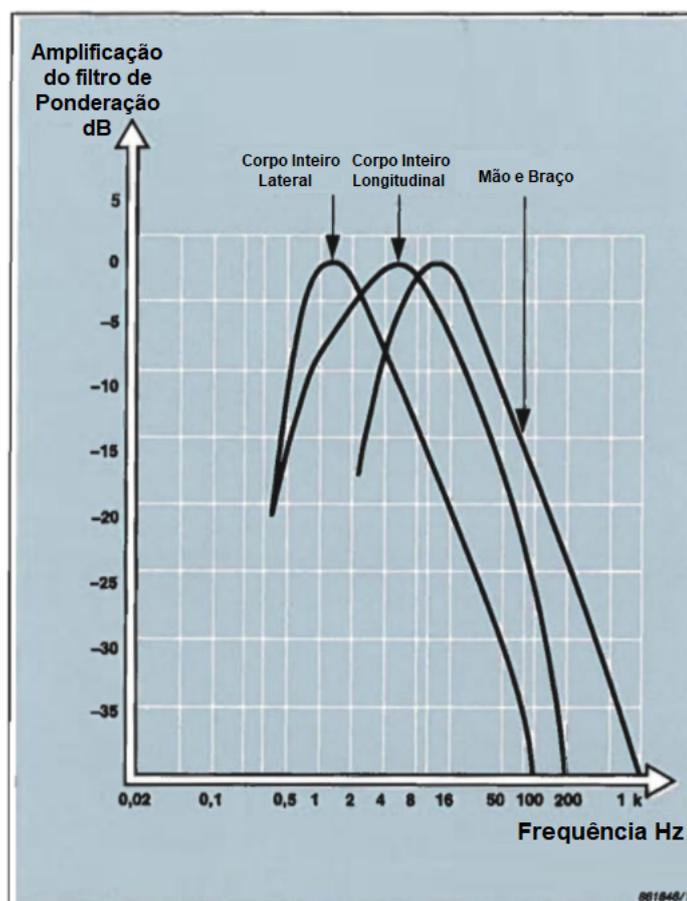


Figura 3 – Curvas de ponderação (BRÜEL&KJAER, 1989)

Para entender por que os seres humanos são mais sensíveis a algumas frequências do que para outras, é útil considerar o corpo humano como um sistema mecânico. Conforme (BRÜEL&KJAER, 1989), este sistema é complicado pelo fato de que:

- Cada parte do corpo tem sua maior sensibilidade em diferentes faixas de frequência;
- O corpo humano não é simétrico, e
- Diferenças anatômicas fazem com que duas pessoas não respondam à vibração exatamente da mesma maneira.

Mesmo assim, modelos biomecânicos adequados foram desenvolvidos para simular a resposta do corpo humano à vibração. A Figura 4, mostra um modelo mecânico simplificado do corpo, onde cada seção é representada por uma unidade de massa, mola e amortecedor.

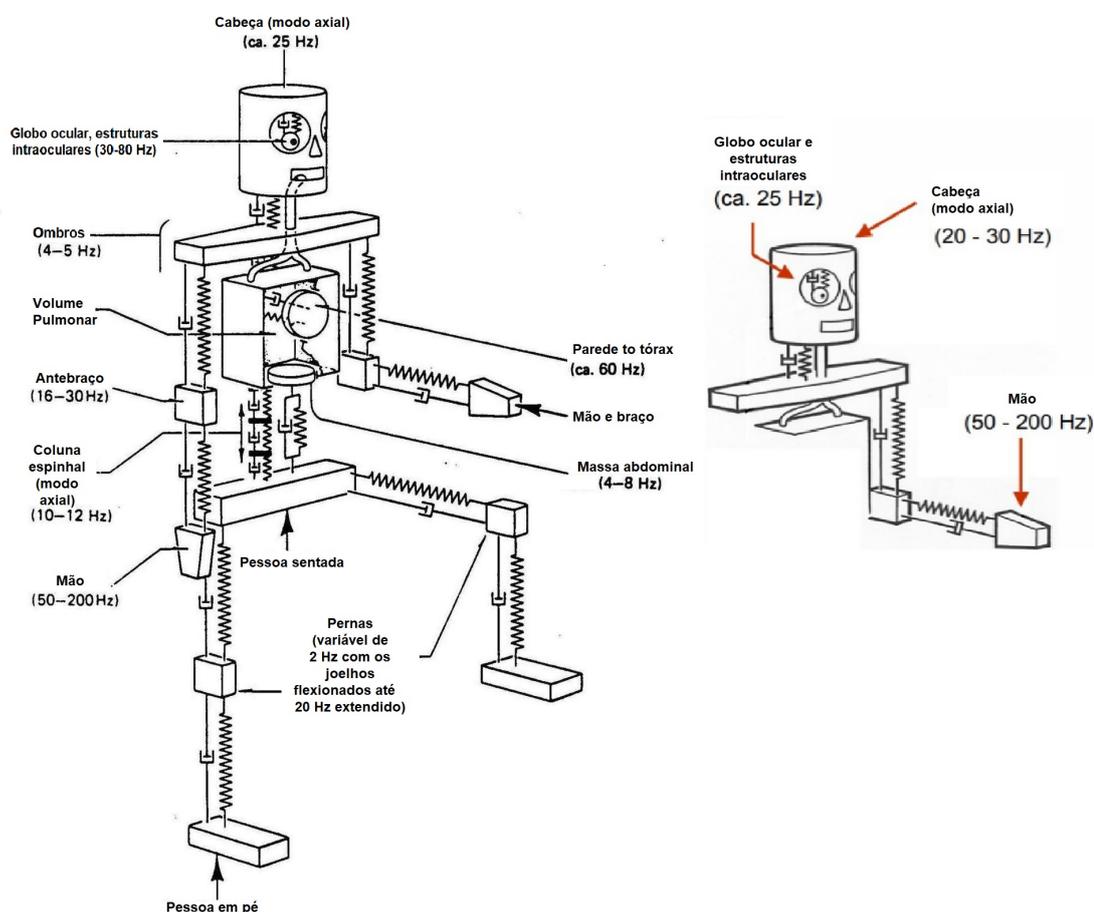


Figura 4 – Frequências de ressonância do corpo humano (BRÜEL&KJAER, 1989)

É claro que, nesse aspecto, temos que levar em consideração a impedância mecânica do corpo humano em determinada faixa de frequência, uma vez que ela não é linear. De acordo com Gradwell e Rainford (2006), se considerar um corpo humano como um sistema simples de massa, a sua impedância mecânica aumentaria linearmente com a frequência. Entretanto, ao se considerar uma pessoa sentada, isso só é verdade para frequências até 3 Hz. Então, há um aumento desproporcional até o seu máximo entre 4-5 Hz e um segundo pico entre 12-15 Hz, indicando as suas primeira e segunda ressonâncias. Acima de 7 Hz, a impedância mecânica do corpo cai abaixo dos valores de um sistema de simples massa, indicando os efeitos do isolamento de vibração do corpo devido aos tecidos corporais, como pode-se ver na Figura 5.

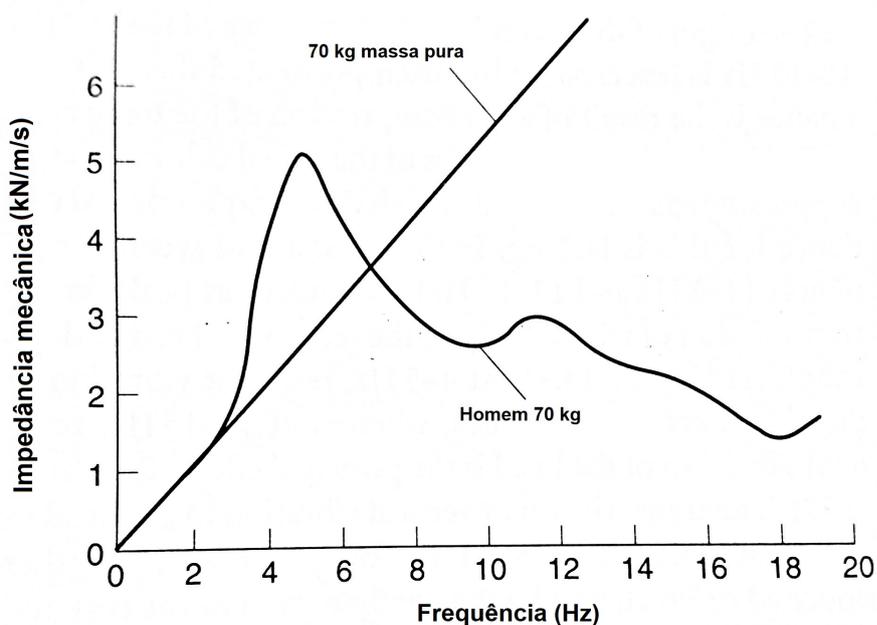


Figura 5 – Impedância mecânica de um corpo humano de 70 kg sentado (GRADWELL; RAINFORD, 2006)

O corpo humano tem um grande fator de amortecimento (BRÜEL&KJAER, 1989) e quanto maior a quantidade de gordura corporal ou maior a massa muscular, maior o será o amortecimento (JARRAH *et al.*, 1997). Dessa forma, os riscos da vibração são mais significativos em recém-nascidos de baixo peso, onde as vibrações causam impactos na sua estabilidade hemodinâmica, respiratória, glicêmica e causam um aumento no risco de hemorragia intraventricular (ROY GOSWAMI *et al.*, 2020).

A transmissibilidade da vibração, entretanto, depende de diversos fatores, como a fonte de vibração, a direção, a localização e as características do próprio corpo humano (massa corpórea, o tamanho dos órgãos e membros). Tanto a posição, no que diz respeito à superfície de contato do indivíduo com o plano em vibração, quanto a postura, a orientação do corpo e o grau de tensão em diferentes grupos de músculos do tronco e extremidades, influenciam na mudança das frequências de ressonância do corpo e resultam em uma substancial modificação na transmissão de vibrações, em faixas de frequência particulares (PEREIRA, C.; NEVES, 2006).

No caso de um indivíduo sentado, de acordo com Gradwell e Rainford (2006), tanto a primeira quanto a segunda frequência de ressonância (4-5 e 12-15 Hz) são evidentes como picos no gráfico de transmissibilidade da vibração. Entre 4-5 Hz há o predomínio da ressonância dos ombros e, entre 12-15 Hz, a cabeça, conforme Figura 6.

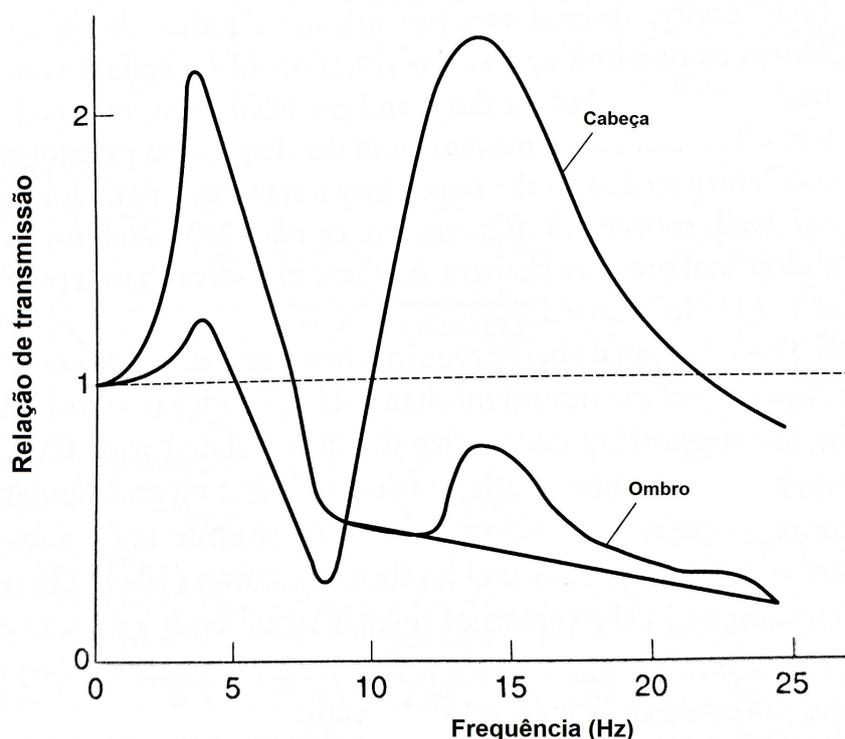


Figura 6 – Transmissibilidade de vibração de um corpo humano sentado (cabeça e ombros) (GRADWELL; RAINFORD, 2006)

Verifica-se, também, a existência de diferenças significativas entre os resultados obtidos para uma pessoa na postura em pé e na posição sentada (CHAFFIN *et al.*, 2006). Para indivíduos em pé e com vibrações na direção vertical para cima, o corpo humano apresenta maior sensibilidade na faixa de frequência de 4-8 Hz, que corresponde às frequências de ressonância de elementos do corpo (massa abdominal, ombros e pulmões). Nas direções laterais, as ressonâncias ocorrem a frequências mais baixas, entre 1-2 Hz. Os eixos coordenados em seres humanos indicando a direção da vibração estão mostrados na Figura 7.

De acordo com (GRIFFIN, M. J., 1996), as respostas obtidas por sujeitos na posição decúbito dorsal submetidos a vibrações no eixo vertical (ou seja, eixo *x*) apresentaram resultados muito diferentes ao se utilizar uma maca rígida ou uma padiola militar. As diferenças podem estar associadas à extensão do contato da cabeça e dependem do local onde as medições de vibração são realizadas.

No eixo *y*, das pessoas em decúbito dorsal, ou seja, de lado a lado, os estudos fornecem resultados semelhantes, mostrando uma diminuição na sensibilidade à aceleração que é proporcional a aumentos na frequência acima de cerca de 2 Hz. No eixo *z*, ou seja, no eixo longitudinal do corpo, a sensibilidade à aceleração de vibração pode diminuir com o aumento da frequência acima de 3 ou 4 Hz.

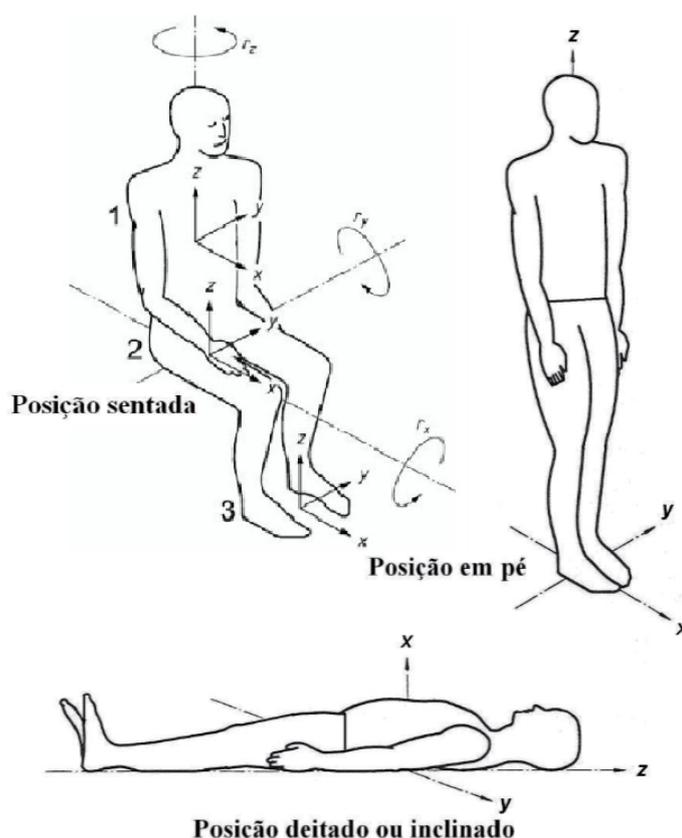


Figura 7 – Direções do sistema de coordenadas para vibrações mecânicas em seres humanos (ISO-2631-1, 1997)

O desconforto de pessoas deitadas expostas a vibração de corpo inteiro é relevante para ambulâncias, helicópteros e aviões que realizam o transporte de pacientes bem como demais veículos nos quais os passageiros esperam dormir (principalmente trens, aeronaves e navios) (GRIFFIN, M. J., 1996). A natureza da superfície de suporte do corpo é importante, principalmente quando se trata de uma maca rígida sem qualquer estofamento.

A exposição à vibração de corpo inteiro pode causar danos físicos, ou perturbar o sistema nervoso. A exposição diária à vibração de corpo inteiro durante uma série de anos pode resultar em sérios danos físicos, tais como problemas no sistemas circulatórios, urológicos e, em especial, no sistema nervoso. Os principais sintomas são fadiga, insônia, dor de cabeça e "tremores". No entanto, os sintomas geralmente desaparecem após um período de descanso (BRÜEL&KJAER, 1989; BALBINOT, 2001).

Os efeitos da vibração no corpo humano são determinados pela faixa de frequência envolvida, pela posição, pela direção da excitação, pela duração e sua magnitude (GRIFFIN, M. *et al.*, 2000). Ainda, para esse autor, indivíduos submetidos a frequências entre 1-30 Hz, apresentam dificuldades para manter a postura e também apresentam reflexos mais lentos. Em frequências de 0,1 a 0,7 Hz, as pessoas apresentam enjoos, náuseas, redução da acuidade visual e insônia. Entre 1-10 Hz influenciam nas con-

dições respiratórias. Já em frequências inferiores a 20 Hz, os indivíduos apresentam aumento da frequência cardíaca.

2.3 RUÍDO E VIBRAÇÕES EM OPERAÇÕES AEROMÉDICAS

De forma geral ruído e vibrações no interior de aeronaves têm grande relevância, não somente do ponto de vista do conforto dos passageiros (BITENCOURT *et al.*, 2006) mas também no que concerne à tripulação (BITENCOURT *et al.*, 2006; BAUMANN *et al.*, 2003; BOUCHUT, 2011; KÜPPER *et al.*, 2013; BUCAK *et al.*, 2009).

Apesar de ser um assunto com bastante pertinência, os estudos encontrados, principalmente sobre helicópteros, são bastante antigos, contudo, pelo fato de não haver mudanças significativas na concepção das aeronaves, permanecem válidos e correspondentes com a realidade atual.

No que tange aeronaves de asas fixas, as características do ruído no interior das aeronaves, a prevalência e os fatores contribuintes para a perda auditiva em pilotos destas aeronaves foram muito estudados - particularmente em aeronaves comerciais.

No entanto, há ainda poucas pesquisas referentes a esse assunto, focadas na tripulação e nos passageiros de helicópteros, em especial, em operações de Resgate e Transporte Aeromédico (KÜPPER *et al.*, 2013). Neste contexto, é importante notar que as condições particulares das operações de Resgate e Transporte Aeromédico em helicópteros podem resultar em características bastante distintas dos ruídos e das vibrações, se comparado às aeronaves de asa fixa ou helicópteros utilizados para voos comerciais.

2.3.1 Ruído em aeronaves

2.3.1.1 Ruído em aeronaves de asas fixas

As principais fontes de ruído da aeronave de asas fixas incluem o sistema de propulsão (ou seja, ventilador / hélice, turbina, compressor e exaustão do jato) e o ruído da interação fluido-estrutura, resultante de fluxos de ar em torno da fuselagem, das superfícies de levantamento e controle (asas *flaps*, *slats*) ou trem de pouso (NATIONAL COMMITTEE, 2010). Essas fontes radiam o ruído para o interior da aeronave através de uma série de vias de transmissões aéreas, estruturais e mecanismos vibroacústicos (HERDIC *et al.*, 2005). Fontes importantes de ruído também podem estar dentro da cabine da aeronave tais como o sistema de refrigeração e ar condicionado. Constituem ainda fontes de ruído as atividades da tripulação ou dos passageiros, tais como conversas, anúncios ou outras vocalizações, estiva e retirada de bagagem, serviço de bebidas e refeições e outras atividades de passageiros e tripulação (OZCAN; NEMLIOGLU, 2006).

Contudo, é importante ressaltar que a fonte dominante de ruído em aviões varia dependendo da aeronave bem como das operações ou atividades que ocorrem ao longo das diferentes fases do voo (NATIONAL; COMMITTEE, 2010).

Comparando-se os níveis de ruído medidos internamente em diferentes aeronaves de asa fixa durante o voo de cruzeiro (Tabela 6), conclui-se que há diferenças consideráveis dependendo do tipo de motores (jato e convencional), entre aeronaves pressurizadas e não pressurizadas e em aeronaves monomotoras e multimotoras.

Tabela 6 – Níveis de pressão sonora equivalente no interior de diferentes aeronaves durante o voo de cruzeiro

Referência	Modelo da aeronave	L_{Aeq}	Obs.
(EASA, 2014)	SR20 (convencional)	83	Cruzeiro
	SR22 (convencional)	83	
(GELAIN; PAUL, 2022a)	Cessna 206H (convencional)	91	Cruzeiro 115 kt
	Cessna 210N (convencional)	91	Cruzeiro 140 kt
	BE-55 (convencional)	89	Cruzeiro 130 kt
	EMB-820C (turboélice)	96	Cruzeiro 200 kt
(MILJKOVIĆ, 2017)	Cessna 172 (convencional)	83,1	Cruzeiro
(SITTIG <i>et al.</i> , 2011)	Pilatus PC-12 (turboélice)	86	Cruzeiro
	King-Air C-90 (turboélice)	86	
	King-Air B200 (turboélice)	84	
(ZEVITAS <i>et al.</i> , 2018)	Airbus A319 (turbofan)	82,1	Cruzeiro
	Airbus A320 (turbofan)	82,1	
	Boeing 737 (turbofan)	83,6	
	Boeing 757 (turbofan)	81,5	
	Embraer E175 (turbofan)	78,7	

De forma geral, os níveis medidos em aeronaves pressurizadas são relativamente menores do que nas não pressurizadas. No quesito tipo de motores, as aeronaves turboélice em comparação com as turbofan, apresentaram NPS de cerca de 25 dB maiores na faixa de frequência entre 100-250 Hz Zevitas *et al.* (2018). Ainda, segundo Wilby (1996), em aviões multimotores, o cancelamento e o aumento da pressão devido aos efeitos de fase podem resultar em variações no nível de pressão sonora interna, mesmo em baixas frequências onde os comprimentos de onda são longos.

Nota-se também que aeronaves mais modernas costumam ser menos ruidosas, inclusive no seu interior, já que padrões de certificação de ruído de aeronaves mais rigorosos levaram ao desenvolvimento de várias tecnologias de redução de ruído em aeronaves, incluindo motores turbo-fan com taxas de *by-pass* cada vez mais altas (MARTENS, 2002), geometrias otimizadas de superfícies de sustentação e controle, entre muitos outros.

Por fim, Wilby (1996) aponta que a velocidade das aeronaves é um fator preponderante para se medir o ruído interno da cabine, pois o ruído interno gerado pela camada limite turbulenta externa é evidente nas faixas de frequência média e superior, principalmente após 400 Hz, como demonstrado na Figura 8.

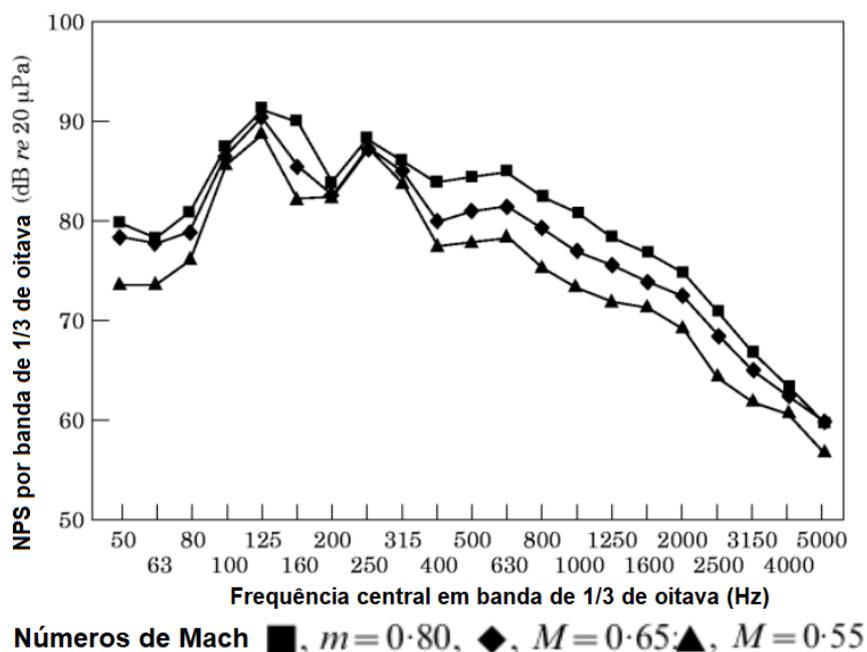


Figura 8 – Ruído interno da aeronave Boeing 737 em diferentes velocidades (número de Mach) (WILBY, 1996)

2.3.1.2 Ruído em helicópteros

Nos helicópteros, as maiores fontes de ruído e vibração (Figura 9) são associadas ao rotor principal, ao rotor de cauda, à turbina/motor e à caixa de transmissão (ZAPOROZHETS; TOKAREV; ATTENBOROUGH, 2011; HATFIELD; GASAWAY, 1963), sendo que a contribuição de cada fonte depende do modelo de aeronave e da condição de voo.



Figura 9 – Fontes de Ruídos em Helicópteros (SWADESIR; BIL, 2018)

Estudos realizados nos anos 1960 indicaram por exemplo que a maior contribuição do ruído produzido em helicópteros está associada aos rotores principal e de cauda (HATFIELD; GASAWAY, 1963), e não às turbinas.

Da mesma forma, as características do ruído dependem também da condição de voo, uma vez que o ruído em helicópteros é composto, de forma geral, pelo ruído aerodinâmico (que ocorre como consequência do específico fluxo de ar em torno da estrutura da aeronave) e pelo ruído mecânico (que surge por causa do sistema de propulsão (motor), caixa de engrenagens e acessórios) (JOHNSON, 2001; JAMES, 2005).

Se compararmos aviões e helicópteros, verifica-se que os últimos, além dos ruídos comuns apresentados por aeronaves em geral, produzem ruídos típicos conhecidos como “slapping” (batimento) que são causados quando rotor corta a sua própria esteira de ar nas subidas e descidas (LEISHMAN, 2000).

No que concerne a dependência do ruído do modelo da aeronaves nota-se que diferentes helicópteros se diferem mecanicamente e aerodinamicamente, tendo diferentes quantidades de rotores, diferentes quantidades de pás, diferentes relações de engrenagem na caixa de câmbio principal, entre outras características. Desta forma cada helicóptero tem uma assinatura acústica única com diferenças significativas nas características (JAMES, 2005; HATFIELD; GASAWAY, 1963; TATIC *et al.*, 2012).

Ainda, a assinatura acústica depende das condições de voo (velocidade e configuração de voo) (GELAIN; PAUL, 2018; BUCAK *et al.*, 2009). Desta forma, os dados apresentados na Tabela 7 para os níveis de pressão sonora no interior dos mais diferentes modelos de aeronaves, tanto de asas fixas como de asas rotativas, devem ser vistos sempre à frente das condições de operação da aeronave.

De forma geral, o ruído na cabine é composto, predominantemente, por tons discretos de banda estreita com harmônicos associados sobrepostos por um ruído de fundo de banda larga de baixo nível. O ruído aerodinamicamente induzido é gerado a partir dos rotores principal e de cauda com interações entre os rotores e a fuselagem.

O ruído mecânico se origina de sistemas giratórios conectados aos rotores na forma de caixas de engrenagens, eixos de transmissão, engrenagens de transferência, sistemas auxiliares, eixos de transmissão, etc. A Figura 10, mostra uma análise de banda estreita para um helicóptero Lynx e as fontes dos picos de ruído.

Tabela 7 – Níveis de pressão sonora no interior de diferentes modelos de aeronaves de aeronaves de asas rotativas

Referência	Modelo da aeronave	L_{Aeq}	Obs.
(GELAIN; PAUL, 2022b)	AS350 B2	95	Cruzeiro 110 kt *
	AW119 MkII	103	Cruzeiro 140 kt *
(BUCAK <i>et al.</i> , 2009)	R-44	97	Pairado IGE
	Bell 206 B Jetranger	93	Em solo
		97	Pairado IGE
		95	Em solo
(SCHLEGEL <i>et al.</i> , 1966)	Sea-King	98	Cruzeiro
(SITTIG <i>et al.</i> , 2011)	Bell 222	88	Cruzeiro
	EC 145	95	
	BK 117	90	
(KÜPPER <i>et al.</i> , 2013)	Mi4	118	**
	Bell 206 B Jetranger	93-99	
	Bell 206 L Longranger II	97-90	
	BO 105	100	
	Sikorsky H23 (militar)	90-108	
	Sikorsky H34 (militar)	108-117	
	Gazelle	97	
	Scout (militar)	99,8	
	Puma (militar)	99,9	
	Lynx (militar)	100	
	Sikorsky H-37 (militar)	110	
	EC135	94	
	BK117	95	
	AS350 B	101	
Bell UH-1D (militar)	95		
Alouette II	108		
Alouette III	106		
(LAUDIEN, 1976)	Helicópteros modernos	90-95	**
	Helicópteros militares	100	
	Helicópteros VIP	85	

* Portas Fechadas

** não foram informadas as condições de voo durante a aquisição de dados

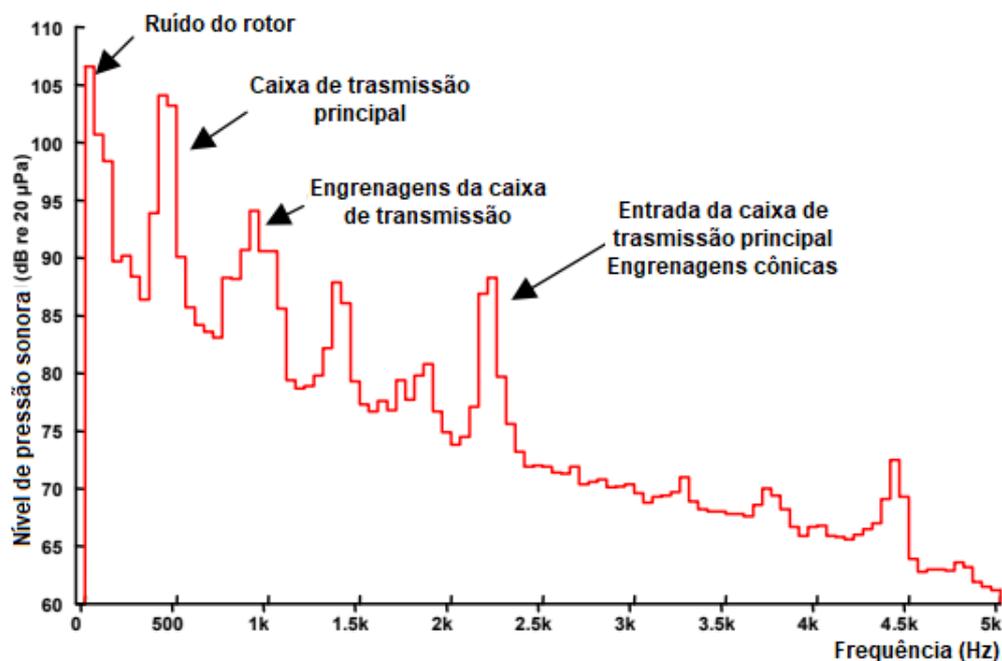


Figura 10 – Análise de banda estreita do ruído da cabine do helicóptero Lynx 100kt (JAMES, 2005)

O ruído proveniente do sistema de exaustão é preponderantemente composto por baixas frequências mas possui componentes de alta frequência. É ainda diretamente proporcional à rotação da turbina e, dessa forma, o espectro de frequência e as amplitudes também são impactados, como mostra a Figura 11.

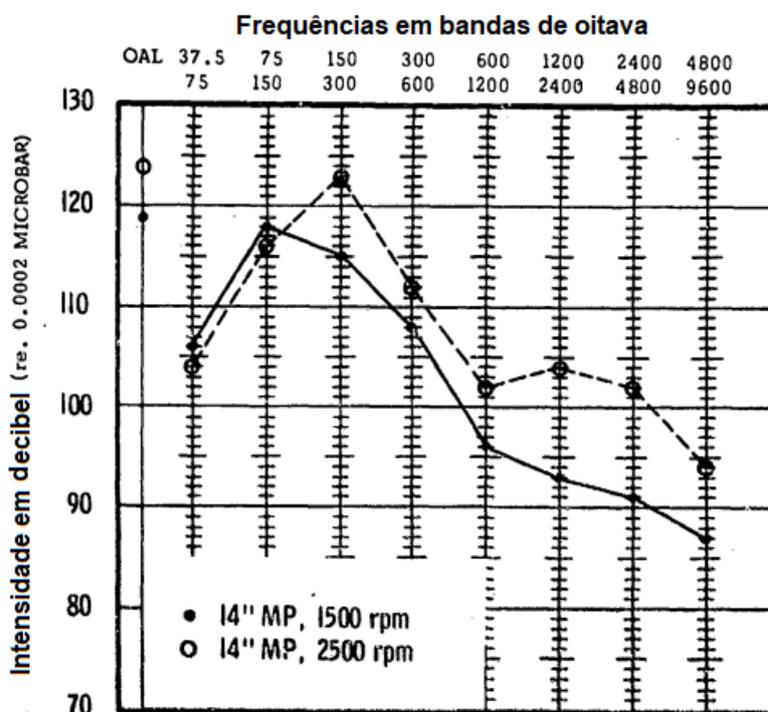


Figura 11 – Ruído do sistema de exaustão do motor do helicóptero CH-21C (HATFIELD; GASAWAY, 1963)

2.3.1.3 Ruído em aeronaves durante o resgate e transporte aeromédico

Dois fatores fazem com que as características do ruído em aeronaves durante operações de resgate ou de transporte aeromédico sejam distintas daquelas encontradas em voos de táxi aéreo ou comerciais com as mesmas aeronaves. O primeiro fator são as técnicas de salvamento utilizadas, enquanto que o segundo fator diz respeito às configurações específicas das aeronaves em algumas situações.

No que concerne as técnicas de salvamento utilizadas, cabe destacar que nenhuma empresa de táxi aéreo ou aeronave particular pode realizar os procedimentos das Unidades Aéreas Públicas, tais como embarque e desembarque a baixa altura, rapel, sling, puça, cesto de resgate, maca de ribanceira, entre outras. Táticas operacionais como o chamado "embarque e desembarque a baixa altura", em que o material ou o paciente é colocado para dentro da aeronave em voo pairado. Esta tática operacional apresenta condições acústicas muito adversas para os operadores de suporte médico, operadores aerotáticos, pacientes ou qualquer outra pessoa fora da aeronave, pois estes encontram-se durante a realização imediatamente embaixo da influência do

downwash, sendo expostos a altos níveis de pressão sonora e encontrando dificuldades em se comunicar, podendo até mesmo tornar a comunicação impossível (DAVIDSON; HUNT, 2004). Outras situações com maior exposição fora da aeronave são as de *sling*, puçá, rapel, maca de ribanceira e triângulo de resgate. Em todas essas operações, tanto as vítimas quanto o operador aerotático não têm como reentrar na aeronave em voo. Portanto, ambos devem permanecer do lado de fora da aeronave sendo expostos ao ruído até que se chegue em um local de pouso ou toque. No exterior do helicóptero BK117 mediu-se o L_{Aeq} de 108 dBA, durante operações alpinas, enquanto que níveis medidos no interior foram de 94 dBA (KUPPER; STEFFGEN; JANSING, 2004).

O segundo fator é relacionado ao fato de algumas aeronaves, como a aeronave AS350 B2 Esquilo, operarem em condições específicas com as portas abertas. No caso da aeronave AS350 B2 Esquilo, por não dispor de grande espaço interno e para evitar o sacrifício do assento do segundo piloto em comando com a instalação de um kit aeromédico homologado, as Unidades Aéreas Públicas (UAP) acabam conduzindo o paciente em maca rígida na posição transversal sobre o banco traseiro. Desse modo, caso o paciente tenha uma estatura maior do que 1,65 m, a porta lateral permanece aberta durante todo o voo e assim, toda a tripulação fica exposta a um elevado nível de pressão sonora, inclusive o paciente (GELAIN; PAUL, 2018).

No contexto da comparação da exposição em voo com portas fechadas e abertas cabe destacar também que, em geral, devido às baixas velocidades de deslocamento dos helicópteros, o ruído da camada limite não é facilmente notado no interior das cabines quando estes voam com as portas e janelas fechadas, mas este ruído devido ao fluxo turbulento de ar é facilmente notado quando os helicópteros voarem com as portas e janelas (JAMES, 2005).

Ainda, no que concerne a exposição da tripulação em operações de resgate aéreos, esta é caracterizada por pelo menos duas características importantes:

- Extrema variabilidade. Alguns dias com pouca ou nenhuma exposição, mas outros com extrema exposição; e
- Níveis de pressão sonora elevados e com pouca ou nenhuma proteção durante o trabalho fora da aeronave.

2.3.2 Vibração em helicópteros

Quase sem exceção, a vibração tem sido um problema em todos os helicópteros e reduzir essa vibração tem um papel importante no desenvolvimento da próxima geração de helicópteros. Requisitos cada vez mais rigorosos quanto à exposição da tripulação à vibração, aliados a necessidade de maior confiabilidade e de redução custos de manutenção, têm induzido os fabricantes de helicópteros a iniciar programas de pesquisa e desenvolvimento com o objetivo de redução substancial da vibração (KONSTANZER *et al.*, 2008).

Assim como o ruído, as vibrações em helicópteros surgem, principalmente, de fontes tais como o sistema de rotores (cauda e principal), o motor e a transmissão, levando, muitas vezes, a danos por fadiga em componentes estruturais e desconforto humano (MILLOTT; FRIEDMANN, 1994).

Segundo Hatfield e Gasaway (1963) vibrações podem surgir, principalmente, quando os rotores demandam altos valores de torque do motor, em parte, pela caixa de transmissão. Em alguns casos, dependendo da localização e do tipo de sistema de transmissão entre o eixo do motor e o eixo do rotor principal, vibrações intensas de baixa frequência podem resultar em uma resposta direta no eixo do motor, produzindo assim, vibrações secundárias no motor.

A vibração induzida pelo rotor, por exemplo, ainda é um dos principais desafios para o desenvolvimento de um helicóptero amigável em termos de vibração. As razões são várias. Em primeiro lugar, os helicópteros estão sujeitos a um voo altamente assimétrico e estão expostos a uma aerodinâmica turbulenta, resultando em alta carga vibratória. Em segundo lugar, o requisito construtivo de baixo peso da estrutura e fuselagem, produz uma alta densidade modal e considerável resposta dinâmica. Ainda, o passageiro está muito próximo da fonte geradora de vibrações e possui uma alta sensibilidade na faixa de frequência da vibração gerada (KONSTANZER *et al.*, 2008).

Estudos focados no desconforto humano, investigaram a transmissibilidade da vibração do assento à região lombar e torácica da coluna vertebral em pilotos de helicópteros durante voos regulares. Foram feitas medições em aeronaves diferentes (Sikorsky S-76 e Bell 412) e os autores detectaram que a maior parte da energia vibratória nos helicópteros se concentra em uma faixa próxima à primeira ressonância do corpo humano e os valores medidos em condições de decolagem, cruzeiro e pouso são muito semelhantes, não apresentando grandes variações (OLIVEIRA, C.; NADAL, 2005).

Na Tabela 8, estão dispostos alguns valores de dose de exposição à vibração medidos em alguns modelos de aeronaves.

Tabela 8 – Medições de dose de exposição à vibração em helicópteros conforme literatura

Autor e Ano	Modelo	a_{RMS} (m/s ²)	Exposição
(BONGERS <i>et al.</i> , 2007)	Alouete III	0,60	2-4 horas
	Bolkow 105	0,45	3-7 horas
	Sikorsky 61	0,36	4-13 horas
	Sikorsky 76	0,38	5-10 horas
(OLIVEIRA, C.; NADAL, 2005)	Sikorsky S-76	0,54	4-8 horas
	Bell 41		
(KÅSIN <i>et al.</i> , 2011)	S92A 3AVG	0.51	**
	S92A 6AVG	0.42	**
	EC135 T2	0.35	*
	Super Puma	0.33	*
	Bell 412	0.34	*
	Sea Lynx	0.39	*
	Sea King	0.32	*

* Média de duas aeronaves e 12 voos

** Média ponderada de 8 horas em RMS

Diversos estudos apontam a vibração como a principal causa das queixas de dor nas costas e de afastamentos de pilotos de helicópteros (PELHAM *et al.*, 2005; SHANAHAN; MASTROIANNI; READING, 1986; BONGERS *et al.*, 1990). Ainda, conforme BONGERS *et al.* (1990), os pilotos de helicóptero também apresentam maior incidência de dores na região lombar que se radiada para uma das perna. Os efeitos prejudiciais na saúde dos pilotos são derivados de uma má postura associadas aos níveis de exposição à vibração.

2.4 RUÍDO E VIBRAÇÃO ENVOLVENDO RECÉM-NASCIDOS

2.4.1 Ruído em unidade de terapia intensiva neonatal (UTIN)

A maioria dos RN pré termo necessitam de assistência respiratória e nutricional, além de ajuda para se manterem aquecidos e combaterem infecções. Por isso, é indicado que o recém nascido fique em um ambiente propício para seu desenvolvimento, tipicamente em uma incubadora neonatal. A incubadora neonatal proporciona, no seu interior, temperatura e umidade do ar controladas para as necessidades fisiológicas do neonato, e ar filtrado visando à proteção contra as infecções (ETZEL *et al.*, 1997; OLIVEIRA, I. C. d. S., 2004).

Para os neonatos internados na UTIN, a monitorização contínua e a presença de uma equipe multidisciplinar com treinamento garantem o ambiente seguro e a certeza da detecção precoce de complicações (WHO, 2015; BRASIL, 2013). Entretanto, tanto o ambiente UTIN como os acessos da equipe ao RN são responsáveis por uma exposição sonora considerável do RN (PHILBIN, 2004). Em particular com as portinholas da

incubadora abertas para permitir que a equipe tenha acesso ao RN para procedimentos de cuidados diversos, o efeito barreira da cúpula da incubadora é reduzido. Além disso, as conversas entre membros da equipe ou impactos causados pela equipe na cúpula da incubadora também aumentam a exposição sonora (SANTANA *et al.*, 2015). Ainda, o neonato está exposto também aos sons produzidos pelo funcionamento da incubadoras (ventilação interna e alarmes).

Apesar da variedade de fontes sonoras, os níveis de exposição ao ruído em todas as UTIN devem ser cuidadosamente mantidos baixos porque o sistema nervoso auditivo do bebê ainda está em formação e os seus limites de exposição ao ruído são muito menores do que os de um adulto saudável (NOGUEIRA *et al.*, 2011). Em particular é crítica a exposição dos neonatos aos ruídos contínuos, em virtude da estimulação contínua das células sensoriais na orelha interna (PARRADO; COSTA FILHO, 1992). Há indícios de que a permanência do RN na incubadora possa contribuir com o desenvolvimento de surdez e como potencializador de efeitos negativos do tratamento (SÁ, 2011).

Tendo em vista as diferenças entre crianças e adultos no que concerne a sensibilidade auditiva é necessário avaliar de forma distinta a exposição sonora nestes dois grupos (WHO, 2019). A título de exemplo, para se realizar testes de dosimetria durante a utilização de fones de ouvidos em adultos ou crianças, utiliza-se como a exposição de referência o valor de $1,6 \text{ Pa}^2\text{h}$ por 7 dias em adultos (derivada de 80 dBA por 40 horas por semana) e $0,51 \text{ Pa}^2\text{h}$ por 7 dias em crianças (derivada de 75 dB por 40 horas por semana). Ao se comparar a exposição de um adulto e de uma criança, se exposto ao mesmo nível de pressão sonora de L_{Aeq} de 98 dBA, o adulto pode ficar exposto por cerca de 37,5 minutos por semana, já a criança, por apenas 12 minutos por semana (WHO, 2019).

Tendo em vista o exposto, a caracterização do campo sonoro no interior de UTIN e incubadoras e a questão da máxima exposição permissível se torna uma questão relevante. No Brasil estas questões ganharam força a partir da década de 90 e se intensificaram a partir do século XXI.

No que concerne os limites aceitáveis, a OMS recomenda como limite superior em ambientes hospitalares um L_{Aeq} máximo de 30 dBA, mas não especifica limites para as áreas de tratamento de pacientes (WHO, 1999). No Brasil, a norma NBR 10152:2017, considera como aceitáveis L_{Aeq} de até 40 dBA para berçários e centros cirúrgicos (NBR-10152, 2017). Apenas a AAP fez recomendações específicas para UTIN, sendo o L_{Aeq} recomendado não superior a 45 dBA (ETZEL *et al.*, 1997).

Já para incubadoras, pela ABNT o máximo Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq}) permitido no interior de uma incubadora neonatal é de 60 dBA e não deve ultrapassar 80 dBA quando o alarme estiver soando (NBR-IEC-60601-2-19, 2014). A Associação Americana de Pediatria (1997) estabelece um limite de L_{Aeq} 58 dBA

(ETZEL *et al.*, 1997). Nota-se que estes limites são elevados se comparados à recomendação para ambientes hospitalares.

Apesar de os órgãos e entidades preconizarem níveis baixos de ruídos em UTIN e incubadoras, diversos estudos mostraram que os níveis de pressão sonora nas UTIN são maiores que o recomendado. Santana *et al.* (2015), durante seu experimento realizado na UTIN de um hospital de Minas Gerais, mediu valores de L_{Aeq} variando de 56,5 a 60 dBA. (MORRIS; PHILBIN; BOSE, 2001), afirmam que os níveis de ruído em UTIN estão tipicamente entre 50 a 75 dBA, com longos períodos entre 70 e 80 dBA e com picos de até 105 dBA. Sá (2011) mediu L_{Aeq} que variam de 58 a 90 dBA durante as atividades de rotina. Em estudo realizado em um hospital localizado na cidade do Rio de Janeiro por Nogueira *et al.* (2011), observou-se que os níveis de pressão sonora no ambiente da UTIN foram de até 68 dBA na parte da manhã e de 60 dBA no período da madrugada. Por sua vez, Aurélio (2009) mediu valores entre 58,5 a 65,8 dBA, com dias mais ruidosos nos quais os valores medidos chegaram até a 73,5 dBA. Cardoso *et al.* (2015) obteve valores entre 54,5 a 68 dBA com picos de até 83 dBA. Berg, Chavez e Serpanos (2010) obtiveram valores de L_{Aeq} em todas as áreas de pesquisa entre 55 e 59 dBA, com picos entre 82–102 dBA.

Assim como em UTIN no interior de incubadoras também foram encontrados níveis acima daqueles estipulados pela norma da ABNT NBR 60601 e da recomendação da AAP e OMS.

Em estudo referente ao Nível de Pressão Sonora no interior de incubadoras neonatais do modelo C186T S da marca Fanem® dentro das unidades de terapia intensiva do Hospital Universitário do Município de São Paulo Peixoto *et al.* (2011) mediu valores médios de L_{Aeq} de 80 dBA, durante o período vespertino, em uma das salas e de 74 dBA, no período noturno, em outra sala.

Em seu trabalho, Carvalho e L. F. Pereira (1998) mediram os níveis de pressão sonora dentro e fora de diversos modelos de incubadoras em hospitais na região Metropolitana de Porto em Portugal. Os resultados podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 9 – Medições de NPS em UTIN e incubadoras conforme (CARVALHO; PEREIRA, L. F., 1998)

Incubadora	Local	L_{Aeq} Int.	L_{Aeq} Ext.
Air Shields 142 MK2	Centro Hosp. de Gaia 1	68,1	71,1
Dräger 8000 SC		61,7	71,1
Ameda Amecare		61,4	71,1
Air Shields 142	Centro Hosp. de Gaia 2	58,0	62,2
Air Shields C450	Hospital Pedro Hispano	59,5	53,2
Ohmeda Careplus		56,3	53,2
Air Shields C2 HS-1C	Hospital de S. João	56,1	73,0
Air Shields C200		55,5	73,0
Air Shields C100		61,0	73,0

Ciesielski, Kopka e Kidawa (1980) ao estudar a vibração e ruído em três tipos diferentes de incubadoras³ mediram níveis equivalentes internos (L_{Aeq}) entre 52 e 66 dBA. Ao analisar o espectro do ruído, mediu-se valores elevados até cerca de 2000 Hz.

Bess *et al.* (1979) obteve no interior de incubadoras na UTIN do Hospital Universitário de Vanderbilt L_{eq} de até 77,4 dB, L_{Ceq} de até 73,2 dBC e L_{Aeq} de até 55,4 dBA. Ao analisar o espectro de frequências, observou que a energia é concentrada em baixas frequências (abaixo de 500 Hz).

Hoehn, Busch e Krause (2000) realizaram testes em incubadoras Dräger Babylog 8000, Infrasonics Infant Star e SensorMedics 3100A obtendo valores de L_{Aeq} entre 62 e 70 dBA.

Além dos estudos já elencados, a Tabela 10 traz um resumo dos NPS encontrados em diversos estudos sobre os níveis de pressão sonora no interior das incubadoras em UTIN pelo mundo.

Tabela 10 – NPS em incubadoras em UTIN conforme literatura

Autor(es), Ano	País	NPS (L_{eq} e L_{Aeq})
(BENINI <i>et al.</i> , 1996)	Itália	74,2 a 79,9 dB
(BESS <i>et al.</i> , 1979)	EUA	55,4 dBA
(BLENNOW <i>et al.</i> , 1974)	Suécia	70 a 80 dBA
(CARVALHO; PEREIRA, L. F., 1998)	Brasil	56 a 68 dBA
(CHANG; LIN, C.-H.; LIN, L., 2001)	Taiwan	62 dBA
(COSTA; SILVA; NETO, 2003)	Brasil	68 a 78 dBA
(GUIMARÃES <i>et al.</i> , 1996)	Portugal	57,1 dBA
(HOEHN; BUSCH; KRAUSE, 2000)	Alemanha	62 a 70 dBA
(JOHNSON, 2001)	EUA	57 a 65 dBA
(KENT <i>et al.</i> , 2003)	Canadá	61 dB
(LICHTIG; MAKI, 1992) ²	Brasil	56 dBA
(PARRADO; COSTA FILHO, 1992)	Brasil	59 a 70 dBA
(PEIXOTO <i>et al.</i> , 2011)	Brasil	74,3 a 79,7 dBA
(CARVALHO; PEREIRA, L. F., 1998)	Portugal	55,5 a 68,1 dBA
(CAMPBELL <i>et al.</i> , 1984)	Canadá	72 a 74 dBA
(CIESIELSKI; KOPKA; KIDAWA, 1980)	Polônia	52 a 66 dBA

Cabe salientar que uma das dificuldades para a comparação dos resultados obtidos nos estudos é devido a não padronização das escalas de mensuração utilizadas (dBA e dB), falta de diferenciação entre diferentes níveis de pressão sonora equivalentes e máximos (L_{Aeq} vs. L_{Amax}), falta das informações de modelos de incubadora, a diversidade das situações bem como os tempos de mensuração realizados. Algumas medições eram pontuais e outras levavam dias ou eram separadas em períodos conforme as escalas de plantão dos funcionários.

³ Modelos Medicor IK-13, Medicor 3401 e CN-2.

Todavia, pode-se notar que todos os resultados obtidos apontam para níveis de pressão sonora acima do preconizado pelos órgãos e agências.

2.4.2 Ruído durante o transporte neonatal

O desenvolvimento de centros regionais de referência para atendimento de neonatos resultou em um declínio acentuado na taxa de mortalidade. Áreas onde não há unidade de terapia intensiva neonatal tem maiores taxas de mortalidade quando comparadas àquelas que contam com centros de cuidados intensivos (MERENSTEIN *et al.*, 1977). Para efetuar o transporte de neonatos doentes dos seus locais de origem para os devidos centros de terapia intensiva foi projetado todo um sistema de transporte específico, cujo sucesso requer um grande investimento em treinamento de pessoal e equipamentos (MERENSTEIN *et al.*, 1977; BRASIL, 2010).

Não há dúvida de que a maneira mais segura de se transportar uma criança de risco é, o útero materno (BRASIL, 2010). A mortalidade neonatal é mais baixa quando o nascimento de um recém-nascido de alto-risco ocorre em centros terciários⁴ bem equipados em termos de recursos materiais e humanos.

No entanto, em algumas situações, o nascimento de um bebê prematuro ou com disfunções clínicas pode ocorrer em centros secundários⁵ ou mesmo primários⁶. Nesse caso, tais pacientes devem ser transferidos para uma unidade mais especializada, respeitando-se a lógica dos sistemas regionalizados e hierarquizados de atendimento neonatal (BRASIL, 2010).

O veículo selecionado para o transporte do recém-nascido depende de diversos fatores, incluindo o estado clínico do paciente, a distância a ser percorrida, as condições do tempo, o número e o tipo de funcionários necessários, o equipamento exigido para a estabilização do neonato e a disponibilidade no momento do transporte.

De maneira geral, os veículos usados são as ambulâncias para o transporte terrestre, os helicópteros e aeronaves para o transporte aéreo e as embarcações para o transporte fluvial.

O ruído ao qual neonatos estão expostos durante o transporte terrestre e aéreo tem sido um assunto de interesse em vários países. Assim, há estudos que analisaram os níveis de pressão sonora durante o transporte em ambulância, nas cabines de aeronaves e em incubadoras quando transportadas em ambulâncias e em aeronaves.

No que diz respeito ao transporte neonatal em aeronaves, Sittig *et al.* (2011) obteve valores medidos de NPS no interior da incubadora Air-Shields, modelo 185, em

⁴ Terciários: são unidades com especialização no tratamento de doenças materno-feto-neonatais, em geral associadas a hospitais universitários e hospitais maternidades (BRASIL, 2010).

⁵ Secundário: são unidades de internação em alojamento conjunto e de internação de médio risco localizado em hospitais gerais. Brasil (2010).

⁶ Primário: são unidades que atendem à demanda espontânea e oferecem resolubilidade adequada. São elas: unidades básicas de saúde, unidades mistas e hospitais de nível primário (BRASIL, 2010).

diversas aeronaves, conforme Tabela 11.

Tabela 11 – L_{Aeq} na cabine e em incubadoras durante o transporte em diferentes modelos de aeronaves conforme (SITTIG *et al.*, 2011)

Aeronave	L_{Aeq} Incubadora [dBA]	L_{Aeq} Cabine [dBA]
BK-117b	83	90
King Air B200c	78	84
Pilatus PC-12d	80	86
Bell 222b	82	88

Buckland *et al.* (2003), por sua vez, comparou os níveis de pressão sonora dentro e fora da incubadora durante transportes aéreos (asa fixa e rotativa) e terrestres, conforme mostram os dados na Tabela 12. Em sua pesquisa foram utilizadas aeronaves dos modelos Cessna Golden Eagle 421 (avião) e Eurocopter BK-117 (helicóptero). Os modelos das ambulâncias não foram especificados no trabalho. Contudo a incubadora Airshields modelo TI 500 foi utilizada em todas as medições.

Tabela 12 – NPS em incubadoras Airshields modelo TI 500 durante o transporte terrestre ou aéreo conforme (BUCKLAND *et al.*, 2003)

Modal de transporte	L_{Aeq} [dBA]	$L_{Amáx}$ [dBA]	L_{Cpico} [dBC]
Ambulância (rodovia)	74,1	77,2	115,4
Ambulância (cidade)	64,9	72,5	109,4
Aviões	80,9	83,3	107,9
Helicópteros	82,2	84,1	121,0

Nos Estados Unidos, Prehn *et al.* (2014) obteve valores médios de L_{Aeq} 72,8 dBA com picos de 87,7 dBA durante o transporte neonatal em ambulâncias International 4300 e incubadora International Biomedical VOYAGER.

Já no Canadá, Campbell *et al.* (1984) mediu e comparou os níveis de ruído no interior das incubadoras na enfermaria e durante o transporte terrestre e aéreo - em aeronaves de asas fixas e rotativas. Os valores de L_{Aeq} obtidos na enfermaria estavam entre 72 a 77 dBA. Já durante o transporte, os valores obtidos em ambulâncias foram entre 91 a 101 dB, dependendo do tráfego, da velocidade, do tipo de pavimentação e se as sirenes estavam ou não ligadas. Esses valores foram semelhantes aos valores obtidos em aeronaves de asas fixas (a hélice ou a jato), sendo 92 dB em cruzeiro e 109 dB durante as decolagens. Contudo, durante o transporte em helicópteros, os valores ficaram entre 107 a 110 dB⁷. O autor ainda relata que o espectro do ruído tem amplitudes relevantes até 250 Hz, e rápida queda nos níveis de ruído para frequências superiores.

⁷ Não foram especificados os modelos de aeronaves e incubadoras utilizados, nem se os valores são L_{Aeq} ou $L_{Amáx}$.

Na França, em seu estudo comparativo entre transporte neonatal terrestre e aéreo com helicópteros, Bouchut (2011) utilizou incubadoras Air-Shield TI 500 e encontrou valores médios de L_{Aeq} de, 67 dBA no interior da incubadora na ambulância Renault Master 2004 e 86 dBA no helicóptero Eurocopter EC135. Os valores obtidos no helicóptero apresentaram valores com menor desvio padrão, contudo com maiores níveis.

Assim como os demais pesquisadores, Bailey *et al.* (2018), ao também comparar os modais de transporte, também obteve valores que ultrapassaram os níveis recomendados em ambos os casos. Durante o transporte terrestre, obteve-se L_{Aeq} de 65,5 até 67,1 dBA, com picos máximos de 71,6 dBA. Já durante o transporte com helicópteros, os valores ficaram entre 73,6 a 80,9 dBA L_{Aeq} , com picos máximos de 86,4 dBA. Estes valores foram obtidos em incubadora International Biomedical VOYAGER, helicóptero H130T e ambulância Ford Echo-450, ano 2015.

Em resumo, os valores obtidos no interior de incubadoras neonatais durante o transporte, considerando modais de transporte e modelos de aeronaves, podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13 – L_{Aeq} interno em incubadoras durante transporte conforme literatura

Autor e Ano	Incubadora	Aeronave	L_{Aeq} [dBA]
(BAILEY <i>et al.</i> , 2018)	VOYAGER	H130 T	73,6 - 80,9
(BOUCHUT, 2011)	Air-Shield TI 500	EC 135	86,0
(BUCKLAND <i>et al.</i> , 2003)	Air-Shields TI 500	Ambulância (rodovia)	74,1
		Ambulância (cidade)	64,9
		Helicópteros	82,2
		Aviões	80,9
(CAMPBELL <i>et al.</i> , 1984)	Sem modelos	Ambulância	82-92
		Aviões a jato	79-98
		Aviões turboélice	78-89
		Helicópteros	89-95
(PREHN <i>et al.</i> , 2014)	VOYAGER	Ambulância	72,8
(SITTIG <i>et al.</i> , 2011)	Air-Shields 185	BK-117b	83,0
		King Air B200c	78,0
		Pilatus PC-12d	80,0
		Bell 222b	82,0

Nota-se redução dos NPS em estudos mais recentes envolvendo, provavelmente, modelos mais recentes de aeronaves e incubadoras.

Nota-se também que há elevados níveis de pressão sonora em todos os locais, seja dentro da incubadora nas UTIN ou durante o seu transporte. Os NPS são excessivos e não atendem às normas e recomendações nacionais e internacionais para ambientes hospitalares e neonatais, como visto na Página 57.

2.4.3 Vibração durante o transporte neonatal

A vibração pode resultar em desconforto e causar danos à saúde, especialmente em recém nascidos de baixo peso. Durante o transporte os neonatos são, normalmente, transportados na posição deitado em decúbito dorsal, o que traz uma grande dificuldade aos especialistas, uma vez que não há normas específicas que tratem sobre a análise de vibrações de corpo inteiro na posição deitada ou em crianças (ISO-2631-1, 1997).

Para Browning *et al.* (2008), os valores de vibração encontrados durante o transporte neonatal dentro do próprio hospital, utilizando a incubadora de transporte neonatal International Biomedical VOYAGER modelo 20H, ($2,6 \text{ m/s}^2$ RMS) excederam os limites considerados como confortáveis para indivíduos adultos na posição sentado, pela norma ISO 2631-1:1997. Por sua vez, Shah *et al.* (2008) estudou e apresentou dados sobre transporte neonatal intra-hospitalar com diferentes colchonetes apontaram valores de aceleração média entre $5,6 \text{ m/s}^2$ (colchonete a ar) e $4,9 \text{ m/s}^2$ (colchonete de gel). Estes valores foram obtidos em ambulâncias modelo International 4300 e incubadora de transporte neonatal Dräger Air-Shields C-300. O mesmo estudo ainda apontou valores médios de aceleração de até $9,32 \text{ m/s}^2$ durante o transporte inter-hospitalar em ambulância.

Prehn *et al.* (2014) por sua vez, focou na análise do nível de vibração em incubadoras de transporte neonatal durante o transporte inter-hospitalar terrestre por meio de ambulâncias, alterando-se os tipos de colchonetes. Os valores obtidos na pesquisa revelam que mesmo com a alteração do material dos colchonetes, os valores de aceleração RMS obtidos são extremamente desconfortáveis conforme norma ISO 2631-1:1997 ($3,17 \text{ m/s}^2$ sem colchonete, $2,42 \text{ m/s}^2$ colchonete padrão, $2,22 \text{ m/s}^2$ para colchonete de gel e $1,55 \text{ m/s}^2$ para colchonete de ar)⁸.

Da mesma forma, Gajendragadkar *et al.* (2000) abordou a análise das vibrações ao se alterar o tipo de colchonete. Os autores observam valores muito diferentes quando comparados ao transporte em rodovias ou dentro da cidade. Os valores RMS obtidos no eixo vertical x, dentro da cidade, foram de $2,6 \text{ m/s}^2$ (sem colchonete), $2,9 \text{ m/s}^2$ (colchonete padrão) e $1,5 \text{ m/s}^2$ (colchonete de gel). Já durante o transporte em rodovia, os valores obtidos foram de $1,5 \text{ m/s}^2$ (sem colchonete), $1,9 \text{ m/s}^2$ (colchonete padrão) e $1,4 \text{ m/s}^2$ (colchonete de gel), no eixo vertical x. Os valores foram obtidos em ambulância do modelo Ford F350XLT Lariat 1990 e incubadora do modelo Dräger Air-Shields TI500.

Em mais um estudo envolvendo a análise de vibrações em transporte inter-hospitalar terrestre (dentro da cidade ou em rodovia) e com diferentes materiais de colchonetes, foram encontrados valores de aceleração de $1,2 \text{ m/s}^2$, no eixo vertical x,

⁸ Valores obtidos em ambulâncias modelo International 4300 e incubadora de transporte neonatal International Biomedical VOYAGER.

com o colchonete de espuma (tanto dentro da cidade como em rodovia), com picos de até 10 m/s^2 . Já utilizando o colchonete de gel, obtiveram valores, no eixo vertical x , de 1 m/s^2 (dentro da cidade) e $0,9 \text{ m/s}^2$ (em rodovia)⁹, com picos de cerca de 7 m/s^2 (SHERWOOD *et al.*, 1994). Ademais, ao se comparar os níveis de ruídos e de vibrações durante o transporte neonatal rodoviário, aéreo com helicópteros e aéreo com aviões, demonstrou-se que as vibrações envolvidas no transporte aéreo com helicópteros são extremamente desconfortáveis, chegando a valores de até $5,6 \text{ m/s}^2$ no eixo vertical x . Durante o voo em aviões, foram observados os menores valores de vibração, cerca de $0,4 \text{ m/s}^2$ no eixo vertical x . Já os níveis enfrentados durante o transporte rodoviário ficaram em torno de 2 m/s^2 no eixo vertical x (CAMPBELL *et al.*, 1984).

Por sua vez, Bailey *et al.* (2018) obteve valores de vibrações de corpo inteiro entre $1,68 \text{ m/s}^2$ no eixo vertical x (com picos de $5,09 \text{ m/s}^2$) em transporte terrestre e $1,82 \text{ m/s}^2$ (com picos de $3,96 \text{ m/s}^2$), em transportes aéreo com helicópteros. Estes valores foram obtidos em incubadora International Biomedical VOYAGER, helicóptero H130T e ambulância Ford Echo-450 2015.

Da mesma forma, Bouchut (2011) demonstrou que os valores de vibração enfrentados no helicóptero são maiores que os aferidos na ambulância durante o transporte rodoviário¹⁰, $1,0 \text{ m/s}^2$ e $0,6 \text{ m/s}^2$ respectivamente. Contudo, os valores nos helicópteros possuem menor desvio padrão e com menos picos devido às frenagens bruscas, sacolejos, buracos e redutores de velocidade enfrentados pelas ambulâncias. O helicóptero apresenta também um ângulo de inclinação constante durante o voo, diferente do enfrentado na ambulância devido às configurações das estradas.

Em resumo, os valores obtidos no interior de incubadoras neonatais durante o transporte, considerando modais de transporte e modelos de incubadoras, podem ser vistos na Tabela 14.

⁹ Valores obtidos em ambulância modelo GMC e incubadora modelo Dräger Air-Shields TI 100.

¹⁰ Valores obtidos em incubadora TI 500 como colchonete de ar no interior de ambulância modelo Renault Master 2004 e de Helicóptero EC 135.

Tabela 14 – Vibração em incubadoras durante transporte conforme literatura no eixo vertical x

Autor e Ano	Incubadora	Modal	a_{RMS} [m/s²]
(BROWNING <i>et al.</i> , 2008)	VOYAGER	Intrahospitalar	2,6
(SHAH <i>et al.</i> , 2008)	Air-Shield C-300	Amb. (Ar)	5,6
		Amb. (Gel)	4,9
(PREHN <i>et al.</i> , 2014)	VOYAGER	Amb. (Sem)	3,17
		Amb. (Espuma)	2,42
		Amb. (Ar)	2,22
		Amb. (Gel)	1,55
(GAJENDRAGADKAR <i>et al.</i> , 2000)	Air-Shield TI500	Amb. Cidade (Sem)	2,6
		Amb. Cidade (Espuma)	2,9
		Amb. Cidade (Gel)	1,5
		Amb. Rod. (Sem)	1,5
		Amb. Rod. (Espuma)	1,9
		Amb. Rod. (Gel)	1,4
(SHERWOOD <i>et al.</i> , 1994)	Air-Shield TI100	Amb. Cidade (Espuma)	1,2
		Amb. Cidade (Gel)	1,0
		Amb. Rod. (Espuma)	1,2
		Amb. Rod. (Gel)	0,9
(CAMPBELL <i>et al.</i> , 1984)	Sem modelo	Ambulância	2,0
		Helicóptero	5,6
		Avião	0,4
(BAILEY <i>et al.</i> , 2018)	VOYAGER	Ambulância	1,68
		Helicóptero	1,82
(BOUCHUT, 2011)	Air-Shield TI 500	Ambulância	0,6
		Helicóptero	1,0

3 MÉTODO

O trabalho é dividido em duas etapas e tem o intuito de medir e analisar as características vibro-acústicas no interior das aeronaves de asas rotativas, modelos AW 119MkII e AS350 B2, e nas aeronaves de asas fixas, modelos C210N, C206H, BE-55 e EMB-820C, da PMSC e do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, em diversas configurações de voo, tanto em operações de resgate quando em transporte aeromédico, inclusive com incubadora neonatal.

A primeira parte deu-se com a instrumentação e as medições em voo propriamente dito, tanto das aeronaves como da incubadora. Para tal, foi necessário realizar um estudo do perfil de operação das UAPs e das configurações de voo mais usuais.

Como as aeronaves modelo AS350 B2 não dispõem de grande espaço interno e, caso o paciente possua uma estatura superior a 1,65m, haverá a necessidade de realizar o voo com a porta traseira esquerda aberta (GELAIN; PAUL, 2018). Ainda, há a necessidade de se observar a abertura e o fechamento da válvula de sangria, uma vez que ela influencia diretamente nos níveis de pressão sonora medidos e na característica do ruído (GELAIN; PAUL, 2018).

Dessa forma, as medições nesse modelo de aeronave obedeceram a sequência exposta na Tabela 15.

Tabela 15 – Configurações de medição em voo nas aeronaves AS350 B2

Configuração de Voo	Configuração de Porta Traseira	
Hover IGE Táxi Decolagem (Vy até 300ft) 40 kt 50 kt 60 kt 70 kt 80 kt 90 kt 100 kt 110 kt Hover OGE Curva 360° Esq. Bank de 15° Pouso	Porta Fechada (DC)	Porta Aberta (DO)

Já as medições realizadas na aeronave AW119 MkII, por esta ser utilizada, prioritariamente em operações policiais e por possuir maior espaço interno, não há a necessidade de realizar medições de voos com as portas traseiras abertas acima da velocidade de 80kt (limitação operacional de 85 kt) e, por possuir maior potência e maior velocidade de cruzeiro, as velocidades medidas necessitarão de ampliação até 140kt.

As medições nesse modelo de aeronave obedeceram a sequência abaixo descrita na Tabela 16.

Tabela 16 – Configurações de medição em voo nas aeronaves AW119 MkII

Configuração de Voo	Configuração de Porta Traseira	
Hover IGE Táxi Decolagem (Vy até 300ft) 40 kt 50 kt 60 kt 70 kt 80 kt Hover OGE Curva 360° Esq. Bank de 15° Pouso	Porta Fechada (DC)	Portas Abertas (DO)
90kt 100 kt 110 kt 120 kt 130 kt 140 kt	Porta Fechada (DC)	SEM MEDIÇÕES

Por fim, foram realizadas as medições nas aeronaves de asas fixas. Por estas serem utilizadas em operações de transporte aeromédico, as medições se deram apenas nas configurações de decolagem, voo de cruzeiro e pouso. As velocidades de cruzeiro foram diferentes para cada modelo, tendo em vista as peculiaridades da cada aeronave. As medições nesses modelos de aeronave obedeceram a sequência descrita na Tabela 17.

Tabela 17 – Configurações de medição em voo asas fixas

Configuração de Voo	Velocidades de Cruzeiro (por modelo)
Decolagem	*
Cruzeiro	C210N - 140 kt C206H - 115 kt BE-55 - 130 kt EMB-820C - 200 kt
Pouso	*

* configuração específica para cada aeronave.

A segunda parte foi realizada em laboratório onde a incubadora foi colocada na câmara reverberante para estudo da diferença entre os níveis de pressão sonora medidos dentro e fora da incubadora e do impacto causado pela abertura da portinhola.

3.1 APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental contou com os seguintes equipamentos:

- Sistema de aquisição de dados Head Acoustics Squadriga II;
- Conjunto de caixas acústicas;
- Amplificador de potência Brüel & Kjaer Type 2718;
- Microfone Rotating Boom Brüel & Kjaer Type 3923;
- Pre-amplificador de Microfone PCB 426E01 (*rotating boom*);
- Microfone de Campo Difuso PCB 378B20 (*rotating boom*);
- Microfones de Campo Difuso G.R.A.S. Type 40AQ;
- Microfones de Campo Difuso G.R.A.S. Type 40AQ;
- Microfone de Campo Difuso Brüel & Kjaer Type 4942;
- Pre-amplificador de Microfone PCB 426E01;
- Pre-amplificador de Microfone G.R.A.S. 26CA;
- Pre-amplificador Brüel & Kjaer Type 2671;
- Calibrador Acústico PCB Larson Davis CAL200;
- Acelerômetro Triaxial Brüel & Kjaer Type 4535-B;
- Calibrador de acelerômetro Brüel & Kjaer Type 4294;
- Software de análise e manipulação de dados de medição ArtemiS, versão 11.0;
- Incubadora FANEM IT-158 TS;
- Manequim neonatal (boneca) com massa de 2kg;
- Aeronaves AW119 MkII da Polícia Militar e AS350 B2, C210N, C206H, BE-55 e EMB-820C do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina;

3.2 PROCEDIMENTO DE MEDIÇÕES

Nesta seção do documento é especificada a sequência que foi usada durante a realização do projeto proposto. São descritos dois blocos principais, a medição dos níveis de vibração e ruídos em voo e a caracterização acústica da incubadora em laboratório.

3.2.1 Experimentos em voo

Inicialmente, para realizar os experimentos em voo, foram instalados dois microfones no interior das cabines das aeronaves de asas rotativas. No modelo AS350 B2 um

microfone foi instalado na posição central do banco traseiro (passageiros) e o outro entre os dois bancos da frente (piloto e copiloto), ambos na altura da cabeça. Em ambos os casos as posições foram escolhidas de tal forma que o microfone não interferisse nas atividades da tripulação, para assim permitir a operação segura da aeronave. Após a análise preliminar dos dados obtidos com estes dois microfones, observou-se que a diferença entre os níveis medidos nos microfones dianteiro e traseiro foi menor que 1 dB. Assim, para as demais medições, optou-se por instalar apenas um microfone na posição central do banco traseiro, conforme Figura 12, visando reduzir qualquer interferência negativa na segurança de voo.



Figura 12 – Posicionamento do microfone no interior da cabine da aeronave AS 350 B2. Esquerda: PR-HGR - Arcanjo-1. Direita: PR-HGH - Águia-07.

Da mesma forma, no modelo AW119 MkII, que possui uma separação física entre a cabine dos pilotos e da tripulação, um dos microfones foi posicionado entre os pilotos, na altura da cabeça e outro no centro da cabine da tripulação, também a uma altura equivalente a posição da orelha dos tripulantes. Após análise preliminar dos dados, observou-se NPS entre 1 e 2 dB inferiores na cabine dos pilotos em comparação com a cabine da tripulação. Mais uma vez, optou-se por utilizar apenas um único microfone na posição central da cabine para as demais medições, tanto por questões de segurança de vôo como pelo fato da representatividade do NPS medido na posição traseira.

O microfone no interior da incubadora foi fixado com esparadrapo ao domo acrílico da incubadora, colocado logo acima da cabeça da boneca, de forma centralizada com referência ao eixo longitudinal da incubadora, conforme Figura 13.

Para a medição das vibrações, fora utilizada uma boneca com dimensões compatíveis com um bebê prematuro de baixo peso. A boneca foi pesada e preenchida com areia para atingir massa de 2000g, conforme Figura 14, sendo 40% da massa na

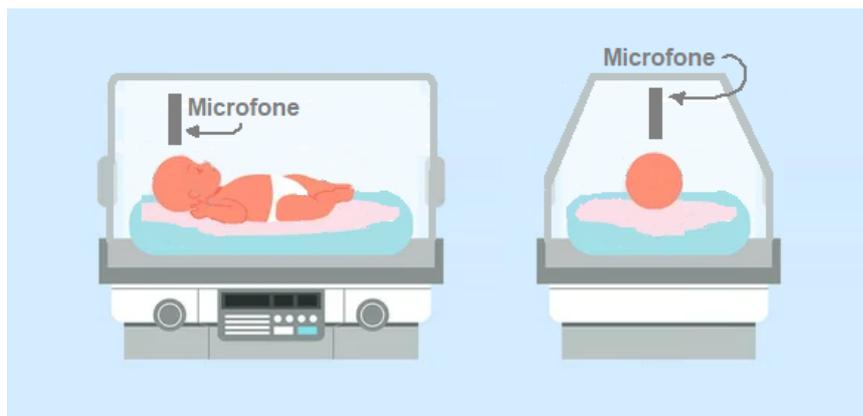


Figura 13 – Posicionamento do microfone no interior da incubadora FANEM IT-158 TS

cabeça (800g), 40% no tórax (800g) e 20% nos membros, sendo 100g em cada braço e perna, totalizando 400g nos membros.



Figura 14 – Boneca utilizada nos experimentos

A incubadora foi instrumentada colocando-se um acelerômetro triaxial no eixo longitudinal da incubadora logo abaixo da posição do tronco da boneca (aproximadamente 27cm da borda externa), conforme Figura 16. O acelerômetro foi fixado à bandeja plástica com cianoacrilato com os eixos de medição em conformidade com o previsto pela norma ISO 2631:1997 (Figura 15) com a seguinte orientação: eixo x na direção (costas-peito), eixo y (direita-esquerda) e eixo z (pés-cabeça).



Figura 15 – Orientação dos eixos de medição do acelerômetro triaxial na posição deitada



Figura 16 – Posição do acelerômetro triaxial na bandeja plástica da incubadora

Sobre o acelerômetro triaxial foi colocado o colchonete padrão da incubadora FANEM IT-158 TS. Já a boneca foi então colocada sobre o colchonete com a cabeça a 10cm da borda externa da bandeja, conforme Figura 17, sendo presa com as cintas de fixação de forma cruzada, conforme procedimento padrão da equipe médica do SAMU.



Figura 17 – Posição da boneca na bandeja

Na maioria das aeronaves AS350 B2, a incubadora foi colocada sobre o banco traseiro da aeronave junto à porta corredeira da esquerda, conforme Figura 18. Já na aeronave PR-BNU, a incubadora foi colocada de duas formas: sobre o banco traseiro, conforme relatada anteriormente e em cima da maca do kit aeromédico, conforme Figura 19. A posição escolhida tem por objetivo proporcionar a abertura da portinhola

lateral, tendo em vista a necessidade de intervenção e interação entre a equipe médica e o paciente durante eventuais intercorrências no transporte.



Figura 18 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave AS350 B2



Figura 19 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave AS350 B2, prefixo PR-BNU, sobre a maca do kit aeromédico.

Nas aeronaves AW119MkII e EMB-820C, a incubadora foi colocada sobre a maca interna, perto da porta esquerda na aeronave AW119 MkII, conforme Figura 20 e na lateral direita da aeronave próxima à porta traseira na EMB-820C, conforme Figura 21, de modo a também possibilitar a abertura da portinhola em caso de necessidade de intervenções.

Nas aeronaves Cessna 206H e 210N, devido ao pequeno espaço interno, uma das filas de bancos traseiros necessitou ser removida e a incubadora foi colocada sobre o próprio piso da aeronave no sentido transversal da aeronave, conforme Figura 22.

Os sinais foram adquiridos utilizando como conversor analógico digital e gravador SQuadrigall da HEAD-acoustics, utilizando-se uma taxa de amostragem de $f_s = 48$ kHz, para a aquisição de som, e $f_s = 12$ kHz para a aquisição da vibração, ambos com resolução de 24 bit. As análises foram realizadas utilizando o software ArtemiS®, também da HEAD-acoustics.



Figura 20 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave AW119 MkII



Figura 21 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave EMB-820C



Figura 22 – Posicionamento da incubadora no interior da aeronave C206H

A cadeia de medição foi aferida utilizando o calibrador Acústico PCB Larson Davis CAL200 para os microfones e o calibrador de acelerômetro Brüel & Kjaer Type 4294 para o acelerômetro triaxial antes de cada voo.

3.2.2 Experimento de laboratório

Para realizar os experimentos de medição experimental para a avaliação da diferença entre os níveis de pressão sonora medidos dentro e fora da incubadora, em laboratório, foi inicialmente necessário levar a incubadora para a câmara reverberante 2, de 193 m³, do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC, onde foi instrumentada com três microfones em seu interior. O Microfone 1 foi colocado na posição padrão utilizada nos testes de voo (logo acima da cabeça da boneca), o Microfone 3 foi colocado na posição central e o Microfone 2 foi colocado na posição simetricamente oposta ao microfone 1 (cabeça do bebê), conforme Figura 23.

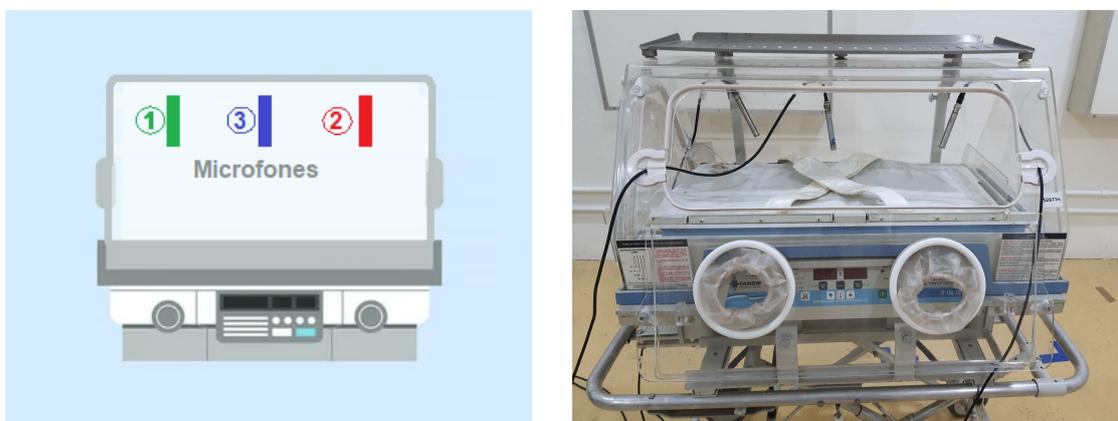


Figura 23 – Posição dos microfones no interior da incubadora - câmara reverberante

No lado externo da incubadora, foram posicionadas as caixas de som, a cerca de 1 metro das paredes e direcionadas para elas. Próximo a incubadora, foi posicionado o microfone fixado no *rotating boom* (centro de giro a uma altura de 1,5m, raio de giro de 1m e velocidade de giro de 16 segundos por revolução). O posicionamento dos itens no interior da câmara pode ser visto na Figura 24.



Figura 24 – Configuração de medição - Câmara Reverberante

Todos os microfones foram aferidos antes do início da medição utilizando-se o calibrador Acústico PCB Larson Davis CAL200.

Com a base da incubadora apoiada sobre a maca articulada de transporte, a uma altura de aproximadamente 0,84 m do solo, e os microfones posicionados em seu interior (nas posições pré-definidas), foram realizadas medições utilizando-se ruído branco, com faixa de frequência entre 20Hz e 20kHz e nível de pressão sonora de 103dB, medidos pelo microfone externo no *rotating boom*.

Antes do início da medição o ruído foi executado por 30 segundos, para estabilização do campo acústico. Em cada configuração da incubadora (portinholas fechadas e portinhola da cabeça aberta), foram realizadas 5 gravações com tempo de aquisição de 50 segundos e taxa de amostragem de 48 kHz.

Foram realizadas medições com a incubadora desligada e com as seguintes configurações de portinholas:

- Portinholas fechadas;
- Portinhola da cabeça aberta;

Utilizou-se a configuração com a portinhola da cabeça aberta, conforme Figura 25, pois quando o bebê se encontra entubado, o tubo normalmente é passado por esse orifício para diminuir a possibilidade de uma extubação acidental.



Figura 25 – Portinhola da cabeça aberta

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DAS AERONAVES

Neste item serão apresentadas as análises dos dados coletados de forma a realizar a caracterização acústica das aeronaves de asas rotativas e asas fixas para demonstrar os níveis de pressão sonora (com e sem ponderação) medidos internamente nas suas cabines.

4.1.1 Aeronaves de asas rotativas

A caracterização acústica e vibratória das aeronaves foi contextualizada com as suas especificações técnicas e padrões operacionais, a fim de permitir a interpretação correta dos resultados obtidos.

Além disso, para possibilitar uma ampla análise dos padrões de voo utilizados na aviação de Segurança Pública, seja em missões de busca e resgate, transporte aeromédico ou patrulhamento, foi necessário definir as configurações de voo que melhor se aproximavam aos padrões de voo usualmente utilizados, sempre obedecendo as limitações de cada aeronave e considerando as portas traseiras abertas e fechadas.

Para simular operações de embarque e desembarque a baixa altura com a aeronave acionada, foram realizadas medições dentro da cabine durante o Taxi e o voo pairado dentro do efeito solo - IGE. Já, para simular as operações de rapel ou utilização do guincho de resgate, as medições dentro da aeronave foram feitas durante o voo pairado fora do efeito solo - OGE, a 500 pés acima do nível do solo - AGL - para o AS350 B2 e a 800 pés AGL para o AW119 MkII.

Por sua vez, para simular as operações com cargas externas, como utilização de helibalde (Bambi Bucket ®), triângulo de resgate, maca de ribanceira, cinto de resgate multifuncional (sling), cesto de resgate e operações policiais, foram feitas medições durante os voos com a porta traseira aberta em diferentes velocidades, incluindo curvas fechadas (360 graus à esquerda com 60kt e 15 graus de inclinação ângulo). Por fim, para caracterizar o ruído durante o transporte dos pacientes, foram feitas medições durante a decolagem ($v_y=55kt$ para o AS350 B2 e $v_y=60kt$ para o AW119 MkII, ambos até 300 pés AGL), em diferentes velocidades de cruzeiro e em operações de pouso, todos considerando todas as portas fechadas ou com a porta traseira esquerda aberta no caso do AS350 B2 e com as duas portas traseiras abertas no caso AW119 MkII.

Durante as operações aéreas, as baixas velocidades entre 40 a 60 kt, estão normalmente associadas a operações de busca e resgate ou patrulhamento com as portas traseiras abertas. Por outro lado, velocidades mais altas, acima de 70kt, geralmente estão associadas a viagens ponto a ponto com todas as portas fechadas, por exemplo no transporte de um paciente até o hospital. No AS350 B2 estes transportes

são eventualmente realizados com uma porta traseira aberta, se não estiver instalado nenhum kit aeromédico e o paciente for transportado transversalmente e com altura superior a 1,65m. No caso do AW119 MkII, por este apresentar maior espaço interno e local específico para a maca rígida, não há necessidade de voar com a porta traseira aberta durante o transporte de pacientes. Contudo, por questões operacionais, quando for necessário abrir as portas traseiras, a aeronave AW119 MkII está sujeita a limitação operacional de 85 kt, ou seja, não pode operar com portas abertas acima desta velocidade.

Para a realização desta pesquisa, as informações detalhadas sobre as configurações de voo utilizadas, quantidade de medições realizadas e dados das aeronaves de asa rotativa estão resumidas na Tabela 18.

Tabela 18 – Medições e respectivas informações dos helicópteros

Medição	Data	Conf. de Voo	Prefixo	Ano	Fabricante	Modelo
BNU1	out/2020	todas	PR-BNU	2016	Helibras	AS350 B2
BNU2	jan/2021	exc pouso e dec.	PR-BNU	2016	Helibras	AS350 B2
BNU3	jun/2021	todas	PR-BNU	2016	Helibras	AS350 B2
BNU4	jun/2021	todas	PR-BNU	2016	Helibras	AS350 B2
HGR1	may/2018	somente cruzeiro	PR-HGR	2003	Eurocopter	AS350 B2
HGR2	ago/2020	todas	PR-HGR	2003	Eurocopter	AS350 B2
HTA	nov/2020	todas	PR-HTA	2002	Helibras	AS350 B2
HGH	fev/2021	todas	PR-HGH	2001	Eurocopter	AS350 B2
PMM1	fev/2021	todas	PR-PMM	2009	Agusta	AW119 MkII
PMM2	mar/2021	todas	PR-PMM	2009	Agusta	AW119 MkII
PMM3	mar/2021	todas	PR-PMM	2009	Agusta	AW119 MkII

4.1.1.1 Níveis de pressão sonora interna em função da frequência

As características gerais do ruído durante o voo foram analisadas por meio de uma análise VFR-FFT (*variable frequency resolution Fast Fourier Transform*) com janelas de 4096 amostras, aplicação de janela Hanning, sobreposição de 50% das janelas e alta largura de banda VFR) das gravações calibradas feitas.

Uma vantagem da FFT é que ela permite uma resolução de frequência variável. A resolução de frequência refere-se à capacidade de distinguir entre frequências próximas em um sinal. No contexto da FFT, a resolução de frequência é determinada pelo número de pontos utilizados no cálculo.

Ao utilizar o método VFR-FFT é possível ajustar o número de pontos utilizados na FFT e alterar a resolução de frequência do espectro resultante. Um maior número de pontos proporciona uma melhor resolução de frequência, o que permite distinguir entre frequências próximas. Por outro lado, um menor número de pontos proporciona uma menor resolução de frequência, mas possibilita uma computação mais rápida.

Para as gravações feitas em voo de cruzeiro com diferentes velocidades no interior do AS350 B2 o espectro de magnitude obtido com a análise VFR-FFT é mos-

trado na Figura 26 e para o AW119 MkII na Figura 27, sempre com as com as portas fechadas.

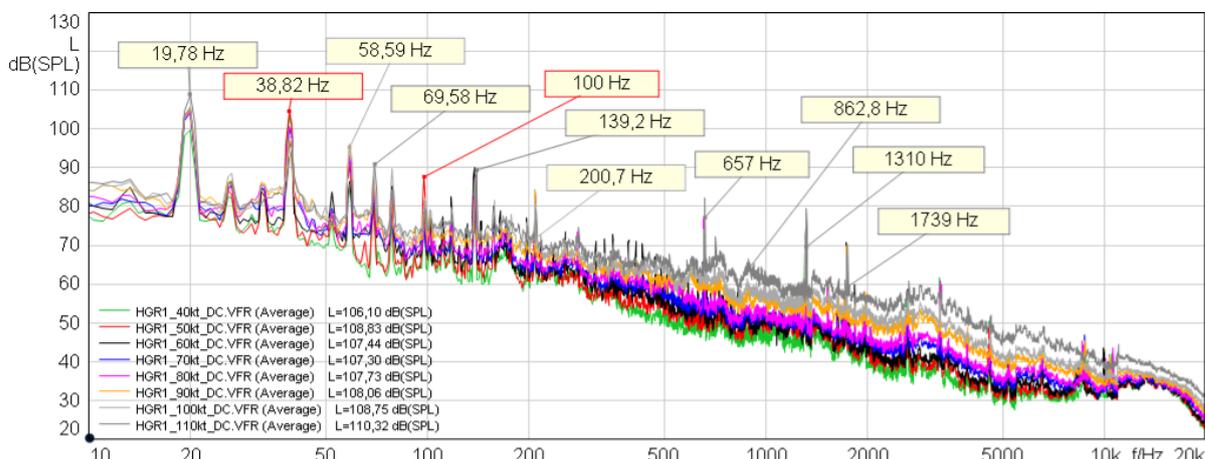


Figura 26 – Espectro de magnitude em termos de níveis de pressão sonora medidos na cabine do helicóptero AS350 B2 durante o voo de cruzeiro em diferentes velocidades e com todas as portas fechadas. Dados brutos obtidos durante a medição HGR1. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50 %, largura de banda VFR alta)

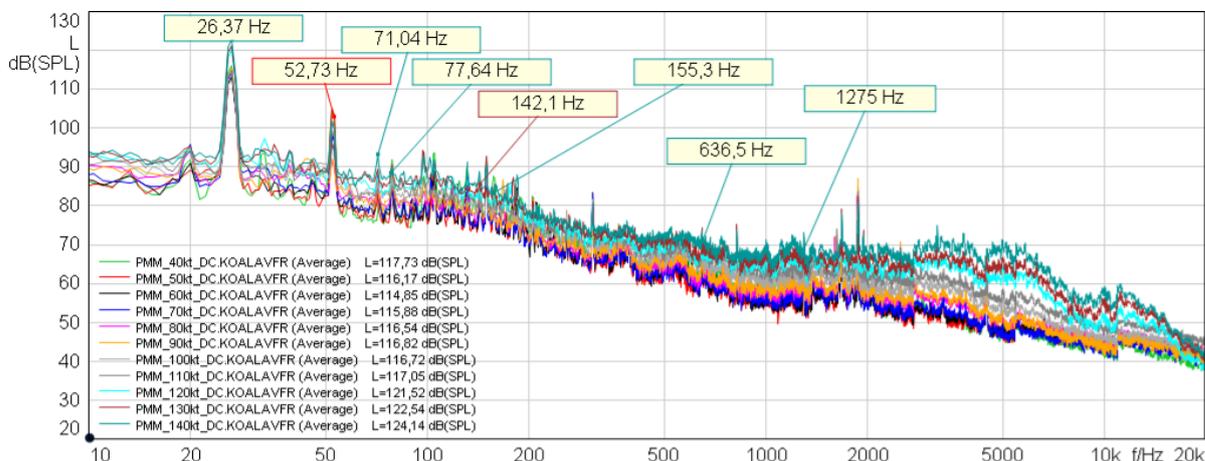


Figura 27 – Espectro em termos de NPS na cabine do helicóptero AW119 MkII durante o voo de cruzeiro em diferentes velocidades e com todas as portas fechadas. Dados brutos obtidos durante a medição PMM2. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50 %, largura de banda VFR alta)

A partir do espectro, verifica-se componentes tonais, para o AS350 B2, em aproximadamente 19,8 Hz, 38,8 Hz, 58,6 Hz, e assim por diante, e para o AW119 MkII, em aproximadamente 26,1 Hz, 52,2 Hz, 78,3 Hz, e assim por diante, independentes da velocidade do voo de cruzeiro. Estas frequências correspondem à BPF, determinada pela frequência de rotação de aproximadamente 390 rpm e o número de pás igual a 3,

para o AS350 B2 e de aproximadamente 392 rpm (entre 388 e 395 rpm) e o número de pás igual a 4, para o AW119 MkII. É importante notar que o aumento da velocidade de cruzeiro não se deve a um aumento da velocidade de rotação do rotor principal, pois esta é controlada para permanecer dentro de uma faixa de 385 até 394 rpm (AS350 B2) e de 388 até 295 rpm (AW119 MkII).¹

Além disso, notam-se nos espectros de magnitude as frequências de passagem das pás do rotor de cauda, sendo estas para o AS350 B2, 69,6 Hz e seus múltiplos e, para o AW119 MkII, 70,8 Hz e seus múltiplos. Assim como nos rotores principais, a rotação dos rotores de cauda não variam com a velocidade dos helicópteros. Também é possível identificar as frequências e seus harmônicos associados à rotação da turbina para o AS350 B2 (862 Hz, 1726 Hz) e para o AW119 MkII (636 Hz, 1272 Hz) e eixo curto (100 Hz, 200 Hz) para o AS350 B2 e (77,6 Hz, 155,3 Hz) para o AW119 MkII.

Ao analisar o $L_{eq}(f)$ nas frequências de passagem de pá do rotor principal e seus primeiro e segundo harmônicos, durante o voo de cruzeiro com diferentes velocidades em diferentes aeronaves AS350 B2 e portas fechadas (Figura 28), não é encontrado um padrão absolutamente consistente quanto à redução esperada dos NPS associados a ordens crescentes de harmônicos da BPF. Já, quando voada com a porta traseira esquerda aberta, encontra-se um padrão ligeiramente consistente de redução do NPS com ordem crescente de BPF.

Por sua vez, durante o voo de cruzeiro com diferentes velocidades na aeronave AW119 MkII, com as portas abertas ou fechadas (Figura 29), já é possível encontrar um padrão de redução dos NPS associados a ordens crescentes de harmônicos das BPF, como esperado.

Ao voar, no caso do AS350 B2, com a porta traseira esquerda aberta e, no caso do AW119 MkII, com ambas as portas traseiras abertas, os espectros são semelhantes em toda a faixa de frequência, o que está de acordo com os desvio padrões geralmente menores dos NPSs (não ponderados) medidos com as portas traseiras abertas, ao serem comparados às mesma condição de voo, mas todas as portas fechadas (Tabela 19 e 20).

Os espectros de magnitude do nível de pressão sonora, para diferentes configurações de voo (exceto voo de cruzeiro), tais como: IGE, táxi e decolagem são fornecidos nas Figuras 30 e 31. Os espectros de magnitude do ruído presente no interior das aeronaves durante as operações de OGE, curvas fechadas (360° à esquerda, 60kt e 15° ângulo de inclinação) e pouso, para as aeronaves AS350 B2 (BNU2, HGR2,

¹ O aumento da velocidade da aeronave está associada à sua atitude e da posição do passo coletivo. Com o aumento do passo coletivo, o dosador aumentará a passagem de combustível o que acarretará um aumento da rotação da turbina geradora de gases, contudo o dispositivo chamado governador manterá a rotação da turbina livre constante qualquer que seja o passo do coletivo. Como a velocidade da turbina livre é constante, a potência transmitida aos rotores depende apenas do torque do motor e da rotação das pás do rotor principal, que se manterão constante dentro de uma faixa para cada aeronave.

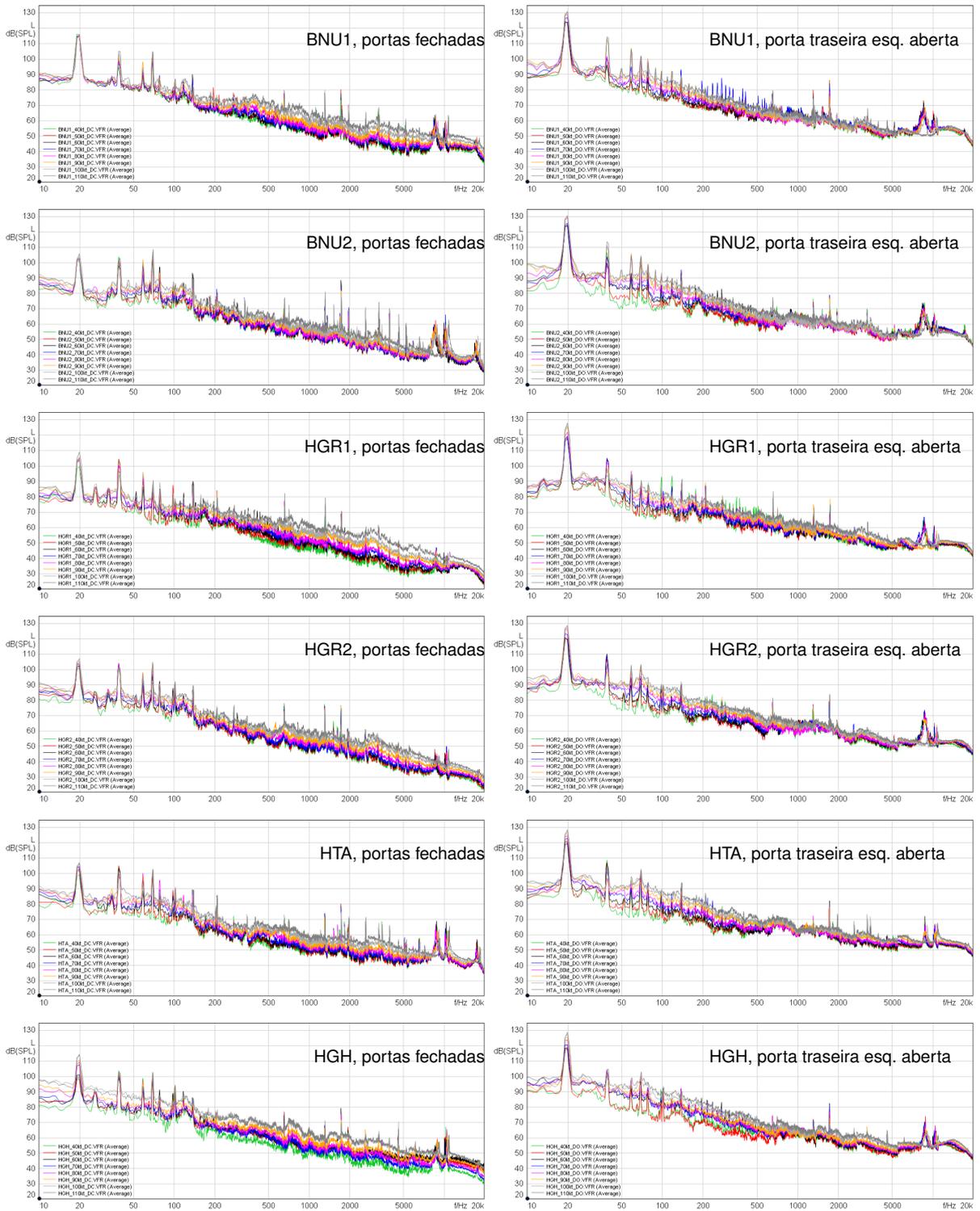


Figura 28 – Espectro de magnitude em termos dos NPS equivalente (L_{eq}), sem ponderação, medidos na cabine do helicóptero AS350 B2 durante voo de cruzeiro em diferentes velocidades. Esquerda: com as portas fechadas. Direita: Porta traseira esquerda aberta. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50 banda VFR alta)

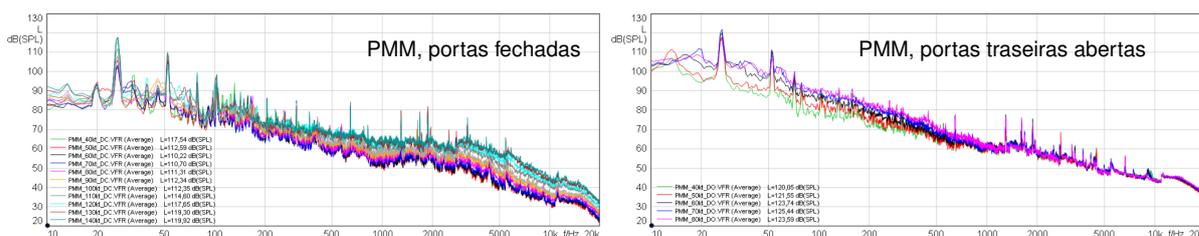


Figura 29 – Espectro de magnitude em termos dos NPS equivalente (L_{eq}), sem ponderação, medidos na cabine do helicóptero AW119 MkII durante voo de cruzeiro em diferentes velocidades. Esquerda: com as portas fechadas. Direita: Portas traseiras abertas Espectro obtido com a análise VFR-FFT (amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

HTA e HGH) e AW119 MkII (PMM) são fornecidos nas Figuras 32 e 33. Como já visto nos dados de voo de cruzeiro (Figuras 28 e 29) a contribuição do NPS da BPF para o NPS global aumenta quando as aeronaves voam com a porta traseira esquerda aberta.

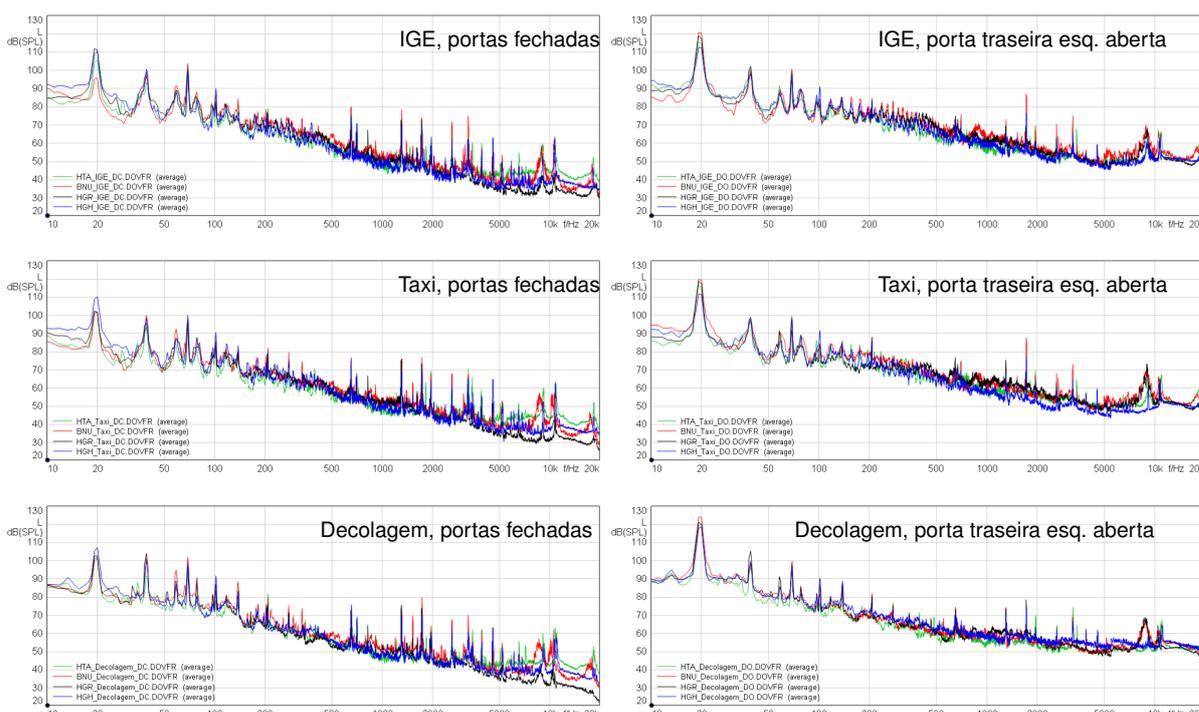


Figura 30 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação (L_{eq}) medidos nas aeronaves AS350 B2 durante operações de IGE, taxi e decolagem. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

Os NPSs globais equivalentes não ponderados e com ponderação A e C, medidos sob diferentes condições de voo, são plotados nas Figuras 34 a 38 para o AS350 B2 e nas Figuras 35 a 39 para o AW119 MkII.

Para condições de voo de cruzeiro, verifica-se que os NPSs globais não ponderados aumentam em até 8 dB quando a velocidade da aeronave AS350 B2 aumenta de

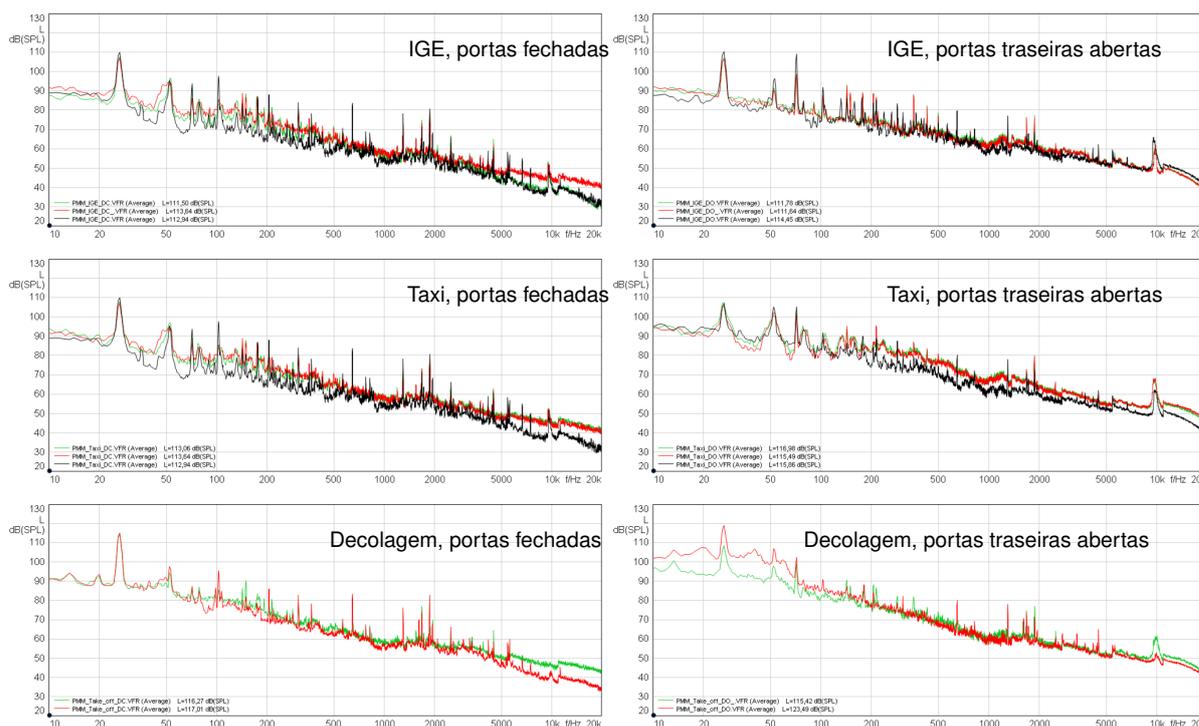


Figura 31 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação (L_{eq}) medidos nas aeronaves AW119 MkII durante operações de IGE, taxi e decolagem. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

40 para 110 kt com todas as portas fechadas e em até 6 dB, na aeronave AW119 MkII, quando a velocidade da aeronave aumenta de 40 para 140 kt com todas as portas fechadas.

Ao voar com a porta traseira esquerda aberta no AS350 B2, os NPSs globais, sem ponderação, aumentam em até 10 dB quando a velocidade da aeronave aumenta de 40 para 110 nós. Já no AW119 MkII, os NPSs globais, sem ponderação, praticamente não sofrem alteração, sofrendo um aumento de apenas 2 dB, quando a velocidade da aeronave aumenta de 40 para 80 nós com ambas as portas traseiras abertas.

Vê-se também que os maiores NPSs globais equivalentes não ponderados são medidos a 100 e 110 kt (AS350 B2) e a 130 e 140 kt (AW119 MkII), em voo de cruzeiro, velocidades estas que são frequentemente utilizadas durante missões SAR ou de transporte aeromédico. Nestas velocidades, a diferença da média dos NPSs equivalentes não ponderados entre voar com portas abertas ou fechadas é de 16 dB no AS350 B2. Com as portas abertas a 80 kt, no AW119 MkII, a diferença da média dos NPSs equivalentes não ponderados é de 5 dB.

A variação dos NPSs equivalentes globais ponderados em A, em função da condição de voo, é maior para portas fechadas em comparação com o voo com as portas traseiras abertas, devido ao fato de que com a porta aberta o campo acústico

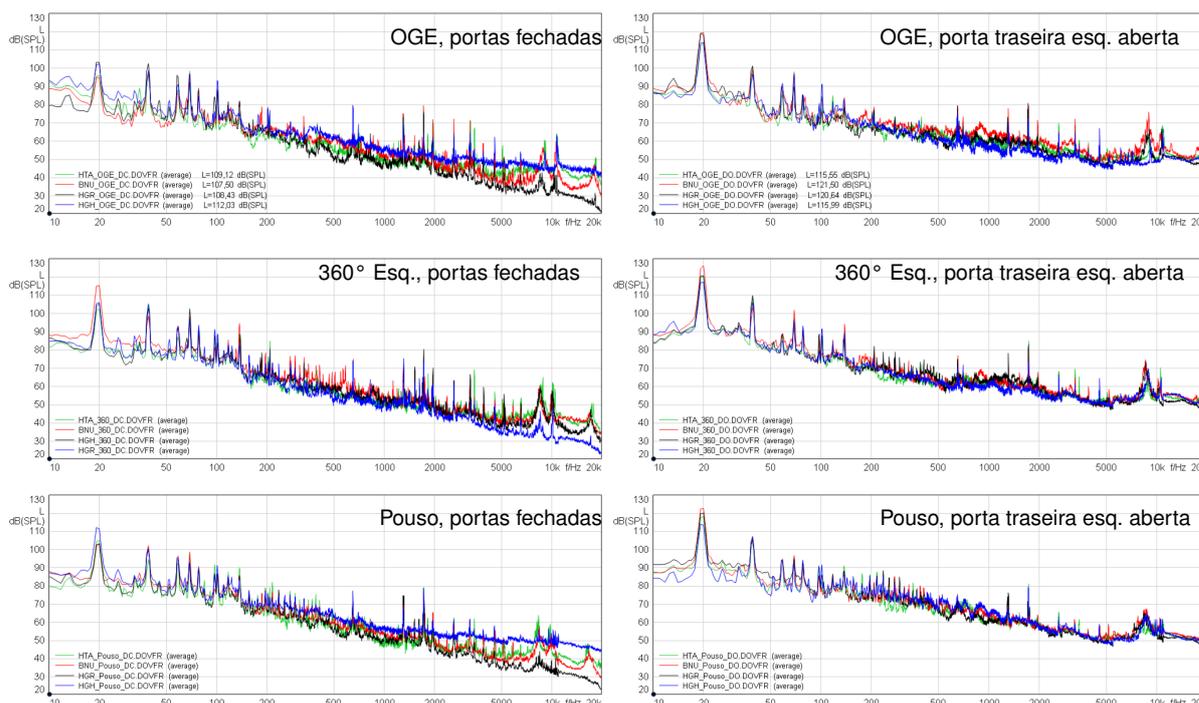


Figura 32 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação L_{eq} medidos nas aeronaves AS350 B2 durante operações de OGE (500ft), curvas de 360° a esquerda com 60kt e 15 graus de inclinação) e pouso. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

externo sobrepõe o campo acústico interno, além da influência do ruído do escoamento de ar na fuselagem que se torna mais perceptível.

Mais uma vez, os NPSs globais equivalentes com ponderação A são maiores para velocidade de cruzeiro de 100 e 110 kt no AS350 B2. No entanto, a média do $L_{Aeq, DO}$ é apenas 4 dB maior que a média do $L_{Aeq, DC}$ tanto para 100 quanto para 110 kt, como visto na Tabela 19.

No caso do AW119 MkII, os NPSs globais equivalentes com ponderação A são maiores para velocidade de 130 e 140 kt no AW119 MkII com a média do $L_{Aeq, 130kt}$ chegando a 100 dB e a média do $L_{Aeq, 140kt}$ a 102 dB, como visto na Tabela 20.

A maior diferença entre voar com as portas abertas ou fechadas é visto para voo de cruzeiro a 70 nós em ambos os modelos. A esta velocidade a média $L_{Aeq, DO, 70kt}$ é 7 dB maior que a média $L_{Aeq, DC, 70kt}$.

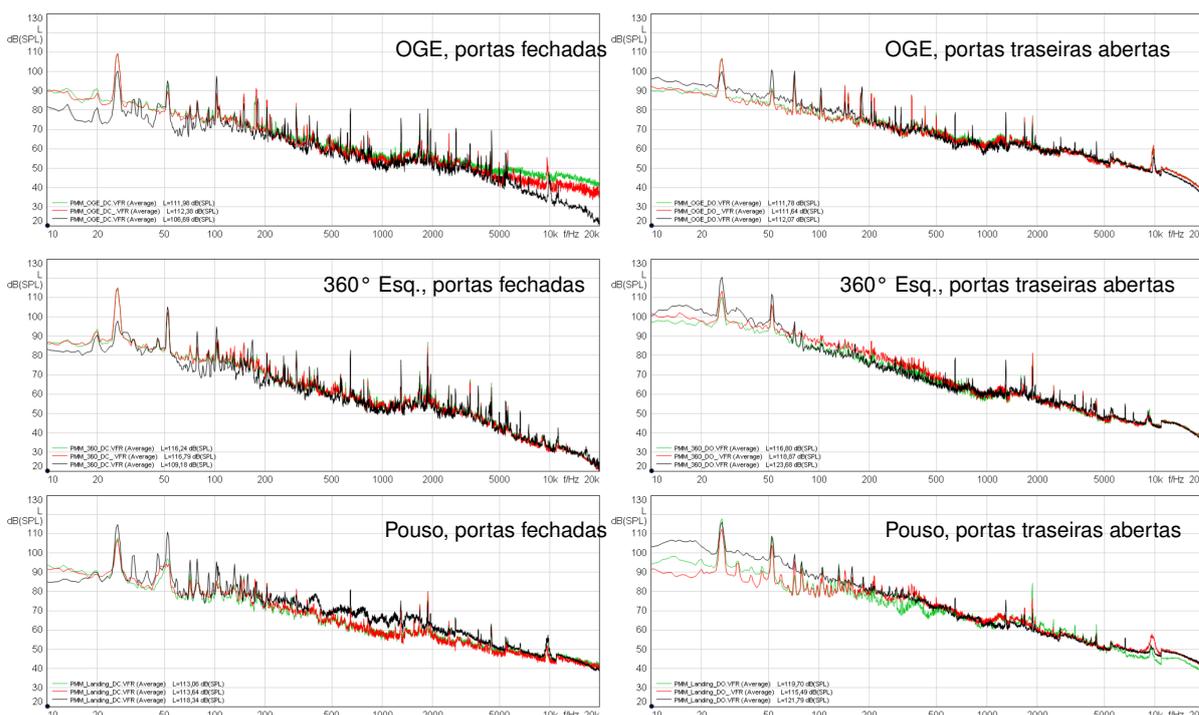


Figura 33 – Espectro de magnitude em termos de NPS equivalente sem ponderação (L_{eq}) medidos nas aeronaves AW119 MkII durante operações de OGE (800ft), curvas de 360° a esquerda com 60kt e 15 graus de inclinação) e pouso. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta).

As Figuras 34 a 39 demonstram os NPS global equivalente (com ponderação A e C e sem ponderação) para todas as medições realizadas nas aeronaves AS350 B2 e AW119 MkII.

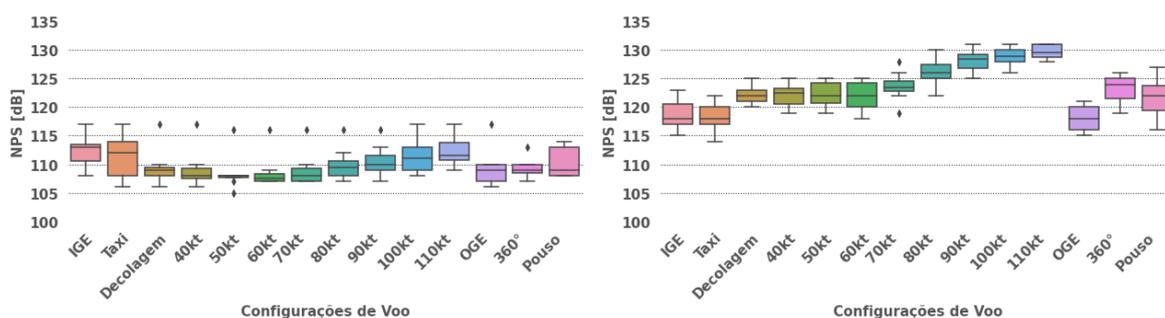


Figura 34 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente sem ponderação (L_{eq}) obtido em quatro diferentes aeronaves AS350 B2 em diversas configurações de voo. Esquerda: portas fechadas. Direita: Porta traseira esquerda aberta.

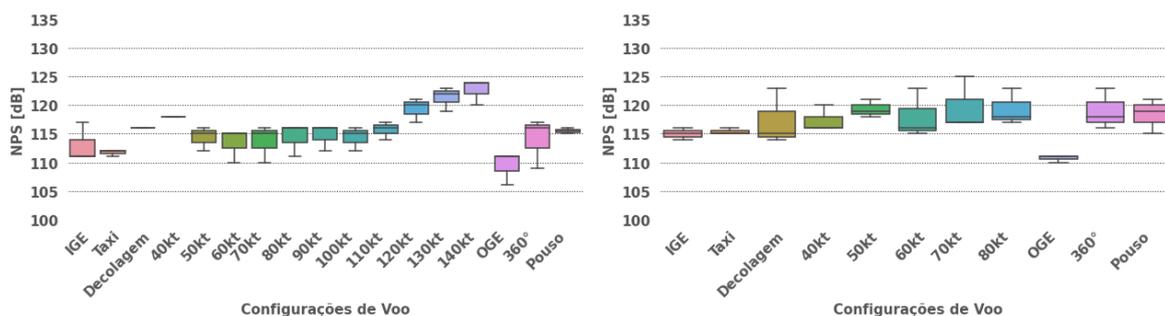


Figura 35 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente sem ponderação (L_{eq}) obtido na aeronave AW119 MkII em diversas configurações de voo. Esquerda: portas fechadas. Direita: Portas traseiras abertas.

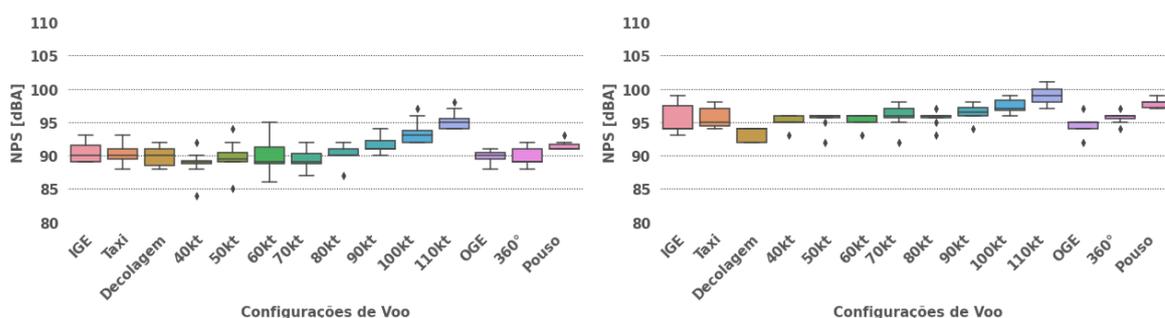


Figura 36 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação A (L_{Aeq}) obtido em quatro diferentes aeronaves AS350 B2 em diversas configurações de voo. Esquerda: portas fechadas. Direita: Porta traseira esquerda aberta.

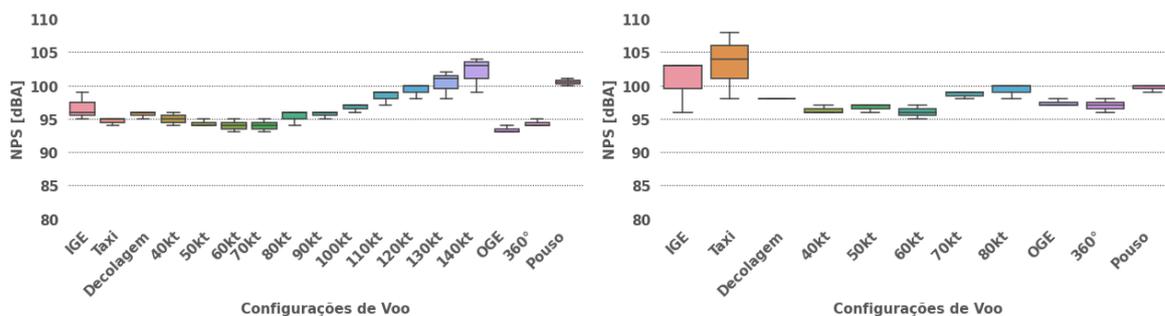


Figura 37 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação A (L_{Aeq}) obtido na aeronave AW119 MkII em diversas configurações de voo. Esquerda: portas fechadas. Direita: Portas traseiras abertas.

4.1.1.2 Nível de Pressão Sonora com ponderação A

Para avaliação do risco de perda auditiva, os NPSs equivalentes globais ponderados A (L_{Aeq}), são geralmente considerados. Para as condições críticas mais relevantes no AS350 B2 e AW119 MkII, seja durante operações (IGE, Taxi, OGE (500ft-AS350 B2), OGE (800ft-AW119 MkII) e curvas fechadas 360 graus à esquerda com 60 kt e ângulo de inclinação de 15 graus) ou voos de cruzeiro com velocidades entre 40 kt e 110 kt (com a porta traseira esquerda aberta) para o AS350 B2 e com velocidades entre

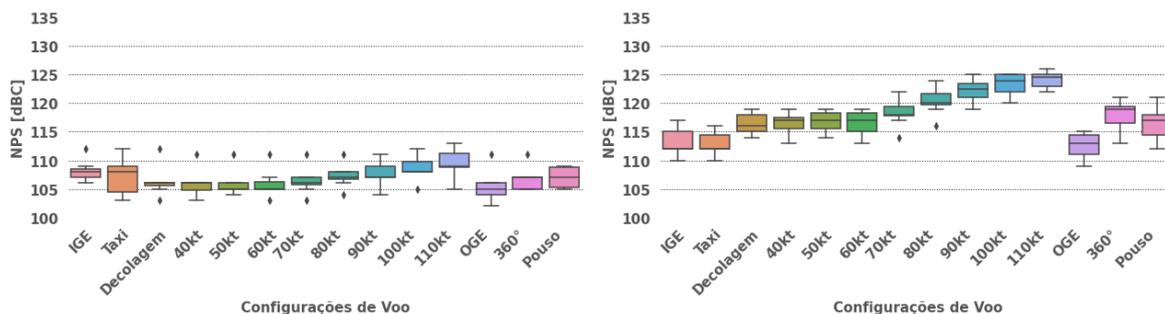


Figura 38 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação C (L_{Ceq}) obtido em quatro diferentes aeronaves AS350 B2 em diversas configurações de voo. Esquerda: portas fechadas. Direita: Porta traseira esquerda aberta.

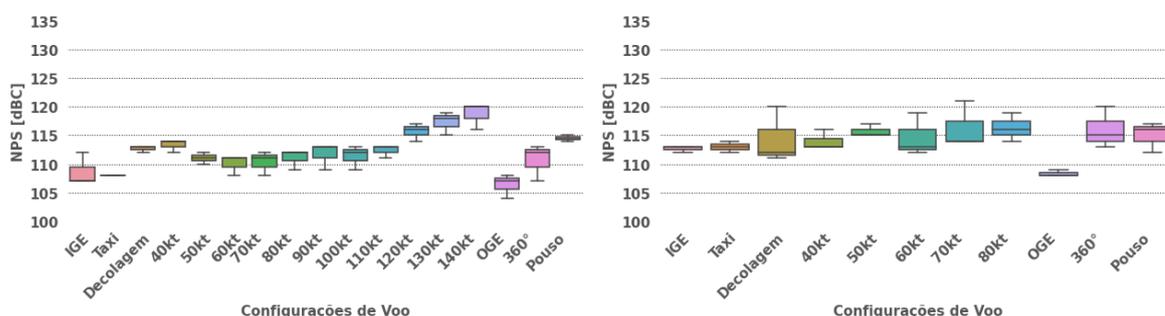


Figura 39 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente com ponderação C (L_{Ceq}) obtido na aeronave AW119 MkII em diversas configurações de voo. Esquerda: portas fechadas. Direita: Portas traseiras abertas.

40 kt e 80 kt (com ambas as portas traseiras abertas), os NPSs globais equivalentes com ponderação A ($L_{Aeq}(i)$) foram calculados em bandas de 1/3 de oitava e mostrados na Figuras 40, 41, 42 e 43.

É possível verificar que o $L_{Aeq}(i)$ nas faixas entre 200 Hz a 10 kHz são as mais relevantes para o L_{Aeq} global dependendo da operação, devido ao efeito da ponderação. Um aumento no $L_{Aeq}(i)$ com o aumento da velocidade para voos de cruzeiro também é claramente verificado nas Tabelas 19 e 20.

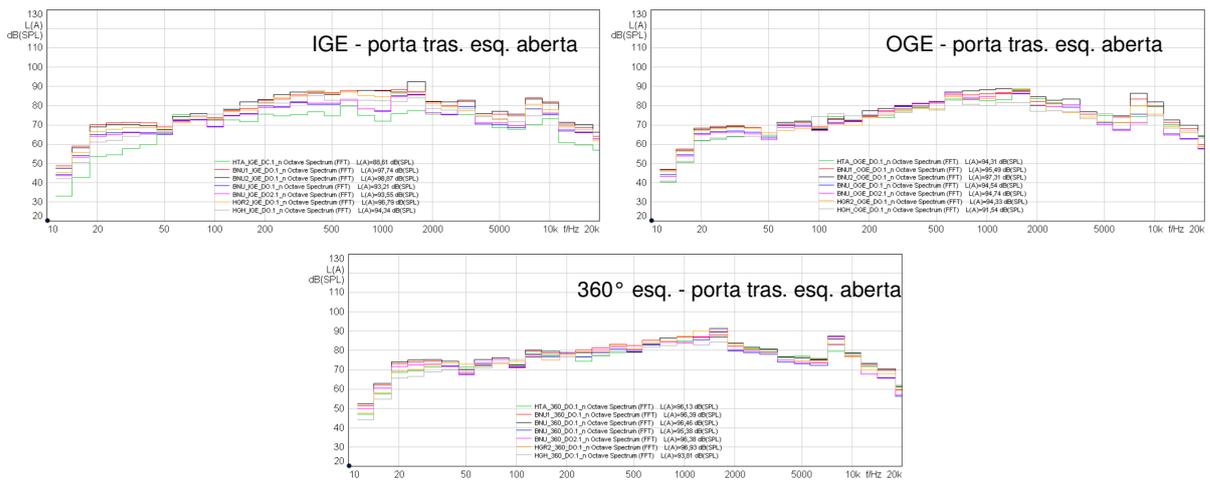


Figura 40 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos no interior das aeronaves AS350B2 durante as operações mais críticas (IGE, Taxi, OGE (500ft) e 360° esq.) com a porta traseira esquerda aberta. Espectro obtido com a análise 1/3 oitava FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

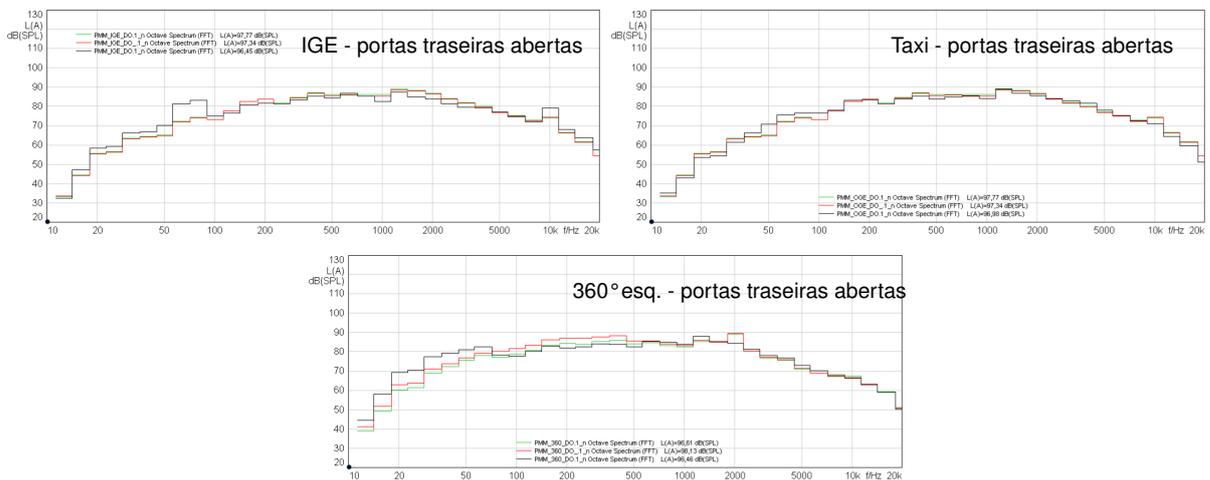


Figura 41 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos no interior da aeronave AW119 MkII durante as operações mais críticas (IGE, OGE (800ft) e 360° esq.) com as portas traseiras abertas. Espectro obtido com a análise 1/3 oitava FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

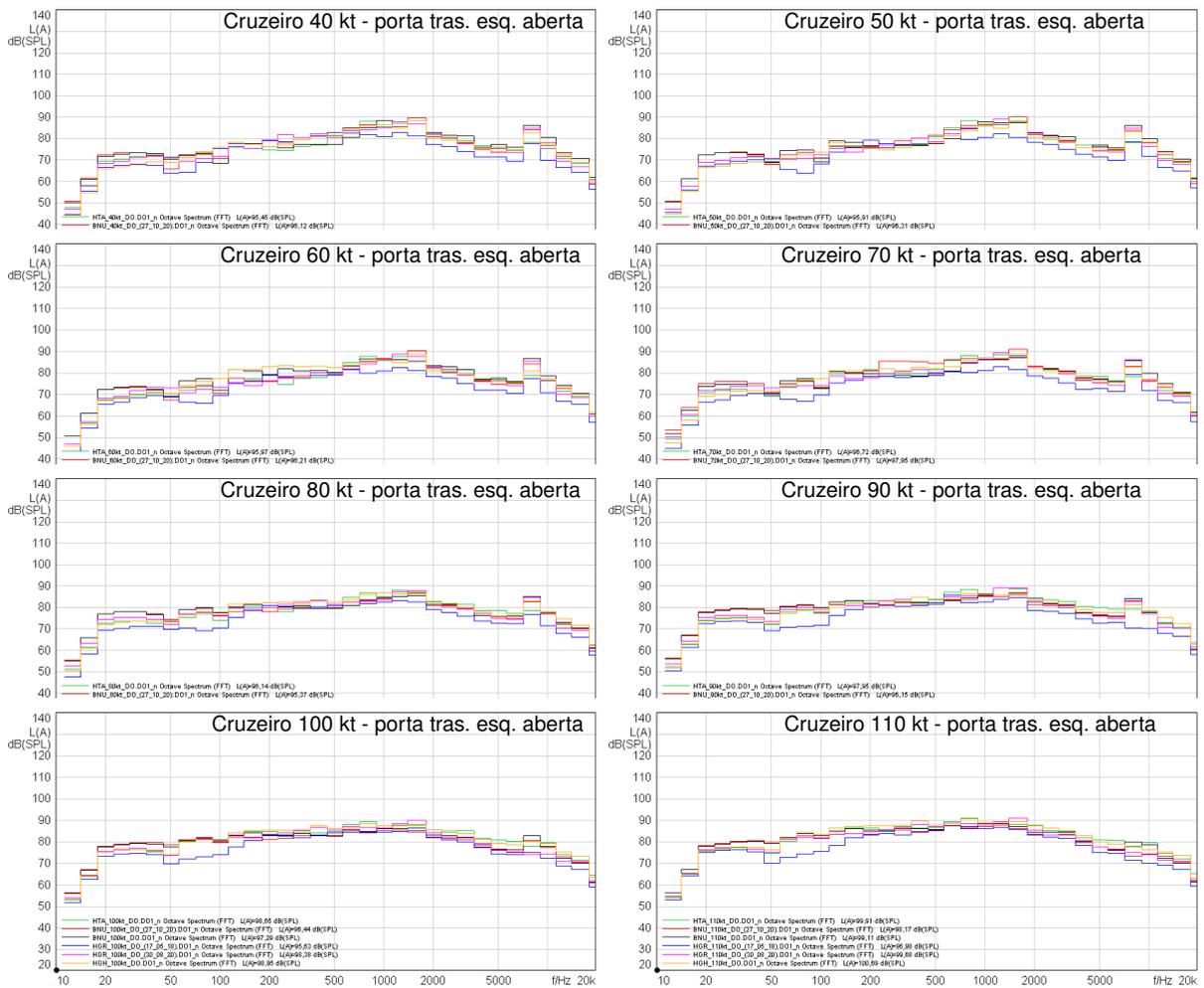


Figura 42 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos no interior das aeronaves AS350B2 em diferentes velocidades de cruzeiro com a porta traseira esquerda aberta (de 40 a 110 kt). Espectro obtido com a análise 1/3 oitava FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

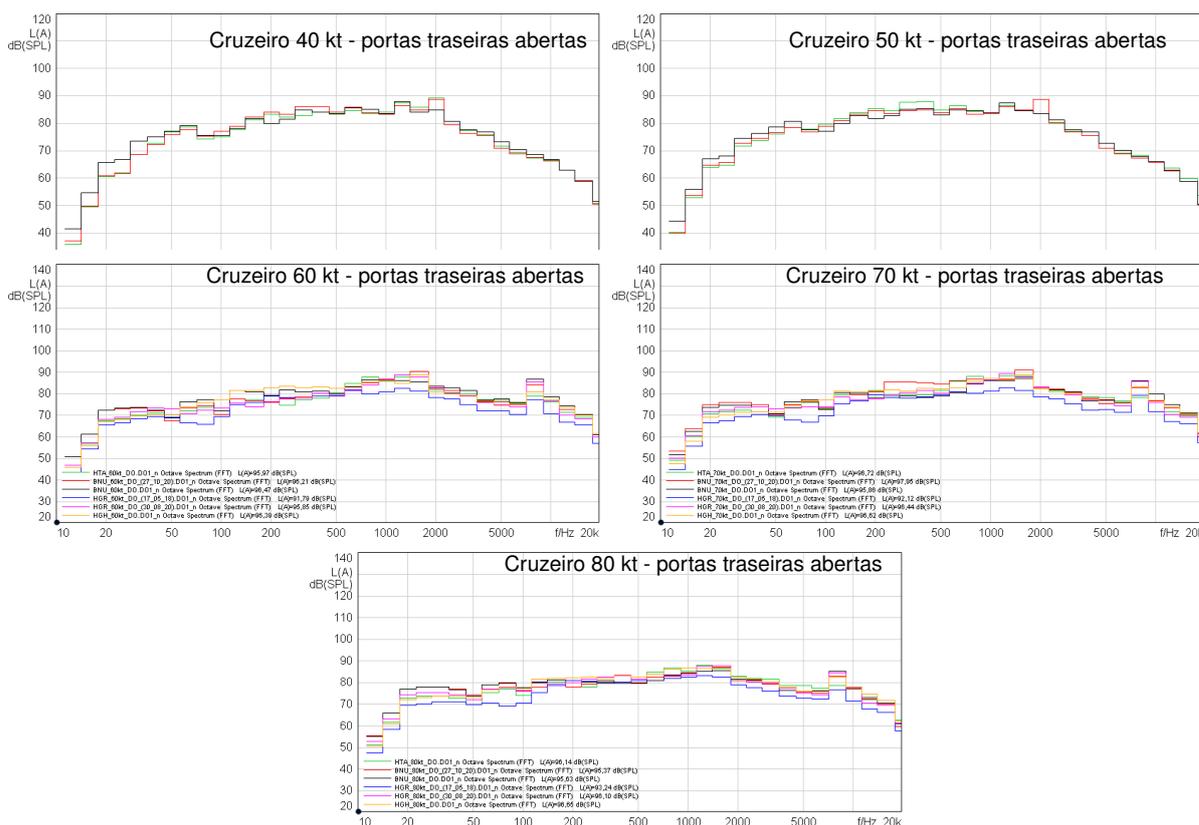


Figura 43 – Espectro de magnitude em 1/3 de oitava do NPS com ponderação C medidos no interior da aeronave AW119 MkII em diferentes velocidades de cruzeiro com as portas traseiras abertas (de 40 a 80 kt). Espectro obtido com a análise 1/3 oitava FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta)

4.1.1.3 Estatística geral dos NPSs globais

Os níveis de pressão sonora globais não ponderados e ponderados em A e C, medidos em diferentes condições de voo, bem como estatísticas básicas, como NPS médio, NPS mediano e desvios padrão são expostos nas Tabelas 19 e 20. Os NPS médio e mediano são muito semelhantes para todos os casos (NPSs não ponderados e ponderados em A e C), indicando que tanto a média quanto a mediana são medidas representativas de tendência central.

Dados obtidos no AW119 MkII durante IGE e Taxi apresentaram os maiores valores de desvio padrão pela instabilidade na direção do fluxo de vento do *downwash*, uma vez que o colchão de ar criado pelo rotor principal é modificado pela rugosidade do terreno, pelos ventos ou por pequenos deslocamentos da aeronave.

No AS350 B2 (Tabela 19) o L_{eq} aumenta até 4 dB quando a velocidade de cruzeiro da aeronave aumenta de 40 para 110 kt com todas as portas fechadas. Ao voar com a porta traseira esquerda aberta L_{eq} aumenta até 10 dB quando a velocidade de cruzeiro da aeronave aumenta de 40 para 110 nós.

No AW119 MkII (Tabela 20) o L_{eq} aumenta até 6 dB quando as velocidades de cruzeiro aumentam de 40 para 140 kt com todas as portas fechadas. Quando voado com ambas as portas traseiras abertas, o L_{eq} quase não apresenta alteração entre velocidades de 40 a 80 kt.

Tabela 19 – Média (M_e), mediana (M_d), desvio padrão (DP), valores mínimos (min) e máximos (máx) dos níveis globais equivalentes do NPS sem ponderação e com ponderação A e C medidos em diferentes aeronaves AS350 B2, durante diferentes operações com portas fechadas (DC) e com a porta traseira esquerda aberta (DO). Para pousos e decolagens $n = 6$, cruzeiro $n = 8$, demais operações $n = 7$.

Operação		L_{eq}					L_{Aeq}					L_{Ceq}				
		M_e	M_d	DP	min	máx	M_e	M_d	DP	min	máx	M_e	M_d	DP	min	máx
		[dB]					[dBA]					[dBC]				
IGE	(DO)	119	118	3	115	123	95	94	2	93	99	113	112	3	110	117
	(DC)	113	113	3	108	117	90	90	2	89	93	108	108	2	106	117
Taxi	(DO)	118	118	3	114	122	96	95	2	94	98	113	112	2	110	116
	(DC)	111	112	4	106	117	90	90	2	88	93	107	108	3	103	112
Decolagem $v_y=55kt$	(DO)	122	122	2	120	125	93	94	1	92	94	116	116	2	114	119
	(DC)	109	109	3	106	117	90	90	1	88	92	106	106	3	103	112
Cruzeiro 40kt	(DO)	122	122	2	119	125	95	95	1	93	96	117	117	2	113	119
	(DC)	109	108	3	106	117	89	89	2	84	92	106	106	3	103	111
Cruzeiro 50kt	(DO)	122	122	2	119	125	95	96	2	92	96	117	117	2	114	119
	(DC)	109	108	3	105	116	90	89	3	85	94	106	105	2	104	111
Cruzeiro 60kt	(DO)	122	122	2	118	125	96	96	1	93	96	117	117	2	113	119
	(DC)	109	108	3	107	116	90	89	3	86	95	106	105	2	103	111
Cruzeiro 70kt	(DO)	124	124	2	119	128	96	96	2	92	98	118	118	2	114	122
	(DC)	109	108	3	107	116	89	89	2	87	92	106	106	2	103	111
Cruzeiro 80kt	(DO)	126	126	2	122	130	96	96	1	93	97	121	120	2	119	124
	(DC)	110	110	3	107	116	90	90	1	87	92	107	107	2	104	111
Cruzeiro 90kt	(DO)	128	128	2	125	131	96	96	1	94	98	122	123	2	119	125
	(DC)	111	110	3	107	116	92	91	1	90	94	108	107	2	104	111
Cruzeiro 100kt	(DO)	129	129	2	126	131	97	97	1	96	99	123	124	2	119	125
	(DC)	112	111	3	108	116	93	93	2	92	97	109	108	2	105	112
Cruzeiro 110kt	(DO)	130	130	1	128	131	99	99	1	97	101	124	124	1	122	126
	(DC)	112	111	3	109	117	95	95	2	94	98	110	109	2	105	113
OGE 500ft AGL	(DO)	118	118	3	115	121	95	95	2	92	97	113	113	2	109	115
	(DC)	109	109	4	106	117	90	90	1	88	91	105	105	3	102	111
360° Esq.	(DO)	123	124	3	119	126	96	96	1	94	97	118	119	3	113	121
	(DC)	109	109	2	107	113	90	89	2	88	92	107	107	2	105	111
Pouso	(DO)	122	122	4	116	127	98	98	1	97	99	117	117	3	112	121
	(DC)	110	109	3	108	114	91	91	1	91	93	107	107	2	105	109

Tabela 20 – Média (M_e), mediana (M_d), desvio padrão (DP), valores mínimos (min) e máximos (máx) dos níveis globais equivalentes do NPS sem ponderação e com ponderação A e C medidos em diferentes aeronaves AW119 MkII, durante diferentes operações com portas fechadas (DC) e com as portas traseiras abertas (DO) ($n = 3$).

Operação		L_{eq}					L_{Aeq}					L_{Ceq}				
		M_e	M_d	DP	min	máx	M_e	M_d	DP	min	máx	M_e	M_d	DP	min	máx
		[dB]					[dBA]					[dBC]				
IGE	(DO)	115	115	1	114	116	101	103	4	96	103	113	113	1	112	113
	(DC)	113	111	3	111	117	97	96	2	95	99	109	107	3	107	112
Taxi	(DO)	115	115	1	115	116	103	104	5	98	104	113	113	1	112	114
	(DC)	112	112	0	111	112	95	95	1	94	95	108	108	0	108	108
Decolagem $v_y=60kt$	(DO)	117	115	5	114	123	98	98	0	98	98	114	112	5	111	120
	(DC)	116	116	0	116	116	96	96	0	95	96	112	113	1	112	113
ruzeiro 40kt	(DO)	117	116	2	116	120	96	96	0	96	97	114	113	2	113	116
	(DC)	118	118	0	118	118	95	95	1	94	96	113	114	1	112	114
Cruzeiro 50kt	(DO)	119	119	2	118	121	97	97	1	96	97	116	115	1	115	117
	(DC)	114	115	2	112	116	94	94	1	94	95	111	111	1	110	112
Cruzeiro 60kt	(DO)	118	116	5	115	123	96	96	1	95	97	115	113	4	112	119
	(DC)	113	115	3	110	115	94	94	1	93	95	110	111	2	108	111
Cruzeiro 70kt	(DO)	120	117	5	117	125	98	99	1	98	99	116	114	4	114	121
	(DC)	114	115	3	110	116	94	94	1	93	95	110	111	2	108	112
Cruzeiro 80kt	(DO)	119	118	3	111	116	99	100	1	94	96	116	116	3	109	112
	(DC)	114	116	3	117	123	95	96	1	98	100	111	112	2	114	119
Cruzeiro 90kt	(DC)	115	116	3	112	116	96	96	1	95	96	111	113	2	109	113
Cruzeiro 100kt	(DC)	115	115	2	112	116	97	97	1	96	97	111	112	2	109	113
Cruzeiro 110kt	(DC)	116	116	1	114	117	98	99	1	97	99	112	113	1	111	113
Cruzeiro 120kt	(DC)	120	120	2	117	121	99	100	1	98	100	116	116	2	114	117
Cruzeiro 130kt	(DC)	121	122	2	119	123	100	101	2	98	102	117	118	2	115	119
Cruzeiro 140kt	(DC)	123	124	3	120	124	102	103	3	99	104	119	120	2	116	120
OGE 800ft AGL	(DO)	111	111	0	106	111	97	97	0	93	94	108	108	0	104	108
	(DC)	109	111	3	110	111	93	93	0	97	98	106	107	2	108	109
360 Esq.	(DO)	119	118	4	109	117	97	97	1	94	95	116	115	4	107	113
	(DC)	114	116	4	116	123	94	94	1	96	98	111	112	3	113	120
Pouso	(DO)	118	119	3	115	116	100	100	0	100	101	115	116	3	114	115
	(DC)	116	116	1	115	121	100	100	1	99	100	115	115	1	112	116

4.1.2 Aeronaves de asas fixas

Para a análise dos resultados obtidos nas aeronaves de asas fixas é importante notar que cada modelo de aeronave possui um tipo diferente de motor e um regime operacional também diferente. Os modelos C210N, C206H, por exemplo, são monomotoras convencionais (um único motor a pistão), já o BE-55 é multimotora convencional (2 motores a pistão), enquanto o EMB-820C é multimotora a turbina (2 turbinas). Assim, para todas as aeronaves analisadas, haverá um regime diferente do motor para cada fase do voo, o que influenciará diretamente nos dados obtidos, e em particular nas BPF das hélices.

Nos modelos C210N e C206H, o regime de rotação do motor é cerca de 2700 rpm para decolagens, 2300 rpm durante voo de cruzeiro e por volta de 2500 rpm para subidas ou durante o pouso, enquanto para no BE-55 os motores operam a cerca de 2700 rpm para decolagens, 2300 rpm durante o voo de cruzeiro e cerca de 2500 rpm para subidas e pouso. O EMB-820C, por sua vez, possui duas turbinas e utiliza 100% da rotação da turbina durante as decolagens, o que equivale a aproximadamente 37500 rpm. Para o voo de cruzeiro, utiliza cerca de 85% de rpm (31875 rpm aproximadamente). Já para o pouso, utiliza novamente 100% rpm e cerca de 91% rpm (34125 rpm aproximadamente) para subidas e arremedidas. Tem-se que 100% de rotação da turbina corresponde a 2200 rpm das hélices.

As informações detalhadas sobre as configurações de voo utilizadas, quantidade de medições realizadas e dados das aeronaves de asa fixas estão resumidos na Tabela 21.

Tabela 21 – Número de medições e respectivas informações das configurações do voo e dos aviões

Prefixo	Config. de voo e nº de medições	Ano	Fabricante	Modelo
PR-EPH	Decolagem=1, Cruzeiro=5, Pouso=1	1981	Cessna	C210N
PP-IMA	Decolagem=1, Cruzeiro=7, Pouso=1	2001	Cessna	C206H
PT-JLE	Decolagem=6, Cruzeiro=15, Pouso=3	1973	Beechcraft	BE-55
PT-RFT	Decolagem=1, Cruzeiro=13, Pouso=1	1983	Embraer	EMB-820C

A Figura 44 demonstram os NPS global equivalente (com ponderação A e C e sem ponderação) para todas as medições realizadas nas aeronaves de asas fixas, sendo ($n = 7$) para o C206H, ($n = 5$) para o C210N, ($n = 15$) para BE-55 e ($n = 13$) para o EMB-820C.

4.1.2.1 Níveis de pressão sonora interna em função da frequência

As características gerais do ruído espectral durante o voo foram analisadas por meio de uma análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobrepo-

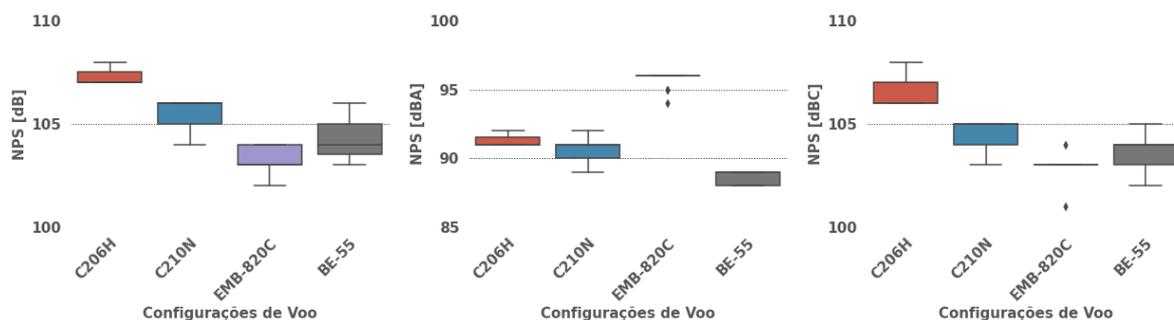


Figura 44 – Diagrama de caixas do NPS global equivalente sem ponderação (L_{eq}) e com ponderação A (L_{Aeq}) e C (L_{Ceq}) obtido nas aeronaves de asas fixas em suas respectivas velocidades de cruzeiro. Esquerda: NPS sem ponderação. Central: NPS ponderado em A. Direita: NPS ponderado em C.

sição de 50 %, largura de banda VFR alta) e são mostradas na Figura 45 para os modelos de aviões estudados (C210N, C206H, BE-55 e EMB-820C).

A Figura 45 mostra o espectro, em termos de NPS, do ruído no interior das aeronaves de asas fixas durante o voo de cruzeiro.

A partir do espectro, componentes tonais são encontradas correspondem à frequência de passagem de pás da hélice, para os modelos Cessna C210N e C206H, frequências, em aproximadamente 115 Hz e seus múltiplos, para o Beechcraft BE-55, 76.1 Hz e seus múltiplos, e para o Embraer EMB-820C, em 93 Hz e seus múltiplos.

Assim como nos helicópteros, as componentes tonais encontradas nestes modelos estão próximas ao limite inferior da audição humana. Desta forma, todas as análises foram feitas iniciando-se em 10 Hz.

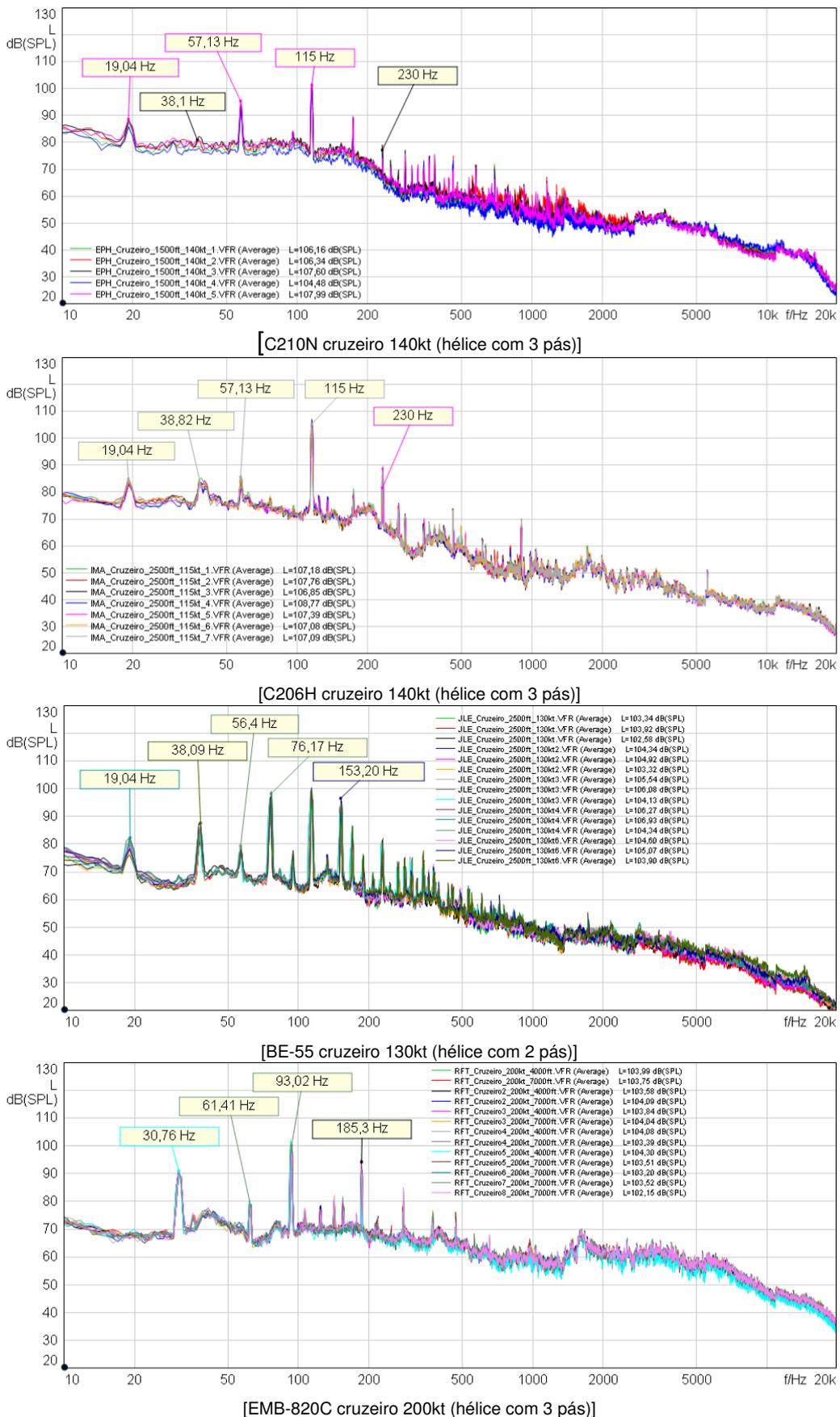


Figura 45 – Espectro em termos de níveis de pressão sonora medidos na cabine dos aviões durante o voo de cruzeiro. Espectro obtido com a análise VFR-FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50 %, largura de banda VFR alta).

4.1.2.2 Nível de Pressão Sonora com ponderação A

Nos voos aeromédicos utilizando aeronaves de asa fixa, como será visto no Capítulo 4.5, cerca de 70% do tempo total de voo pode ser considerado em cruzeiro. Desta forma, é razoável analisar o risco de perda auditiva apenas com base em dados para voo de cruzeiro. Os níveis de pressão sonora globais ponderados em A fornecidos nas Tabela 22 são, portanto, completados com os NPSs equivalentes globais ponderados em A de 1/3 de oitava L_{Aeq} , apresentados nas Figuras 46 e 47, para os modelos de asas fixas.

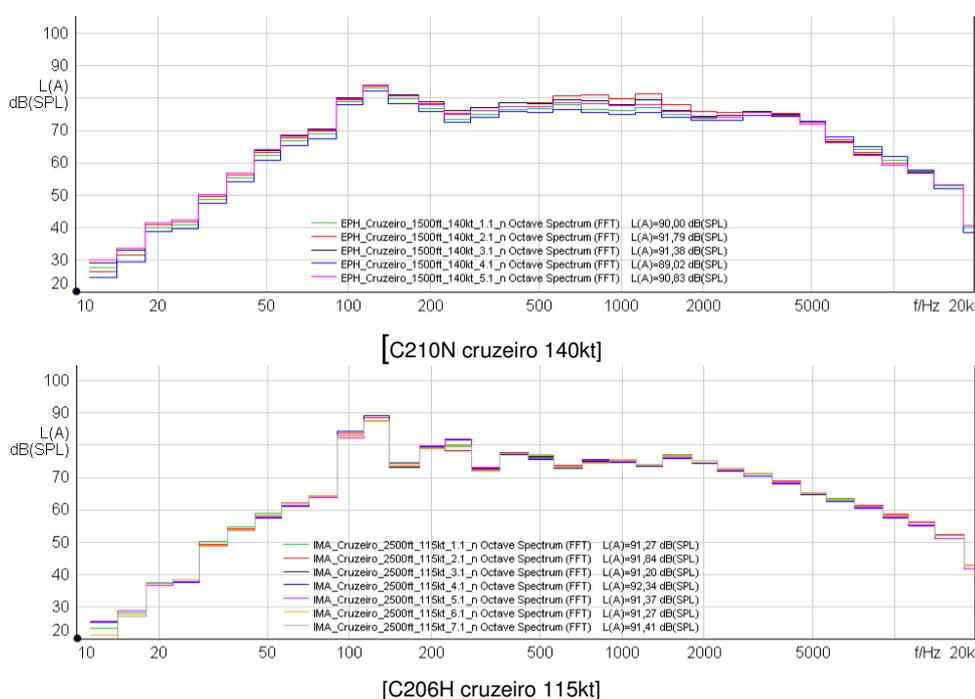


Figura 46 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos na cabine dos aviões Cessna durante o voo de cruzeiro. Espectro obtido com a análise 1/3 oitava FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta).

Para as aeronaves de asas fixas, as bandas mais relevantes de 1/3 de oitava L_{Aeq} foram encontradas entre 100 Hz e 5 kHz para todos os modelos analisados. Os valores obtidos da médias L_{Aeq} no C210N foram de 91 dBA a 140kt, no C206H de 92 dBA a 115kt, no BE-55 de 89 dBA a 130kt e no EMB-820C de 96 dBA a 200kt.

O BE-55 apresentou a menor média dos L_{Aeq} , já o EMB-820C apresentou a maior.

Ambos os modelos Cessna (210N e 206H) apresentaram aproximadamente a mesma média L_{Aeq} no interior da cabine, o que já era esperado, uma vez que ambas as aeronaves são muito semelhantes em design, rotações do motor, números de pás, volume interno, entre outras.

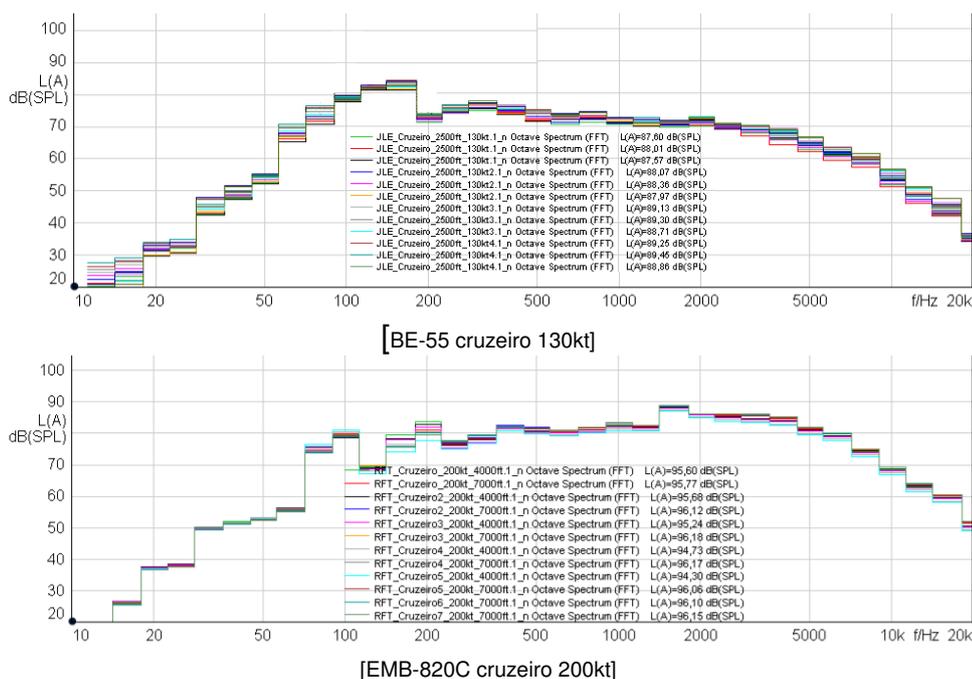


Figura 47 – Espectro em 1/3 de oitava do NPS com ponderação A medidos na cabine dos aviões BE-55 e EMB-820C durante o voo de cruzeiro. Espectro obtido com a análise 1/3 oitava FFT (número de amostras 4096, janela Hanning, sobreposição de 50%, largura de banda VFR alta).

4.1.2.3 Estatística geral dos NPSs globais

Os níveis de pressão sonora globais não ponderados e ponderados em A e C, medidos em diferentes condições de voo, bem como estatísticas básicas, como NPS médio, NPS mediano e desvios padrão são fornecidos na Tabela 22. Os NPS médio e mediano apresentaram valores muito semelhantes para todos os casos (NPSs não ponderados e ponderados em A e C), indicando que tanto a média quanto a mediana são medidas representativas de tendência central.

Ambos os modelos Cessna (210N e 206H), mesmo com motores diferentes, apresentaram valores globais de NPS equivalente similares, tanto para valores sem ponderação quanto para valores com ponderação em A e C. Os modelos C210N, C206H e EMB-820C possuem valores de NPS similares durante a decolagem e valores elevados durante o condições de cruzeiro. O BE-55 apresentou as menores médias L_{Aeq} durante as condições de cruzeiro mas as maiores médias L_{Aeq} durante a decolagem.

Tabela 22 – Média (M_e), Mediana (M_d), Desvio Padrão (DP), mínimos (mix) e máximos (máx) dos níveis globais equivalentes do NPS sem ponderação e com ponderação A e C medidos em diferentes aviões durante decolagem, cruzeiro e pouso.

Aeronave	Estágio do voo	n	L_{eq}			L_{Aeq}			L_{Ceq}		
			M_e	M_d	DP	M_e	M_d	DP	M_e	M_d	DP
			[dB]			[dBA]			[dBC]		
C210N	Decolagem	($n = 1$)	105*	-	-	90*	-	-	103*	-	-
	Cruzeiro 140 kt	($n = 5$)	105	106	1	91	91	1	104	106	0
	Pouso	($n = 1$)	109*	-	-	87*	-	-	105*	-	-
C206H	Decolagem	($n = 1$)	106*	-	-	91*	-	-	105*	-	-
	Cruzeiro 115 kt	($n = 7$)	107	107	1	92	91	-	107	106	1
	Pouso	($n = 1$)	108*	-	-	86*	-	-	104*	-	-
BE-55	Decolagem	($n = 6$)	113	113	1	97	97	1	112	112	1
	Cruzeiro 130 kt	($n = 15$)	104	104	1	89	89	1	104	104	1
	Pouso	($n = 3$)	108	109	1	91	91	0	107	107	0
EMB-820C	Decolagem	($n = 1$)	106*	-	-	91*	-	-	106*	-	-
	Cruzeiro 200 kt	($n = 13$)	103	103	1	96	96	1	103	103	1
	Pouso	($n = 1$)	101*	-	-	90*	-	-	99*	-	-

*Para condições com uma única medição ($n = 1$) é dado um único valor em vez da média

4.2 CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DA INCUBADORA

Neste seção, será apresentada a caracterização acústica da incubadora Fanem IT-158 Ts, utilizada para transportes de recém-nascidos. Na caracterização serão evidenciados os modos acústicos da cavidade e suas frequências naturais, a diferença entre os níveis de pressão sonora medidos dentro e fora da incubadora e o impacto da utilização das portinholas na configuração aberta e fechadas.

4.2.1 Modos acústicos de cavidade

Neste item serão apresentadas as análises dos modos acústicos da cavidade da incubadora e suas frequências naturais. A análise foi feita de forma analítica, por meio do cálculo das frequências dos modos axiais e por meio de método numérico, pela modelagem da cúpula da incubadora no software COMSOL Multiphysics™, versão 5.4.0.388.

4.2.1.1 Modos acústicos obtidos por modelagem analítica

As frequências naturais dos modos acústicos axiais, tangenciais e ortogonais foram determinados a partir da relação:

$$\omega_{lmn} = c_0 \pi \sqrt{l^2/L_x^2 + m^2/L_y^2 + n^2/L_z^2} \quad (1)$$

em que l , m e n são os índices dos ordens dos modos acústicos axiais, tangenciais e ortogonais, respectivamente. Os elementos L_x , L_y e L_z são as dimensões da cúpula nos seus respectivos eixos de referência.

Por se tratar de uma geometria com paredes inclinadas, o cálculo analítico dos modos acústicos tangenciais e ortogonais não representariam corretamente os valores reais. Desta forma, apenas os modos acústicos axiais e frequências naturais entre paredes paralelas foram calculados. É importante salientar que, neste caso, possuirá uma boa aproximação das frequências naturais, mas não das formas modais.

A Figura 48 apresenta as medições aproximadas das dimensões da cúpula da incubadora Fanem IT-158 TS. Novamente, por serem faces inclinadas, os valores medidos foram corrigidos para dimensões intermediárias, as quais podem ser encontradas na Tabela 23.

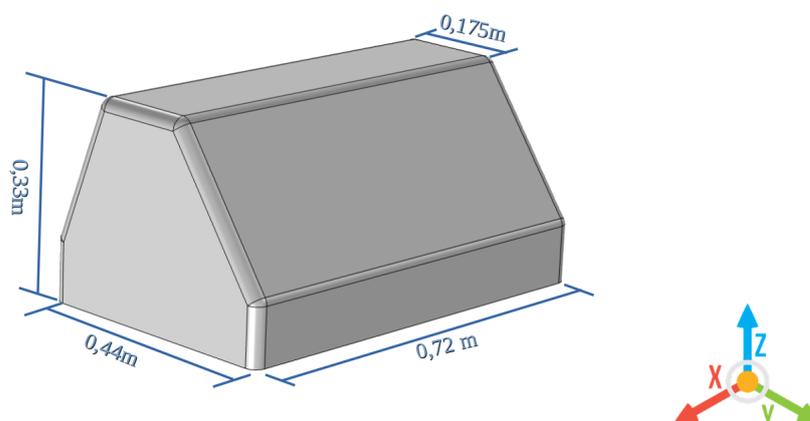


Figura 48 – Dimensões aproximadas da cúpula da incubadora Fanem IT-158 TS

Tabela 23 – Características utilizados para o cálculo analítico dos modos.

Velocidade Som (c_0)	345,12 m/s
Temperatura	23 °C
Comprimento (L_x)	0,72 m
Largura (L_y)	0,40 m
Altura (L_z)	0,31 m

A aplicação da Equação (1) e dos valores contidos na Tabela 23, resultaram nos modos acústicos de cavidade axiais e suas respectivas frequências naturais vistos na Tabela 24.

Tabela 24 – Comprimentos de ondas e frequências naturais dos modos axiais calculadas analiticamente com relação aos eixos x , y e z .

Modos axiais x				Modos axiais y			Modos axiais z		
l	λ [m]	ω_n [rad/s]	f_n [Hz]	m	ω_n [rad/s]	f_n [Hz]	n	ω_n [rad/s]	f_n [Hz]
1	1,45	1499	239	1	2730	435	1	3553	566
2	0,72	2998	477	2	5459	869	2	7106	1132
3	0,48	4497	716	3	8189	1304	3	10659	1697
4	0,36	5995	955	4	10919	1739	4	14212	2263
5	0,29	7494	1193	5	13648	2173	5	17765	2829
6	0,24	8993	1432	6	16378	2608	6	21318	3395
7	0,21	10492	1671	7	19108	3043	7	24871	3960
8	0,18	11991	1909	8	21837	3477	8	28425	4526
9	0,16	13490	2148	9	24567	3912	9	31978	5092
10	0,14	14989	2387	10	27297	4347	10	35531	5658

4.2.1.2 Modos acústicos obtidos por modelagem numérica

Para a determinação dos modos acústicos através do método de modelagem de elementos finitos, foi inicialmente desenhada a geometria (Figura 49) aproximada da cúpula da incubadora no software COMSOL Multiphysics™, versão 5.4.0.388.

Posteriormente foi atribuída à geometria a malha com cerca de 200.000 pontos e elementos triangulares de dimensões variadas, vista na Figura 49 e foi rodada a rotina para a definição dos modos.

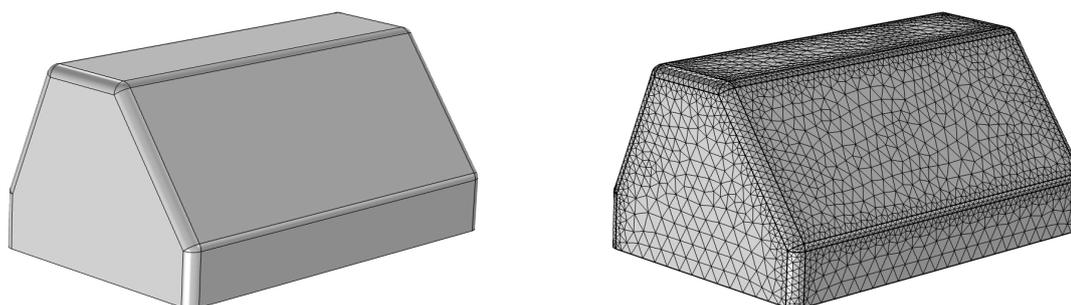


Figura 49 – Geometria e malha atribuída para a definição das frequências naturais através do software COMSOL Multiphysics™.

Após análise através do software, foi apresentada uma sequência de frequências naturais atribuídas à cúpula da incubadora, como pode ser visto na Tabela 25.

Tabela 25 – Frequências naturais obtidas através de modelagem e análise através do software COMSOL Multiphysics™.

f_n [Hz]	238,63	477,25	531,17	646,50	715,86	838,51	871,92	904,89
	435,25	496,85	582,77	714,69	805,84	841,27	892,20	937,50

Ao analisar as frequências naturais obtidas pelo método numérico e comparadas com as frequências obtidas via solução analítica, pode-se verificar a coerência dos dados, uma vez que frequências dos modos são bastante semelhantes.

É importante realçar as frequências do primeiro e segundo modo acústicos axiais, na direção x , 239 Hz e 477 Hz, respectivamente, uma vez que eles causam grande influência nos NPS medidos no interior da incubadora devido ao posicionamento dos microfones no interior da cúpula. O software também apresentou as imagens dos modos para as suas respectivas frequências naturais, como visto nas Figuras 50, 51, 52 e 53.

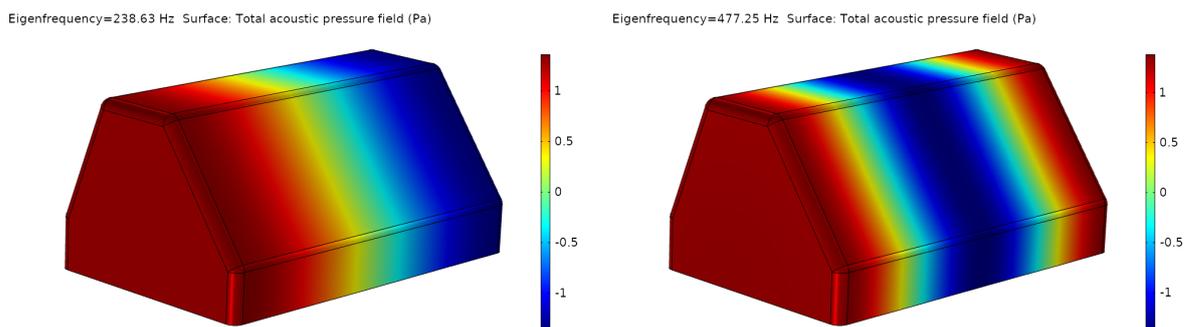


Figura 50 – Primeiro e segundo modo axial na direção x.

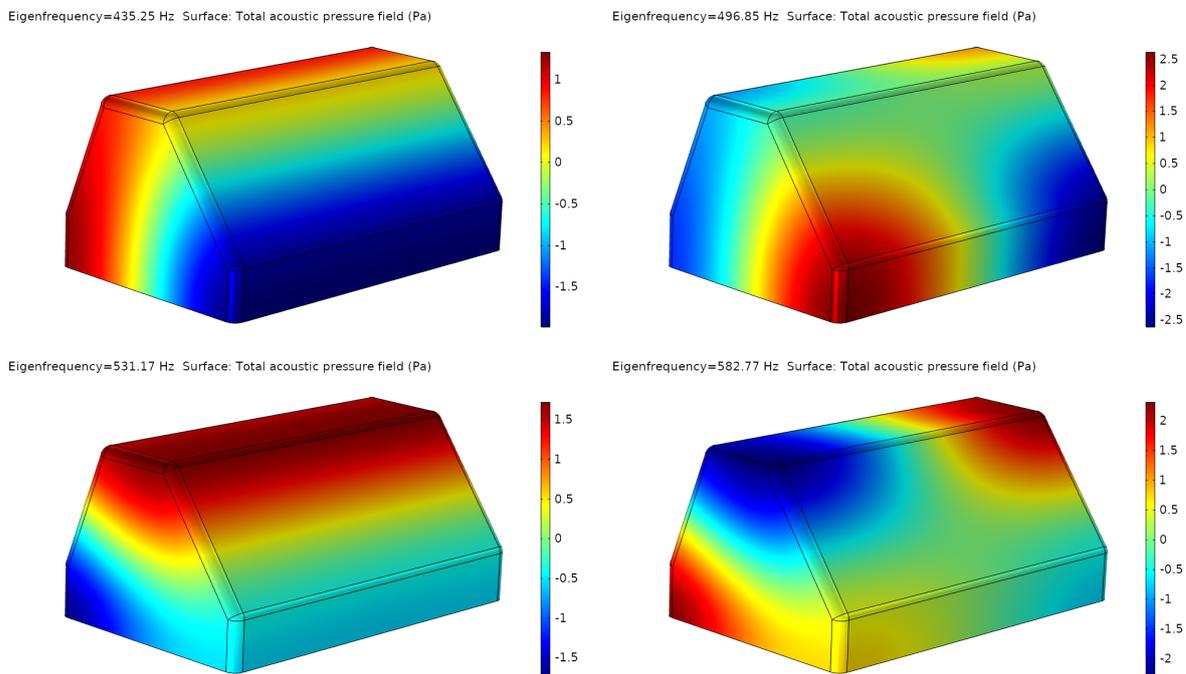


Figura 51 – Demais modos apresentados pelo software COMSOL (Parte 1).

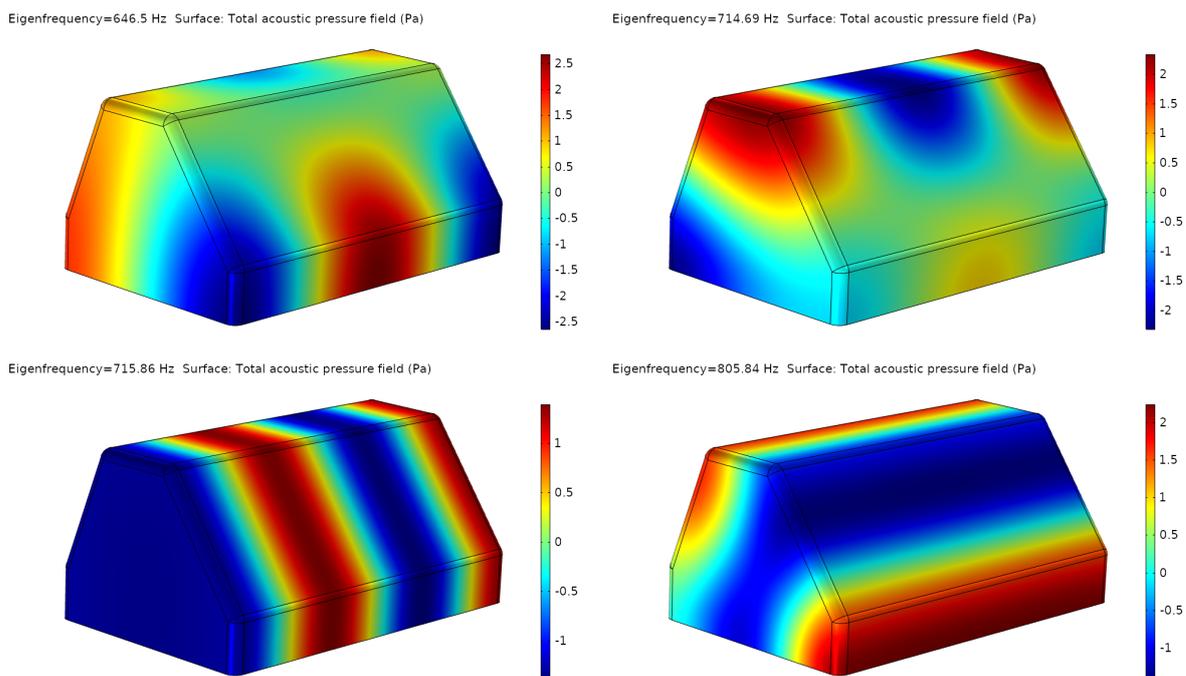


Figura 52 – Demais modos apresentados pelo software COMSOL (Parte 2).

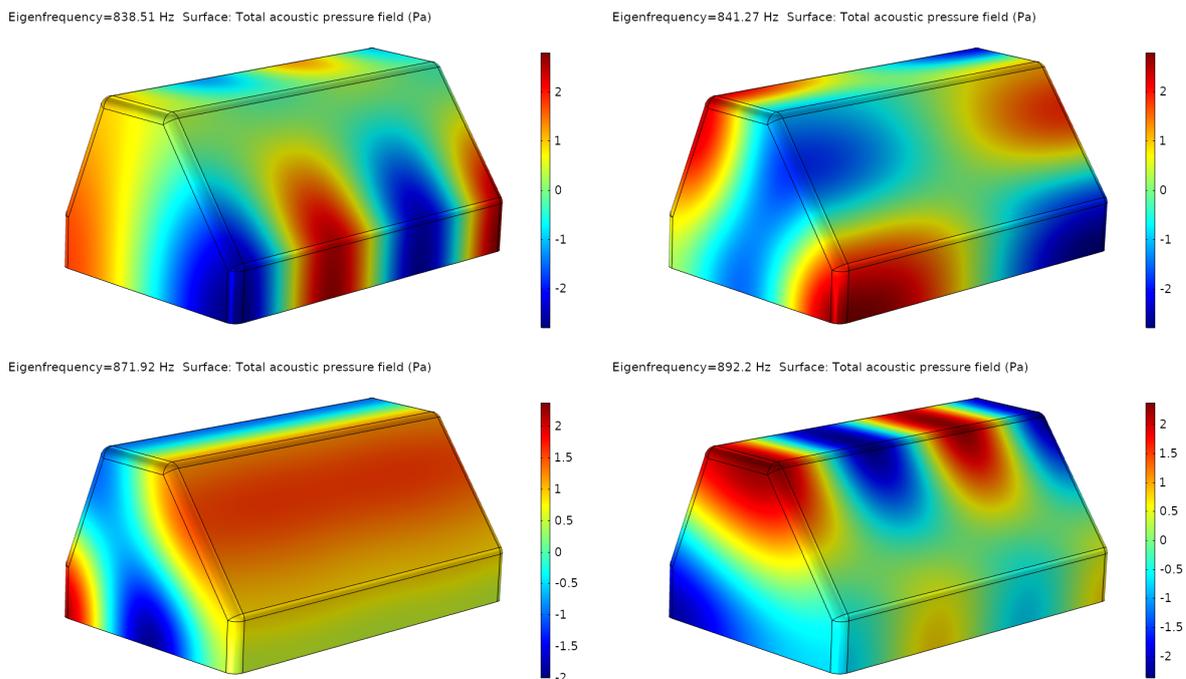


Figura 53 – Demais modos apresentados pelo software COMSOL (Parte 3).

4.2.2 Diferença entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora (Câmara Reverberante)

Conforme descrito no Capítulo 3, a incubadora foi instrumentada e colocada no interior da câmara reverberante 2, do Laboratório de Vibração e Acústica - LVA, da UFSC.

As medições dos NPS para a definição da diferença entre os níveis dentro e fora da incubadora foram realizadas com as portinholas todas fechadas e com a portinhola da cabeça aberta. Para facilitar o entendimento, a Figura 54 mostra a posição dos microfones no interior da cúpula. Os NPS equivalentes médios, com e sem ponderação, e a diferença entre o NPS no interior da incubadora e na câmara reverberante podem ser vistos da Tabela 26.



Figura 54 – Posição dos microfones no interior da cúpula da incubadora para as medições na câmara reverberante.

Tabela 26 – Diferença entre os NPS equivalentes médios ($n = 5$) medidos no interior da incubadora Fanem IT-158 TS e no exterior, na câmara reverberante, por microfone.

Configuração da portinhola	L_{eq} externo	Microfone	L_{eq} interno	Diferença
Portinholas Fechadas	103 dB	Mic 1	92 dB	-11
		Mic 2	93 dB	-10
		Mic 3	92 dB	-11
Portinhola da Cabeça Aberta	103 dB	Mic 1	94 dB	-9
		Mic 2	95 dB	-8
		Mic 3	94 dB	-9
Configuração da portinhola	L_{Aeq} externo	Microfone	L_{Aeq} interno	Diferença
Portinholas Fechadas	103 dBA	Mic 1	85 dBA	-18
		Mic 2	85 dBA	-18
		Mic 3	85 dBA	-18
Portinhola da Cabeça Aberta	103 dBA	Mic 1	89 dBA	-14
		Mic 2	87 dBA	-16
		Mic 3	88 dBA	-15

Ao se comparar os valores medidos com todas as portinholas fechadas e com a portinhola da cabeça aberta, há um incremento no NPS equivalente médio no interior da incubadora de cerca de 2 dB para todas as posições avaliadas. Os níveis de NPS equivalente médios medidos com ponderação "A" apresentam incrementos diferentes para cada posição sendo, cerca de 4 dB para a posição do Microfone 1, 2 dB para a posição do Microfone 2 e 3 dB para a posição do Microfone 3.

A diferença entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora, com as portinholas fechadas ou com a portinhola da cabeça, foi analisada também em bandas de 1/3 de oitavas e apresentados na Tabela 27.

Como esperado, a abertura da portinhola da cabeça afeta negativamente a diferença entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora em todo o espectro analisado e para todas posições de microfone, visto que a abertura da portinhola resulta em um aumento do vazamento do campo acústico para o interior da incubadora.

As Figuras 55 e 56 apresentam o gráfico da diferença entre os NPS medidos entre a câmara reverberante e o interior da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, com as portinholas fechadas e com a portinhola da cabeça aberta, respectivamente.

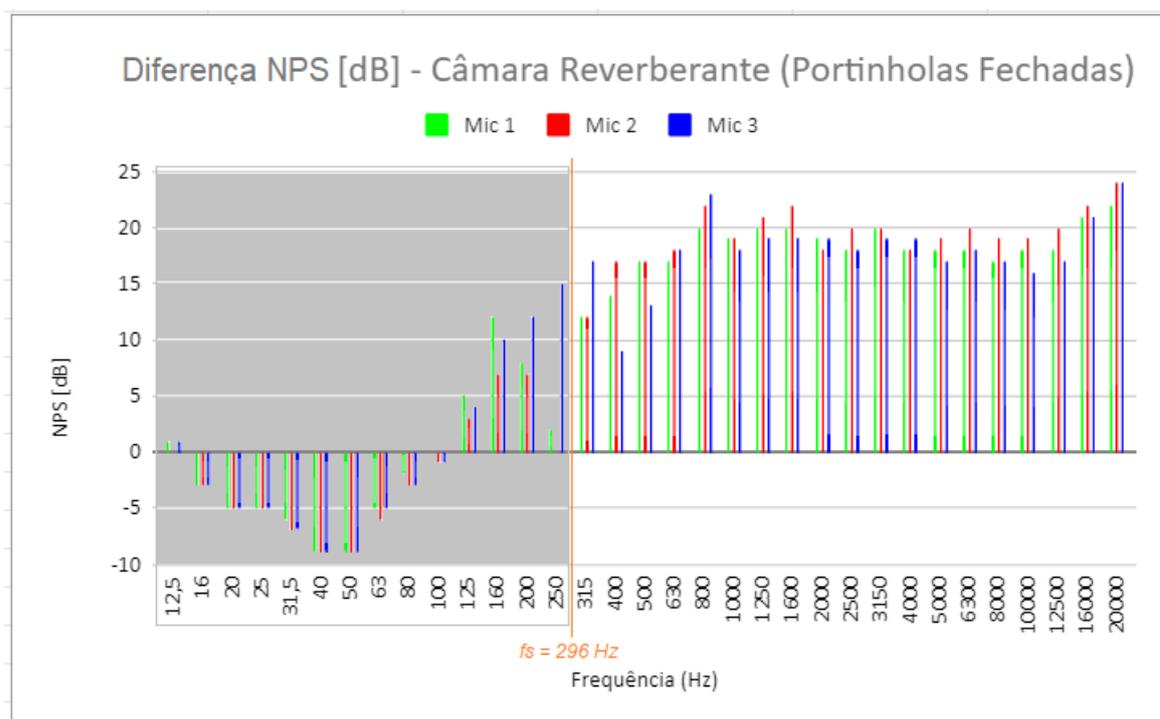


Figura 55 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora na câmara reverberante com as portinholas fechadas, em dB ($n = 5$).

Através das Figuras 55 e 56 é possível verificar que, para as frequências inferiores a 125 Hz, foram observados valores negativos da diferença entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora, indicando um aumento do NPS interno da incubadora ao se comparar com os valores incidentes.

Tabela 27 – Diferença entre o NPS médio ($n = 5$) medido no interior da incubadora Fanem IT-158 TS e no exterior, na câmara reverberante, em 1/3 de oitava, para cada posição de microfone.

Frequência (Hz)	Portinholas Fechadas			Portinhola Cab. Aberta		
	Mic 1	Mic 2	Mic 3	Mic 1	Mic 2	Mic 3
12,5	1	0	1	2	2	2
16	-3	-3	-3	-3	-3	-3
20	-5	-5	-5	-4	-4	-4
25	-5	-5	-5	-4	-4	-4
31,5	-6	-7	-7	-7	-8	-7
40	-9	-9	-9	-10	-11	-11
50	-9	-9	-9	-10	-11	-10
63	-5	-6	-5	-6	-7	-7
80	-2	-3	-3	-3	-5	-4
100	0	-1	-1	-2	-4	-4
125	5	3	4	3	0	1
160	12	7	10	12	4	8
200	8	7	12	7	5	11
250	2	0	15	0	-1	11
315	12	12	17	9	10	15
400	14	17	9	12	15	7
500	17	17	13	15	16	11
630	17	18	18	15	17	17
800	20	22	23	16	19	18
1k	19	19	18	17	17	15
1250	20	21	19	18	17	14
1600	20	22	19	16	17	16
2k	19	18	19	15	13	16
2500	18	20	18	13	16	15
3150	20	20	19	16	16	15
4k	18	18	19	14	17	15
5k	18	19	17	14	16	14
6300	18	20	18	15	17	15
8k	17	19	17	13	16	14
10k	18	19	16	14	15	13
12,5k	18	20	17	14	16	14
16k	21	22	21	16	19	18
20k	22	24	24	18	19	20

Esse fenômeno pode ser justificado por amplificação da pressão sonora interna por possíveis ressonâncias acústicas e estruturais do sistema, pelo fato de haver modos acústicos na câmara reverberante em baixas frequências, uma vez que a frequência de Schroeder juntamente é de aproximadamente 300 Hz e pelo elevado tempo de reverberação dentro da incubadora para frequências abaixo de 125 Hz (PUYANA-ROMERO *et al.*, 2020) e (PUYANA-ROMERO *et al.*, 2021).

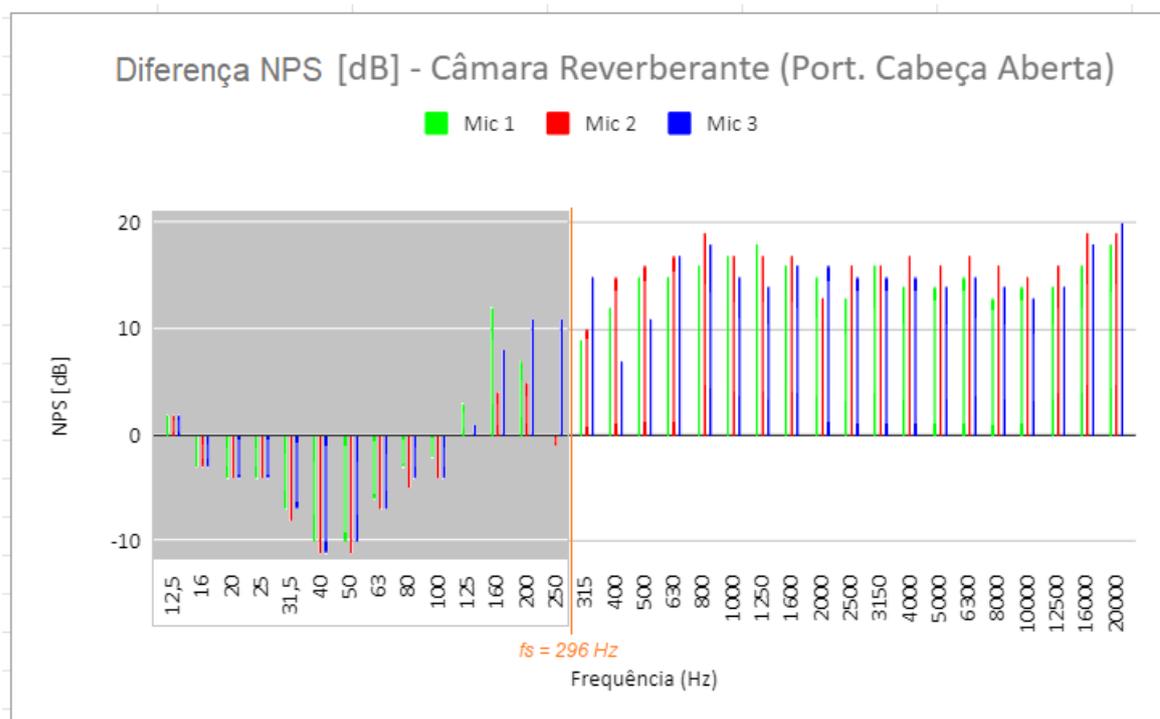


Figura 56 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora na câmara reverberante com a portinhola da cabeça aberta, em dB ($n = 5$).

Também é possível verificar que por volta da frequência de 250 Hz os Microfones 1 e 2 (posições possíveis para a cabeça) apresentam uma redução abrupta na diferença dos NPS medidos dentro e fora da incubadora e um aumento na diferença registrado pelo Microfone 3 (posicionado no centro geométrico da cúpula da incubadora), o que é justificado pela frequência natural do primeiro modo axial, visto anteriormente.

Da mesma forma, através das Figuras 55 e 56, observa-se entre as frequências de 400 e 500 Hz, uma redução abrupta na diferença dos NPS medidos dentro e fora da incubadora registrada pelo Microfone 3 e um aumento nas diferenças registradas pelos Microfones 1 e 2, correspondendo com a frequência natural do segundo modo axial e demais modos axiais e tangenciais, também visto na seção anterior.

Considerando o volume da câmara reverberante e no seu tempo de reverberação, foi possível calcular a frequência de Schroeder - f_s , a partir da qual, em tese, não temos mais influência dos modos acústicos no interior da sala. Para a câmara reverberante 2 do LVA da UFSC (193m^3), a frequência de Schroeder calculada foi de 296 Hz. Desta forma, foram desconsideradas todas as frequências inferiores a 296 Hz, resultando nas Figuras 57 e 58 .

É possível notar que os menores valores da diferença entre o NPS, sem ponderação, medido dentro e fora da incubadora, com configuração de portinholas fechadas e para o Microfone 1 (posição da cabeça), são encontrados na frequência de 315 Hz (12 dB). A partir desta frequência, a diferença torna-se mais evidente apresentando valores constantes entre 18dB a 22dB, em toda a faixa de frequência, conforme

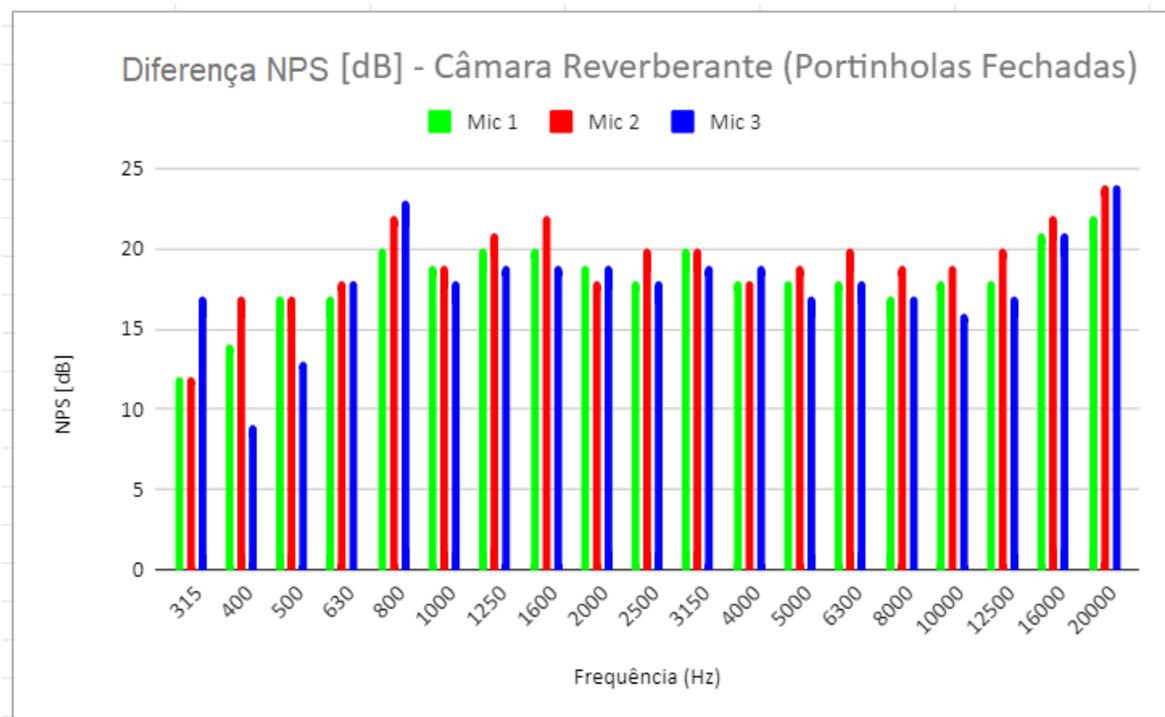


Figura 57 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora, na câmara reverberante com as portinholas fechadas, em dB, em frequências superiores a de Schroeder ($n = 5$).

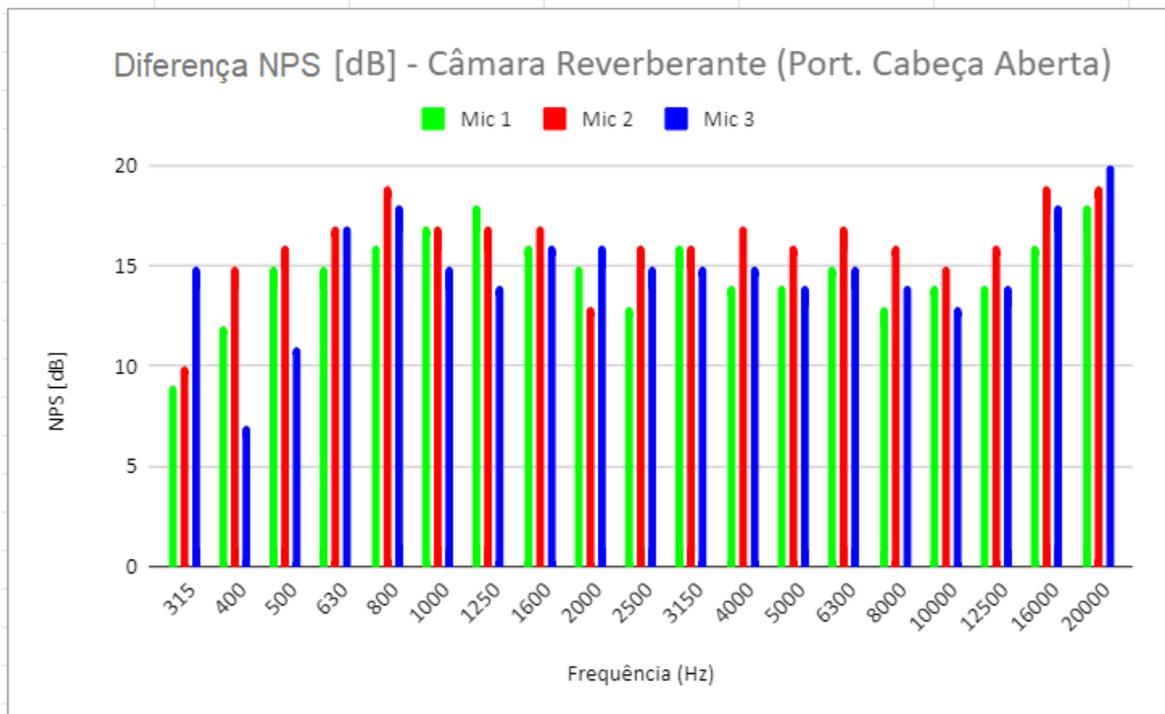


Figura 58 – Diferença média entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora, na câmara reverberante com a portinhola da cabeça aberta, em dB, em frequências superiores a de Schroeder ($n = 5$).

observado na Figura 57.

Fazendo-se a mesma análise para os valores da diferença entre os NPS, sem ponderação, medidos dentro e fora da incubadora, para a configuração da portinhola da cabeça aberta e para o Microfone 1 (posição da cabeça), os valores obedecem a mesma lógica anterior, porém com incrementos até a faixa de 1250 Hz. Para a faixa de 315 Hz a diferença é de cerca de 9 dB com aumento até 18 dB na faixa de 1250 Hz, 15 dB até 12,5 kHz e o maior valor de 18 dB na banda de 20kHz.

Como já visto anteriormente, os valores da diferença dos NPS dentro e fora da incubadora, mensurados pelos microfones, variam conforme as suas posições, devido aos modos acústicos de cavidade.

É possível observar que para os Microfones 1 e 2, na configuração das portinholas fechadas, os valores e variações são bastante semelhantes, o que é esperado uma vez que estão localizados em posições simetricamente opostas ao ponto médio (Microfone 3).

Agora, na configuração da portinhola da cabeça aberta, o Microfone 1 apresenta valores de diferença ligeiramente inferiores aos valores do Microfone 2, o que também é esperado, pois o Microfone 1 foi posicionado muito próximo da portinhola da cabeça.

4.3 DIFERENÇA DO NPS DENTRO E FORA DA INCUBADORA DURANTE O VOO

Neste seção, serão apresentados os resultados obtidos nas medições do NPS no interior das aeronaves (asas fixas e rotativas) e no interior da incubadora (modelo Fanem IT-158 TS), em diversas configurações e de voo e velocidades.

4.3.1 Diferença do NPS dentro e fora da incubadora nas aeronaves de asas rotativas

4.3.1.1 Diferença do NPS dentro e fora da incubadora nas aeronaves AS350

Como já visto anteriormente, a aeronave AS350 B2 não dispõe de grande espaço interno, contudo há espaço suficiente para acomodar a incubadora e a tripulação, assim somente serão analisadas as configurações com a porta fechada. Da mesma forma, por se tratar de um voo de transporte aeromédico, somente serão utilizadas as maiores velocidades de cruzeiro (100 e 110 kt).

A Tabela 28 apresenta o resumo das velocidades e configurações que foram utilizadas para avaliar o NPS medido no interior da cabine e no interior da incubadora, possibilitando calcular a diferença destes valores em banda de 1/3 de oitava.

Tabela 28 – Condições de avaliação da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo nas aeronaves AS350 B2.

Configuração de Voo	Configuração de Porta Traseira
100 kt 110 kt	Porta Fechada (DC)

As Figuras 59 e 60 apresentam os NPS médios medidos no interior das cabines das aeronaves AS350 B2 e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo, para as maiores velocidades de cruzeiro (100 e 110 kt) e diferença média do NPS dentro e fora da incubadora referente às respectivas velocidades.

Assim como na câmara reverberante, observou-se a existência de diferenças de NPS negativas para frequências baixas, resultando em um aumento do nível de pressão sonora no interior da incubadora para essas frequências.

Como já relatado no Capítulo 4.2, este fenômeno pode ser justificado por possíveis ressonâncias acústicas e estruturais do sistema, juntamente com o elevado tempo de reverberação dentro da incubadora para frequências abaixo de 125 Hz.

Nas Figuras 59 e 60, é possível notar que a partir de 125 Hz há um aumento da diferença do NPS dentro e fora da incubadora até a faixa entre 200 e 250 Hz, onde há uma redução dessa diferença. Esta região de frequência corresponde à faixa do primeiro modo axial ($f=239$ Hz), na direção x , o que, de fato, ocasiona os menores níveis de diferença dos NPS devido ao posicionamento dos microfones. Os valores deveriam ser ainda menores, perto de zero, contudo isso é diretamente impactado

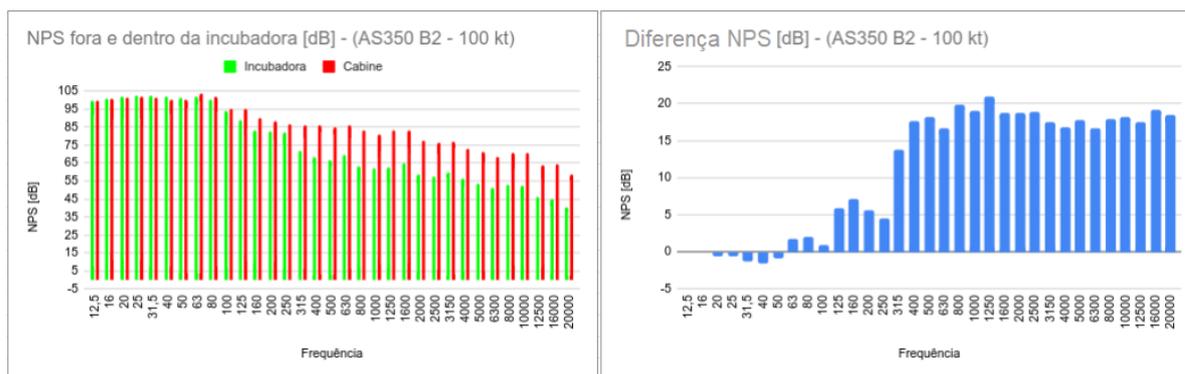


Figura 59 – **Esquerda:** Níveis de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 7$) no interior da cabine da aeronave AS350 B2 ($n=7$) e na incubadora Fanem IT-158 TS com as portinholas fechadas medidos durante o voo de cruzeiro a 100 kt com portas fechadas e, **Direita:** Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora ($n = 7$) apresentada pela incubadora (portinholas fechadas) para a respectiva velocidade.

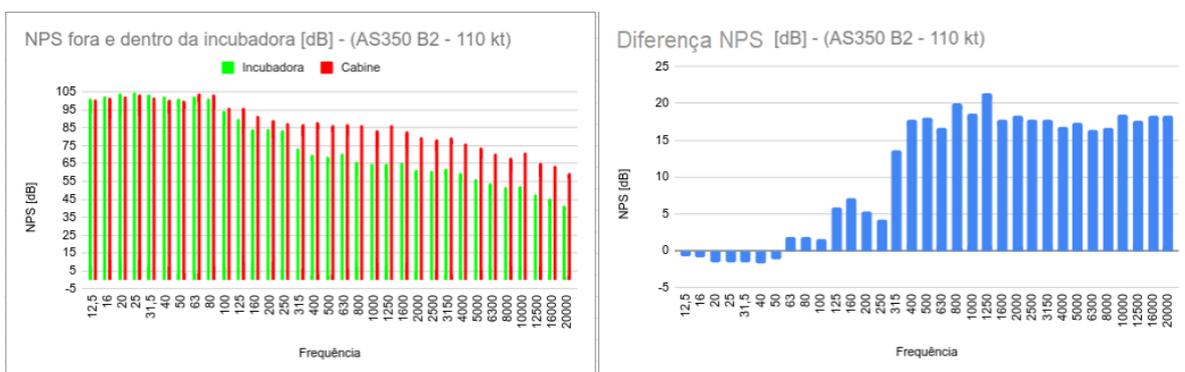


Figura 60 – **Esquerda:** Níveis de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 7$) no interior da cabine da aeronave AS350 B2 ($n=7$) e na incubadora Fanem IT-158 TS medidos durante o voo de cruzeiro a 110 kt com portas fechadas e, **Direita:** Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora ($n = 7$) apresentada pela incubadora para a respectiva velocidade.

pela posição do microfone no interior da incubadora. Pelo fato dos microfones serem afixados na cúpula através de fita adesiva e antes de cada dia de medição, há uma pequena diferença nas suas posições para cada dia. Também não foi possível afixar os microfones exatamente na linha média da cúpula. Essa pequena alteração do posicionamento do microfone causa a discrepância mencionada.

Apesar de não terem sido gerados os gráficos da diferença de NPS para as demais velocidades, esses valores foram analisados e serão apresentados na Tabela 29.

A Tabela 29 faz um resumo dos NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior das cabines das aeronaves AS350 B2 e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, para todas as velocidades de voo de cruzeiro, de 40 a 110 kt e sempre com as portas fechadas.

Tabela 29 – NPS equivalentes médios ($n = 7$), sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior das cabines das aeronaves AS350 B2 e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, em diversas velocidades de voo de cruzeiro com as portas fechadas.

Velocidade	Local de medição	L_{eq}	Diferença	L_{Aeq}	Diferença
Decolagem	Cabine Incubadora	110 dB	0	89 dBA	8
		110 dB		81 dBA	
40 kt	Cabine Incubadora	109 dB	-1	89 dBA	9
		110 dB		81 dBA	
50 kt	Cabine Incubadora	109 dB	-1	90 dBA	9
		110 dB		81 dBA	
60 kt	Cabine Incubadora	109 dB	-1	90 dBA	9
		110 dB		81 dBA	
70 kt	Cabine Incubadora	109 dB	0	90 dBA	9
		109 dB		81 dBA	
80 kt	Cabine Incubadora	110 dB	0	90 dBA	8
		110 dB		82 dBA	
90 kt	Cabine Incubadora	111 dB	0	92 dBA	9
		111 dB		83 dBA	
100 kt	Cabine Incubadora	112 dB	0	94 dBA	9
		112 dB		84 dBA	
110 kt	Cabine Incubadora	113 dB	0	95 dBA	10
		113 dB		86 dBA	
Pouso	Cabine Incubadora	110 dB	-1	91 dBA	8
		111 dB		83 dBA	

Observa-se que não há diferença entre os L_{eq} (sem ponderação) medidos no interior da incubadora e na cabine. Já ao analisarmos os L_{Aeq} com ponderação "A", observa-se uma diferença de até 10 dB².

A análise da diferença do NPS dentro e fora da incubadora é detalhada por meio da Tabela 30, por banda de 1/3 de oitava, da incubadora Fanem IT-158 TS na aeronave AS350 B2, durante voo de cruzeiro em diversas velocidades com as portas fechadas.

É possível notar que até cerca de 250 Hz a incubadora é quase transparente às ondas sonoras, causando pouca ou quase nenhuma diferença entre os NPS equivalentes médios de dentro e fora da incubadora. Para frequências superiores a 250 Hz a incubadora começa a apresentar valores mais altos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora, até 22 dB na banda de 1250 Hz, a 50 kt. Em média há uma diferença de 18 dB, por banda de 1/3 de oitava, para frequências acima de 250 Hz.

Ao se comparar os resultados da diferença do NPS medidos dentro e fora da incubadora FANEM IT-158 TS na câmara reverberante e durante o voo, percebe-se que há uma redução considerável dos valores. Isto se deve ao fato de que durante o voo

² Considera-se que diferenças entre níveis de pressão sonora, mesmo sendo NPS ponderados em A, são expressos em dB já que não se aplica a ponderação à diferença em si.

Tabela 30 – Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) ($n = 7$), durante o voo, nas aeronaves AS350 B2, em diversas velocidades.

freq. [Hz]	40kt	50kt	60kt	70kt	80kt	90kt	100kt	110kt
12,5	1	0	0	0	1	0	0	-1
16	0	0	0	0	1	0	0	-1
20	0	0	0	0	0	0	-1	-2
25	0	0	0	0	0	0	-1	-2
31,5	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-2
40	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-2
50	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1
63	1	1	2	1	1	1	2	2
80	0	0	1	1	1	1	2	2
100	-3	-2	-1	-1	0	1	1	2
125	5	5	7	6	6	6	6	6
160	7	7	8	7	7	7	7	7
200	5	5	5	5	5	6	6	5
250	4	4	4	4	4	4	4	4
315	12	13	13	13	14	14	14	14
400	15	16	16	17	17	17	18	18
500	16	17	17	17	18	18	18	18
630	17	18	18	17	17	17	17	17
800	19	20	20	20	20	20	20	20
1k	19	19	19	19	19	19	19	19
1250	21	22	21	21	21	21	21	21
1600	18	18	18	16	15	18	19	18
2k	20	21	21	20	19	20	19	18
2500	20	21	21	20	20	19	19	18
3150	19	20	20	19	18	18	17	18
4k	19	19	19	18	17	17	17	17
5k	17	17	18	17	17	17	18	17
6300	16	16	17	16	16	17	17	16
8k	19	19	19	18	18	18	18	17
10k	20	20	20	19	19	19	18	19
12,5k	17	18	18	17	17	18	17	18
16k	19	20	20	19	19	20	19	18
20k	16	18	18	17	17	18	18	18

a incubadora está submetida à vibrações estruturais que causam uma excitação nas paredes da incubadora e da cúpula, gerando sons e reduzindo a diferença aparente.

Estatísticas detalhadas da diferença do NPS medidos dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo de cruzeiro a 100 kt e a 110 kt nas aeronaves AS350 B2 com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, são apresentadas nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 31 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo de cruzeiro a 100 kt nas aeronaves AS350 B2 com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 7$).

Freq. [Hz]	Média	DP	min	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	máx
12,5	-0,02	0,88	-0,95	-0,47	-0,16	0,09	1,76
16	-0,07	0,86	-0,97	-0,52	-0,23	0,05	1,66
20	-0,64	0,75	-1,15	-1,12	-1,01	-0,47	0,88
25	-0,64	0,75	-1,15	-1,12	-1,01	-0,47	0,88
31,5	-1,37	1,07	-2,69	-2,03	-1,34	-1,03	0,57
40	-1,62	1,01	-2,65	-2,45	-1,52	-1,22	0,17
50	-0,95	1,38	-2,94	-1,95	-0,09	0,02	0,19
63	1,75	4,80	-3,06	-1,34	0,52	4,37	8,70
80	1,98	5,02	-2,47	-1,28	0,15	4,78	9,17
100	0,94	2,88	-2,25	-1,68	1,13	3,06	4,92
125	5,87	2,62	2,61	3,44	6,94	8,02	8,63
160	7,12	2,78	4,07	4,94	6,02	9,53	10,76
200	5,59	1,20	3,81	4,90	5,59	6,34	7,24
250	4,45	1,74	1,21	3,89	4,62	5,41	6,70
315	13,79	2,16	11,62	12,21	13,08	15,01	17,42
400	17,64	1,87	14,37	16,70	18,37	18,65	20,07
500	18,19	1,67	14,98	17,77	18,64	19,08	20,03
630	16,66	0,95	15,52	15,91	16,52	17,40	17,97
800	19,84	2,78	16,23	17,84	20,47	21,66	23,18
1k	19,00	2,25	16,82	17,37	18,60	20,07	22,72
1250	20,92	3,76	14,01	19,66	21,50	23,63	24,38
1600	18,72	3,76	14,56	17,12	18,52	18,58	26,54
2k	18,82	2,34	16,60	16,79	18,21	20,68	21,99
2500	18,92	2,82	16,25	17,15	18,10	19,96	23,83
3150	17,49	2,41	14,40	15,72	17,71	18,90	21,10
4k	16,85	2,09	14,73	15,27	15,65	18,73	19,55
5k	17,73	1,90	15,00	16,86	17,48	18,37	21,17
6,3k	16,74	1,84	13,53	15,92	16,80	17,98	19,10
8k	17,95	1,98	14,49	17,79	17,87	18,22	21,29
10k	18,15	1,74	14,66	17,78	18,70	19,09	19,96
12,5k	17,45	2,60	13,32	15,88	17,38	19,61	20,48
16k	19,15	2,16	15,93	18,02	18,67	20,48	22,49
20k	18,50	3,36	13,32	16,38	19,58	20,16	23,51

Tabela 32 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo de cruzeiro a 110 kt nas aeronaves AS350 B2 com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 7$).

Freq. [Hz]	Média	DP	min	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	máx
12,5	-0,75	1,14	-1,88	-1,32	-1,08	-0,65	1,63
16	-0,83	1,15	-2,00	-1,39	-1,13	-0,72	1,54
20	-1,62	1,37	-3,47	-2,27	-1,59	-1,32	0,88
25	-1,62	1,37	-3,47	-2,27	-1,59	-1,32	0,88
31,5	-1,62	0,97	-2,62	-2,11	-2,00	-1,41	0,32
40	-1,78	0,82	-3,04	-2,15	-1,74	-1,48	-0,41
50	-1,17	1,53	-3,46	-1,99	-1,18	-0,28	0,99
63	1,85	5,35	-3,25	-1,47	-0,46	4,97	9,63
80	1,91	5,00	-2,85	-1,19	-0,36	4,94	9,07
100	1,62	3,13	-1,49	-1,10	1,04	3,75	6,45
125	5,92	2,46	2,94	3,64	6,84	7,62	9,12
160	7,08	2,80	3,68	5,12	6,53	9,08	10,98
200	5,40	1,19	3,95	4,37	5,76	6,10	7,13
250	4,29	2,16	0,51	3,92	4,19	4,86	7,75
315	13,66	2,25	11,26	12,32	12,58	14,70	17,70
400	17,85	1,96	14,19	17,11	18,67	18,78	20,27
500	18,08	1,55	15,35	17,48	18,56	18,85	19,99
630	16,67	1,05	15,76	16,11	16,15	17,13	18,32
800	19,99	3,17	15,92	17,89	20,04	22,09	24,03
1k	18,68	2,92	15,44	16,31	18,76	20,36	23,25
1250	21,38	3,84	14,44	19,63	22,49	24,12	25,21
1600	17,76	2,64	14,28	16,23	18,19	18,46	22,51
2k	18,35	2,20	15,90	16,44	18,76	19,72	21,48
2500	17,84	1,99	15,73	16,60	17,04	18,75	21,41
3150	17,78	2,10	14,97	16,41	17,00	19,65	20,35
4k	16,83	2,26	14,66	15,13	15,28	18,92	19,80
5k	17,35	2,08	14,97	15,81	16,87	18,66	20,67
6,3k	16,42	1,96	13,62	15,14	16,19	17,94	18,97
8k	16,63	1,65	14,61	15,15	17,14	17,86	18,65
10k	18,50	1,77	16,04	17,35	18,74	19,36	21,33
12,5k	17,71	2,07	15,39	15,95	17,59	19,16	20,77
16k	18,31	1,81	16,33	16,70	18,13	19,89	20,53
20k	18,31	3,02	14,86	15,76	18,87	19,88	23,17

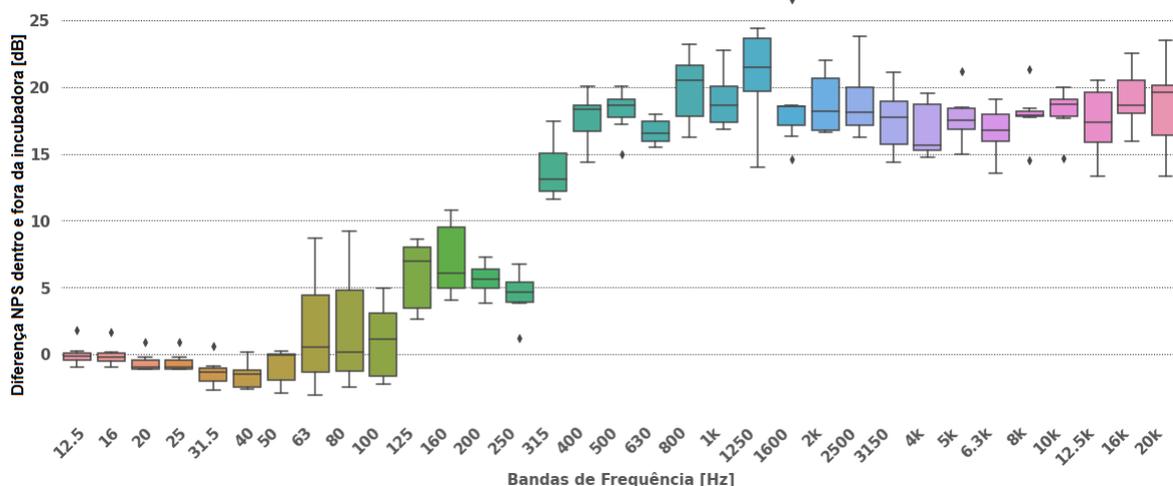


Figura 61 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo nas aeronaves AS350 B2, em voo de cruzeiro a 100 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 7$).

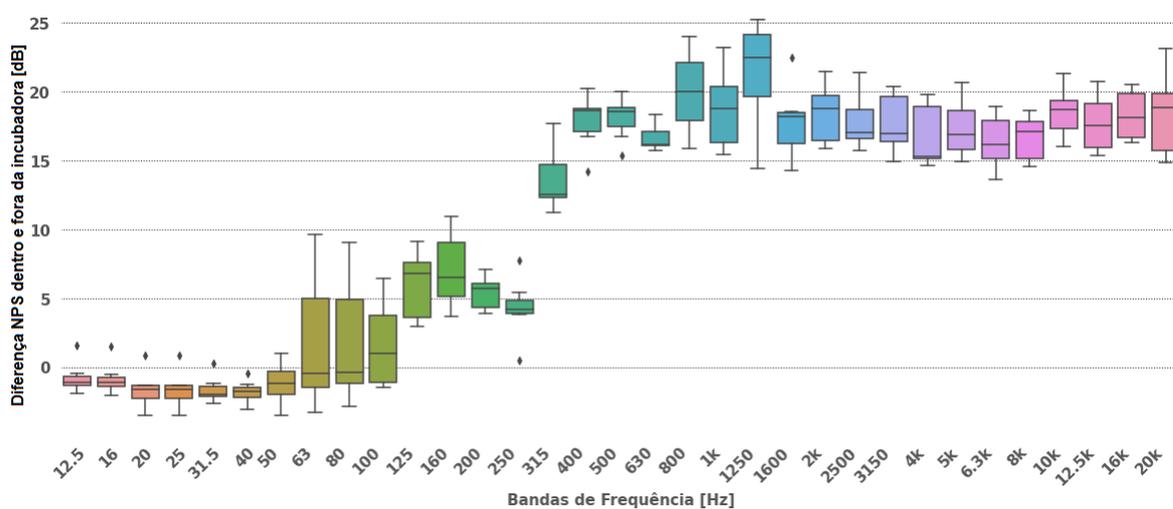


Figura 62 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em dB, durante o voo nas aeronaves AS350 B2, em voo de cruzeiro a 110 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 7$).

4.3.1.2 Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave AW119

Assim como na aeronave AS350 B2, por se tratar de um voo de transporte aeromédico, para possibilitar a comparação entre as aeronaves de asas rotativas, serão analisadas as velocidades de 100 e 110 kt (portas fechadas), juntamente com as maiores velocidades de cruzeiro desenvolvidas por este modelo de aeronave (130 e 140 kt), novamente com todas as portas fechadas.

A Tabela 33 apresenta o resumo das velocidades e configurações que foram utilizadas para avaliar os níveis de pressão sonora medidos no interior da cabine e no interior da incubadora, possibilitando calcular a diferença destes níveis em banda de 1/3 de oitava.

Tabela 33 – Condições de avaliação da diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo nas aeronaves AW119 MkII.

Configuração de Voo	Configuração de Porta Traseira
100 kt	Porta Fechada (DC)
110 kt	
130 kt	
140 kt	

As Figuras 63, 64, 65 e 66 apresentam o NPS médio medido no interior da cabine da aeronave AW119 MkII e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo, para as velocidades de cruzeiro selecionadas e a diferença média do NPS medido dentro e fora da incubadora em sua respectiva velocidade.

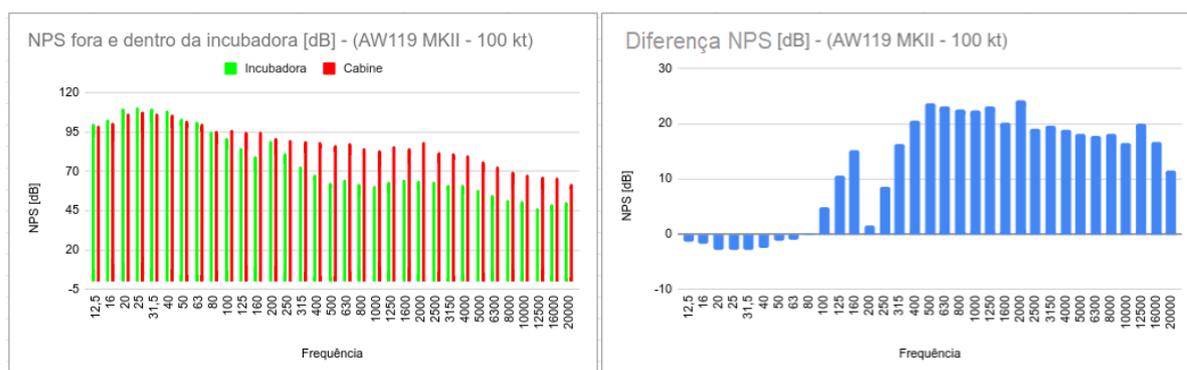


Figura 63 – **Esquerda:** Níveis de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 3$) no interior da cabine da aeronave AW119 MkII ($n=3$) e na incubadora Fanem IT-158 TS com as portinholas fechadas medidos durante o voo de cruzeiro a 100 kt com portas fechadas e, **Direita:** Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora (portinholas fechadas) para a respectiva velocidade.

Novamente há o aparecimento de diferenças de NPS negativas para baixas frequências e uma redução do NPS equivalente médio (sem ponderação) nas frequências entre 200 e 250 Hz.

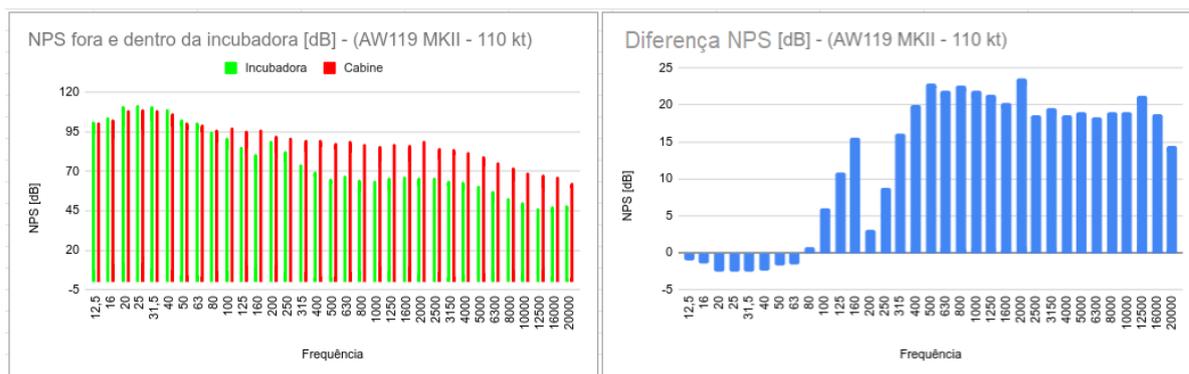


Figura 64 – **Esquerda**: Níveis de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 3$) no interior da cabine da aeronave AW119 MkII ($n=3$) e na incubadora Fanem IT-158 TS com as portinholas fechadas medidos durante o voo de cruzeiro a 110 kt com portas fechadas e, **Direita**: Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora (portinholas fechadas) para a respectiva velocidade.

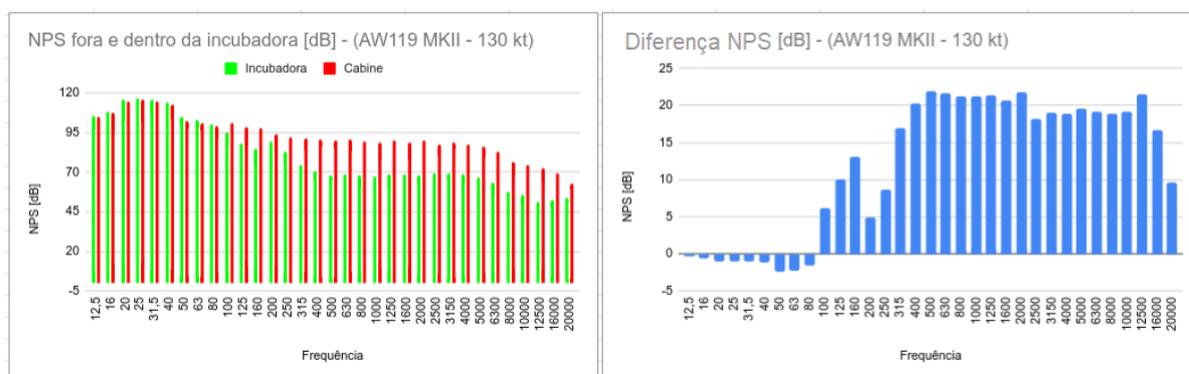


Figura 65 – **Esquerda**: Níveis de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 3$) no interior da cabine da aeronave AW119 MkII ($n=3$) e na incubadora Fanem IT-158 TS com as portinholas fechadas medidos durante o voo de cruzeiro a 130 kt com portas fechadas e, **Direita**: Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora (portinholas fechadas) para a respectiva velocidade.

No caso da aeronave AW119 MkII, a redução da diferença dos NPSs medidos dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, nas faixas entre 200 e 250 Hz, é mais acentuada pelo posicionamento do microfone no interior da incubadora. Como já dito anteriormente, pelo fato dos microfones serem afixados na cúpula através de fita adesiva antes de cada dia de medição, há uma pequena diferença nas suas posições, seja longitudinal ou transversal, para cada dia.

A Tabela 34 faz um resumo dos NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior da cabine da aeronave AW119 MkII e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS (portinhola fechada), em diversas velocidades de voo de cruzeiro e sempre com as portas fechadas.

Assim como na aeronave AS350 B2, observa-se que não há diferença entre os L_{eq} (sem ponderação) medidos no interior da incubadora e na cabine. Já, ao analisarmos os L_{Aeq} com ponderação "A", observa-se uma diferença de até 14 dBA.

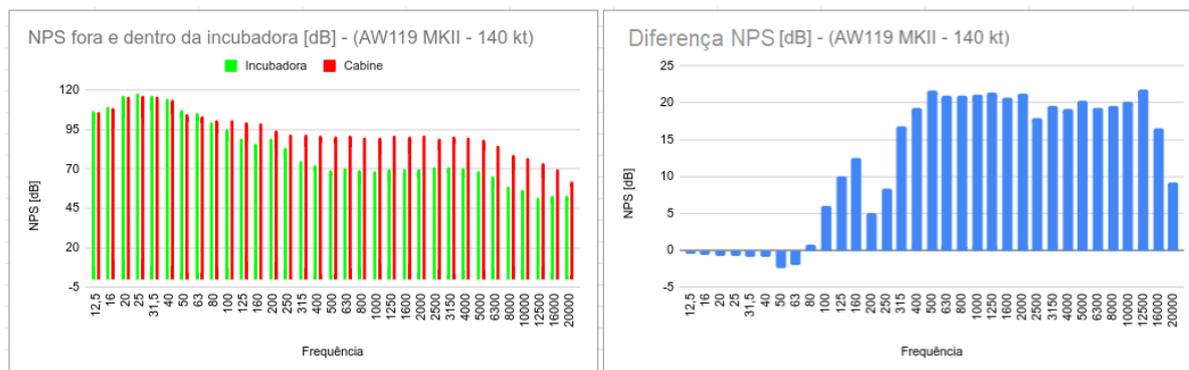


Figura 66 – **Esquerda:** Níveis de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 3$) no interior da cabine da aeronave AW119 MkII ($n=3$) e na incubadora Fanem IT-158 TS com as portinholas fechadas medidos durante o voo de cruzeiro a 140 kt com portas fechadas e, **Direita:** Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora (portinholas fechadas) para a respectiva velocidade.

A análise da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS na aeronave AW119 MkII é detalhada por meio da Tabela 35, em bandas de 1/3 de oitava, durante voo de cruzeiro em diversas velocidades com as portas fechadas.

Os valores analisados para a aeronave AW119 MkII obedecem os mesmos padrões apresentados pela aeronave AS350 B2, onde há um aumento da diferença entre os NPSs medidos dentro e fora da incubadora para frequências até 160 Hz, onde há uma redução abrupta nas faixas entre 200 e 250 Hz. Para frequências superiores a 250 Hz, essa diferença volta crescer até apresentar os valores mais altos, com valores de até 22 dB, na banda dos 12,5 kHz a 140 kt. Em média há uma diferença de NPS medidos dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS de cerca de 18 dB, por banda de 1/3 de oitava, para frequências acima de 250 Hz.

Estatísticas detalhadas da diferença do NPS medidos dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo de cruzeiro a 100, 110, 130 e 140 kt na aeronave AW119 MkII com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, são apresentadas nas Tabelas 36 a 39.

Tabela 34 – NPS equivalentes médios ($n = 3$), sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior das cabines das aeronaves AW119 MkII e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, em diversas velocidades de voo de cruzeiro com as portas fechadas.

Velocidade	Local de medição	L_{eq}	Diferença	L_{Aeq}	Diferença
Decolagem	Cabine	116 dB	-2	95 dBA	11
		Incubadora		118 dB	
40 kt	Cabine	117 dB	-2	95 dBA	8
		Incubadora		119 dB	
50 kt	Cabine	114 dB	-2	94 dBA	9
		Incubadora		116 dB	
60 kt	Cabine	113 dB	-2	94 dBA	10
		Incubadora		115 dB	
70 kt	Cabine	114 dB	-2	94 dBA	10
		Incubadora		116 dB	
80 kt	Cabine	114 dB	-2	95 dBA	11
		Incubadora		116 dB	
90 kt	Cabine	115 dB	-2	96 dBA	12
		Incubadora		117 dB	
100 kt	Cabine	115 dB	-2	97 dBA	12
		Incubadora		117 dB	
110 kt	Cabine	116 dB	-2	98 dBA	14
		Incubadora		118 dB	
120 kt	Cabine	120 dB	-1	99 dBA	13
		Incubadora		121 dB	
130 kt	Cabine	121 dB	-1	100 dBA	13
		Incubadora		122 dB	
140 kt	Cabine	123 dB	-1	102 dBA	14
		Incubadora		123 dB	
Pouso	Cabine	115 dB	-3	100 dBA	11
		Incubadora		118 dB	

Tabela 35 – Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) ($n = 3$), durante o voo, na aeronave AW119 MkII, em diversas velocidades.

f [Hz]	40kt	50kt	60kt	70kt	80kt	90kt	100kt	110kt	120kt	130kt	140kt
12,5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
16	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1
20	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-1	-1	-1
25	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-1	-1	-1
31,5	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-1	-1	-1
40	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-3	-2	-1	-1	-1
50	-5	-4	-4	-3	-2	-2	-1	-2	-3	-2	-2
63	-5	-4	-4	-4	-3	-3	-1	-2	-2	-2	-2
80	-5	-5	-3	-3	-3	-1	0	1	1	-2	1
100	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6
125	12	11	11	12	11	11	11	11	10	10	10
160	12	14	15	15	15	15	15	16	14	13	13
200	2	1	0	0	1	1	2	3	4	5	5
250	6	8	8	9	8	8	8	9	9	9	8
315	14	15	15	15	16	16	16	16	16	17	17
400	19	21	21	22	21	21	21	20	20	20	19
500	21	23	24	23	24	24	24	23	23	22	22
630	21	23	23	23	23	23	23	22	22	22	21
800	21	23	22	22	23	23	23	23	22	21	21
1k	22	23	23	22	23	22	22	22	21	21	21
1250	23	24	25	24	24	24	23	21	22	21	21
1600	20	20	20	20	21	20	20	20	21	21	21
2k	24	23	24	24	25	25	24	24	22	22	21
2500	18	20	19	19	20	19	19	19	18	18	18
3150	19	20	20	20	21	20	20	20	19	19	20
4k	17	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19
5k	15	17	17	16	18	17	18	19	19	20	20
6300	14	16	16	15	18	17	18	18	18	19	19
8k	14	17	16	15	19	17	18	19	18	19	20
10k	12	14	13	13	17	15	17	19	18	19	20
12,5k	15	18	17	16	20	19	20	21	20	21	22
16k	9	13	13	13	17	15	17	19	16	17	17
20k	6	9	9	8	12	10	11	15	7	10	9

Tabela 36 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 100 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

Freq. [Hz]	Média	D. Padrão	V. Min	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	V. Max
12,5	-1,39	0,37	-1,74	-1,58	-1,43	-1,21	-0,99
16	-1,83	0,41	-2,26	-2,02	-1,79	-1,62	-1,45
20	-2,86	0,68	-3,64	-3,07	-2,51	-2,47	-2,43
25	-2,86	0,68	-3,64	-3,07	-2,51	-2,47	-2,43
31,5	-2,89	0,70	-3,70	-3,11	-2,53	-2,49	-2,45
40	-2,50	0,18	-2,71	-2,56	-2,42	-2,40	-2,39
50	-1,18	0,53	-1,79	-1,39	-0,98	-0,88	-0,78
63	-1,10	0,69	-1,67	-1,48	-1,29	-0,81	-0,33
80	0,15	2,78	-2,99	-0,92	1,14	1,73	2,31
100	4,96	1,63	3,11	4,35	5,59	5,89	6,18
125	10,61	2,55	7,71	9,66	11,62	12,06	12,50
160	15,16	2,40	12,39	14,38	16,37	16,54	16,71
200	1,64	0,13	1,51	1,58	1,64	1,70	1,77
250	8,49	2,56	5,54	7,67	9,80	9,96	10,12
315	16,41	2,14	13,95	15,73	17,52	17,64	17,77
400	20,60	1,63	18,76	19,99	21,23	21,52	21,82
500	23,76	2,16	21,31	22,94	24,58	24,99	25,39
630	23,11	1,38	21,80	22,38	22,97	23,76	24,55
800	22,57	1,43	20,93	22,12	23,31	23,40	23,48
1k	22,34	0,81	21,46	21,99	22,51	22,78	23,05
1250	23,06	0,68	22,46	22,70	22,94	23,37	23,79
1600	20,24	2,65	17,19	19,41	21,63	21,76	21,89
2k	24,17	4,02	19,53	22,90	26,26	26,49	26,72
2500	19,03	2,18	16,52	18,34	20,16	20,28	20,41
3150	19,66	1,53	17,91	19,12	20,32	20,53	20,74
4k	18,89	1,80	16,82	18,27	19,72	19,93	20,13
5k	18,26	3,41	14,34	17,11	19,87	20,22	20,56
6,3k	17,75	3,90	13,28	16,42	19,55	19,99	20,43
8k	18,20	4,63	12,91	16,53	20,15	20,84	21,53
10k	16,51	2,82	13,31	15,44	17,57	18,11	18,65
12,5k	20,05	6,03	13,18	17,86	22,55	23,49	24,43
16k	16,69	6,18	9,61	14,54	19,47	20,24	21,00
20k	11,49	7,03	3,41	9,11	14,81	15,53	16,25

Tabela 37 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 110 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

Freq. [Hz]	Média	D. Padrão	V. Min	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	V. Max
12,5	-1,00	1,09	-2,26	-1,36	-0,45	-0,37	-0,30
16	-1,45	1,12	-2,74	-1,81	-0,88	-0,81	-0,74
20	-2,51	1,09	-3,77	-2,83	-1,88	-1,87	-1,87
25	-2,51	1,09	-3,77	-2,83	-1,88	-1,87	-1,87
31,5	-2,57	1,06	-3,79	-2,88	-1,97	-1,95	-1,94
40	-2,45	0,69	-3,25	-2,67	-2,09	-2,05	-2,00
50	-1,70	2,03	-3,23	-2,85	-2,46	-0,93	0,61
63	-1,59	1,89	-2,94	-2,67	-2,40	-0,91	0,57
80	0,83	1,94	-1,41	0,24	1,90	1,95	2,01
100	6,02	1,92	3,83	5,32	6,81	7,11	7,42
125	10,87	2,63	7,83	10,03	12,23	12,39	12,54
160	15,59	2,96	12,19	14,59	17,00	17,29	17,59
200	3,15	0,41	2,75	2,94	3,13	3,35	3,57
250	8,75	3,69	4,49	7,58	10,67	10,87	11,08
315	16,12	2,29	13,48	15,41	17,35	17,44	17,53
400	20,03	2,95	16,63	19,10	21,58	21,73	21,88
500	22,90	2,48	20,04	22,13	24,22	24,33	24,43
630	21,89	0,37	21,48	21,75	22,01	22,10	22,19
800	22,61	1,23	21,22	22,12	23,03	23,30	23,58
1k	22,00	1,25	20,57	21,56	22,55	22,71	22,88
1250	21,41	1,41	19,79	20,98	22,17	22,23	22,28
1600	20,22	2,79	17,02	19,32	21,63	21,83	22,03
2k	23,64	4,05	18,98	22,27	25,57	25,96	26,36
2500	18,62	2,46	15,77	17,90	20,02	20,04	20,05
3150	19,57	1,19	18,21	19,14	20,06	20,25	20,43
4k	18,66	1,98	16,38	18,01	19,64	19,80	19,96
5k	19,02	2,77	15,83	18,19	20,55	20,62	20,69
6,3k	18,29	4,31	13,34	16,82	20,30	20,76	21,22
8k	19,07	4,78	13,65	17,26	20,86	21,78	22,70
10k	19,04	4,22	14,50	17,14	19,78	21,31	22,83
12,5k	21,28	6,17	14,30	18,92	23,54	24,77	25,99
16k	18,75	7,32	10,65	15,68	20,71	22,80	24,89
20k	14,52	9,49	3,97	10,61	17,25	19,79	22,34

Tabela 38 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 130 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

Freq. [Hz]	Média	D. Padrão	V. Min	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	V. Max
12,5	-0,40	0,99	-1,54	-0,74	0,05	0,16	0,28
16	-0,62	1,00	-1,77	-0,96	-0,15	-0,05	0,06
20	-0,99	1,03	-2,18	-1,33	-0,48	-0,40	-0,32
25	-0,99	1,03	-2,18	-1,33	-0,48	-0,40	-0,32
31,5	-1,04	1,01	-2,21	-1,37	-0,53	-0,46	-0,39
40	-1,10	0,99	-2,25	-1,42	-0,59	-0,53	-0,47
50	-2,39	0,20	-2,52	-2,50	-2,48	-2,32	-2,16
63	-2,20	0,29	-2,51	-2,34	-2,18	-2,05	-1,92
80	-1,60	2,19	-4,12	-2,29	-0,45	-0,33	-0,21
100	6,10	1,13	4,80	5,75	6,70	6,75	6,81
125	9,98	1,56	8,18	9,49	10,79	10,87	10,96
160	13,14	2,69	10,04	12,28	14,52	14,69	14,85
200	4,91	0,79	4,00	4,62	5,24	5,36	5,47
250	8,72	1,94	6,49	8,06	9,64	9,83	10,03
315	16,89	2,34	14,19	16,21	18,24	18,24	18,25
400	20,22	2,45	17,40	19,40	21,41	21,63	21,86
500	21,98	2,40	19,22	21,23	23,23	23,36	23,50
630	21,67	0,47	21,12	21,50	21,87	21,94	22,00
800	21,21	1,45	19,54	20,76	21,99	22,05	22,11
1k	21,19	1,22	19,77	20,82	21,87	21,89	21,92
1250	21,40	1,50	19,68	20,87	22,06	22,25	22,45
1600	20,72	3,31	16,89	19,76	22,63	22,63	22,63
2k	21,83	2,92	18,46	20,98	23,50	23,51	23,53
2500	18,25	2,39	15,49	17,50	19,50	19,63	19,75
3150	19,06	1,27	17,58	18,67	19,75	19,79	19,83
4k	18,90	1,86	16,75	18,32	19,89	19,98	20,06
5k	19,65	3,08	16,10	18,70	21,30	21,43	21,56
6,3k	19,11	3,72	14,81	17,99	21,18	21,26	21,33
8k	18,92	3,35	15,08	17,74	20,39	20,84	21,28
10k	19,21	3,20	15,53	18,20	20,88	21,05	21,23
12,5k	21,45	5,46	15,15	19,78	24,42	24,61	24,80
16k	16,61	4,65	11,24	15,22	19,19	19,30	19,41
20k	9,62	3,58	5,73	8,03	10,32	11,56	12,79

Tabela 39 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 140 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

Freq. [Hz]	Média	D. Padrão	V. Min	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	V. Max
12,5	-0,43	1,02	-1,60	-0,76	0,08	0,16	0,24
16	-0,57	1,06	-1,78	-0,89	0,01	0,04	0,08
20	-0,82	1,13	-2,12	-1,17	-0,22	-0,17	-0,12
25	-0,82	1,13	-2,12	-1,17	-0,22	-0,17	-0,12
31,5	-0,84	1,12	-2,13	-1,19	-0,26	-0,20	-0,14
40	-0,89	1,04	-2,09	-1,22	-0,35	-0,30	-0,24
50	-2,42	0,51	-2,79	-2,71	-2,63	-2,24	-1,84
63	-1,98	0,30	-2,30	-2,13	-1,95	-1,83	-1,70
80	0,79	1,57	-0,98	0,19	1,36	1,68	1,99
100	6,01	0,92	4,96	5,67	6,38	6,53	6,68
125	10,03	1,68	8,09	9,53	10,96	11,00	11,03
160	12,58	2,17	10,07	11,92	13,76	13,83	13,89
200	5,06	0,26	4,84	4,91	4,98	5,17	5,35
250	8,42	1,54	6,65	7,95	9,25	9,31	9,37
315	16,85	2,19	14,33	16,16	17,99	18,11	18,24
400	19,29	1,62	17,45	18,71	19,97	20,22	20,46
500	21,60	2,28	18,98	20,90	22,83	22,92	23,01
630	20,98	0,32	20,66	20,82	20,99	21,14	21,30
800	20,90	1,57	19,11	20,31	21,52	21,79	22,07
1k	21,05	0,99	19,91	20,74	21,57	21,63	21,68
1250	21,37	1,34	19,82	20,96	22,11	22,14	22,18
1600	20,67	3,79	16,29	19,53	22,78	22,86	22,94
2k	21,26	2,93	17,88	20,36	22,84	22,95	23,06
2500	17,90	2,29	15,26	17,24	19,21	19,22	19,23
3150	19,58	1,20	18,21	19,17	20,12	20,27	20,42
4k	19,12	1,69	17,17	18,63	20,09	20,09	20,10
5k	20,22	3,32	16,38	19,23	22,08	22,14	22,20
6,3k	19,27	4,14	14,49	18,05	21,62	21,66	21,70
8k	19,62	3,32	15,78	18,63	21,47	21,53	21,59
10k	20,07	4,17	15,25	18,86	22,48	22,48	22,48
12,5k	21,74	5,61	15,26	20,11	24,97	24,98	24,98
16k	16,60	4,10	11,87	15,30	18,73	18,97	19,20
20k	9,27	2,78	6,07	8,42	10,78	10,87	10,97

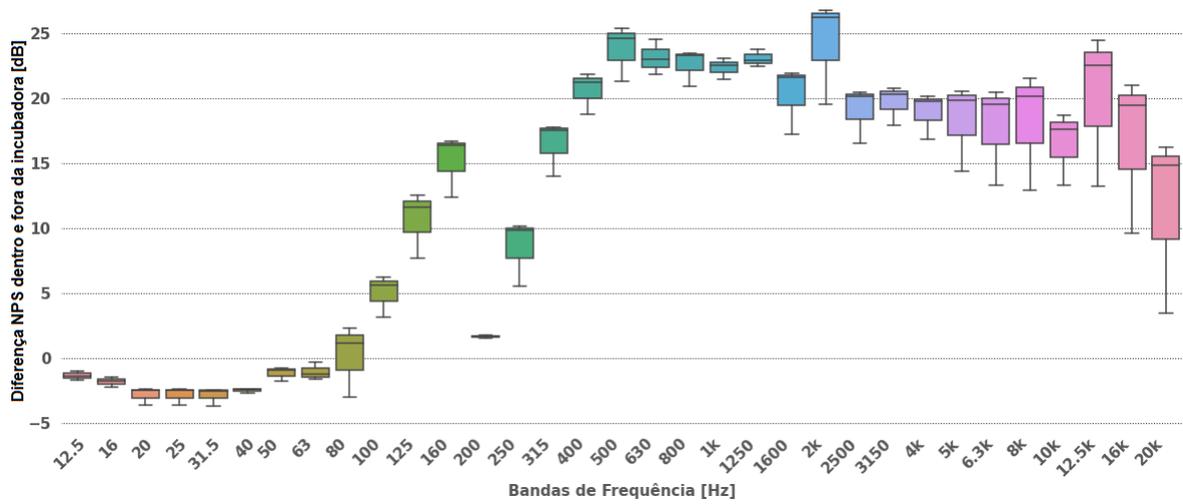


Figura 67 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 100 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

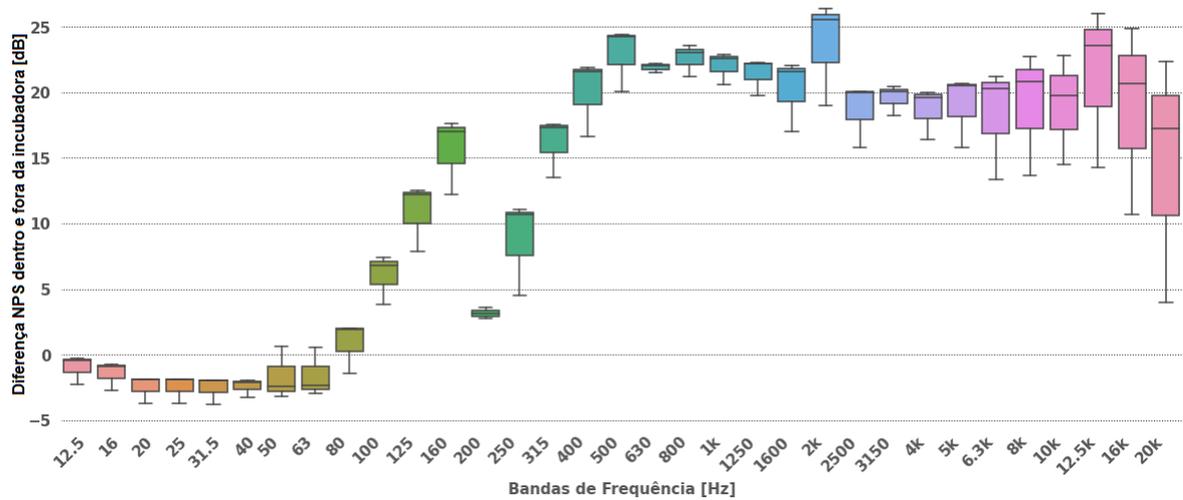


Figura 68 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 110 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

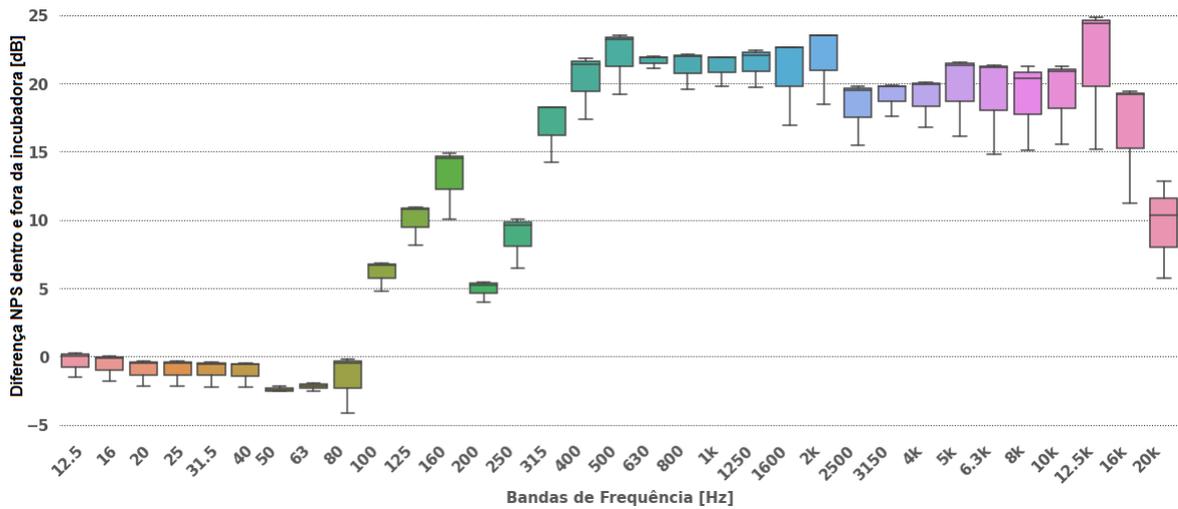


Figura 69 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 130 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

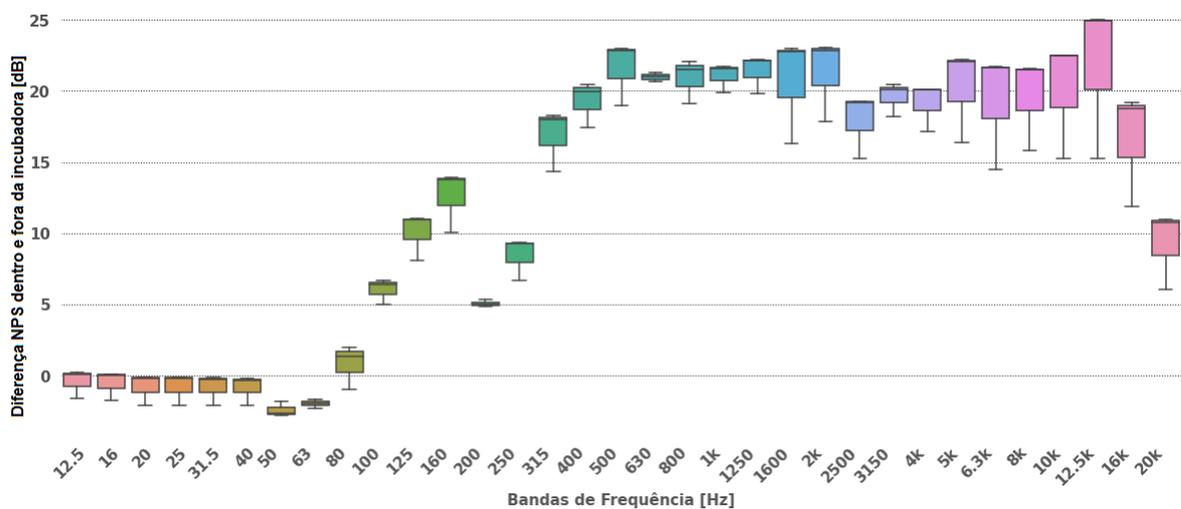


Figura 70 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo nas aeronaves AW119 MkII, em voo de cruzeiro a 140 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 3$).

4.3.2 Diferença do NPS dentro e fora da incubadora nas aeronaves de asas fixas

4.3.2.1 Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave C206H

Com objetivo de medir o NPS no interior da cabine e no interior da incubadora para que seja possível calcular a diferença em banda de 1/3 de oitava, foram realizadas medições na aeronave Cessna 206H na velocidade de cruzeiro padrão de 115kt.

A Figura 71 apresenta, na esquerda, os NPS médio medido no interior da cabine da aeronave Cessna 206H e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo de cruzeiro a 115 kt e na direita a diferença média do NPS medido dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS referente a sua respectiva velocidade.

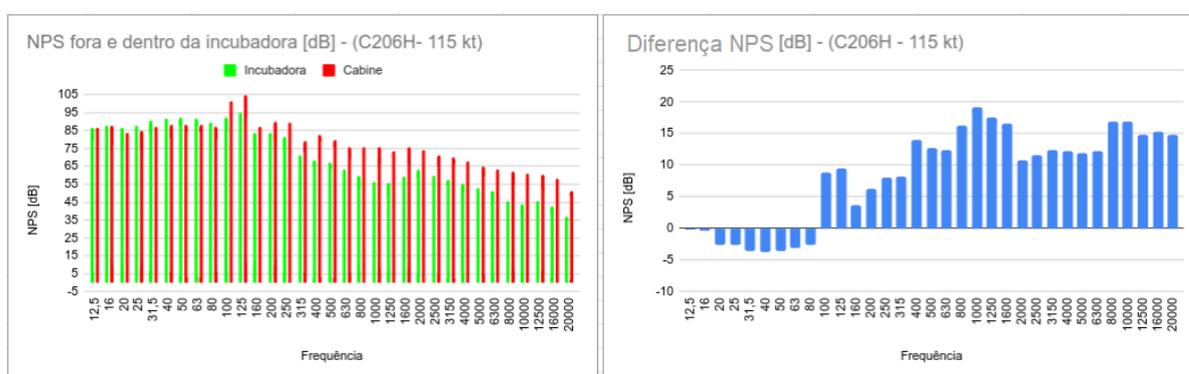


Figura 71 – **Esquerda:** Nível de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 7$) entre o interior da cabine da aeronave Cessna C206H e da incubadora Fanem IT-158 TS medidos durante o voo de cruzeiro a 115 kt e portinholas fechadas. **Direita:** Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora ($n = 7$) apresentada pela incubadora para a respectiva velocidade.

A Tabela 40 apresenta as diferenças médias entre o NPS, com ponderação A e sem ponderação, medido no interior da cabine da aeronave Cessna 206H e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante as etapas do voo.

Tabela 40 – NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior da cabine da aeronave C206H e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), durante decolagem, voo de cruzeiro (115 kt) e Pouso.

Configuração	Local de medição	L_{eq}	Diferença	L_{Aeq}	Diferença
Decolagem ($n = 1$)	Cabine	107 dB	6	91 dBA	10
	Incubadora	101 dB		81 dBA	
Cruzeiro 115 kt ($n = 7$)	Cabine	106 dB	4	92 dBA	9
	Incubadora	102 dB		83 dBA	
Pouso ($n = 1$)	Cabine	108 dB	-2	86 dBA	4
	Incubadora	110 dB		82 dBA	

4.3.2.2 Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave C210N

Com objetivo de se medir o NPS no interior da cabine e no interior da incubadora para que seja possível calcular a diferença dos níveis de pressão sonora medidos dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em banda de 1/3 de oitava, foram realizadas medições na aeronave Cessna 210N na velocidade padrão de cruzeiro de 140kt.

A Figura 72 apresenta, na esquerda, os NPSs médio medidos no interior da cabine da aeronave Cessna 210N e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo de cruzeiro a 140 kt e, à direita a diferença média entre o NPS medido dentro e fora da incubadora, referente a sua respectiva velocidade.

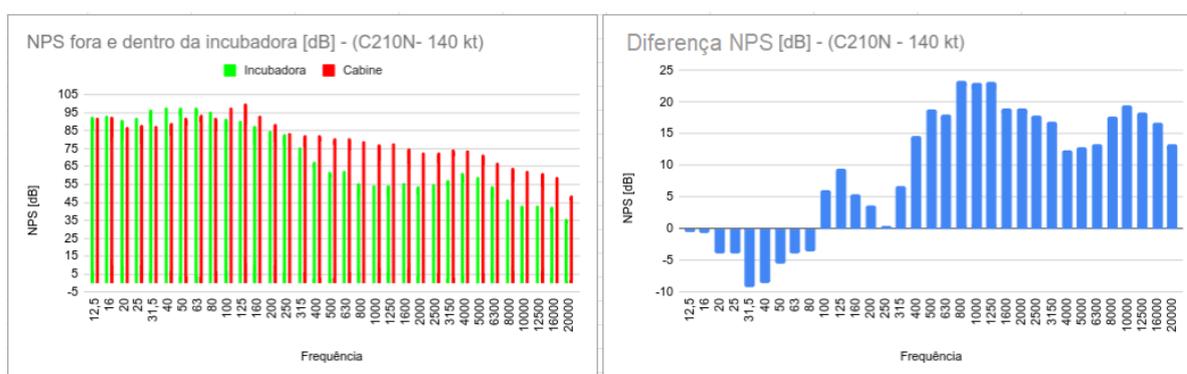


Figura 72 – **Esquerda:** Nível de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 5$) entre o interior da cabine da aeronave Cessna C210N e da incubadora Fanem IT-158 TS medidos durante o voo de cruzeiro a 140 kt e portinholas fechadas. **Direita:** Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora ($n = 5$) apresentada pela incubadora para a respectiva velocidade.

A Tabela 41 apresenta as diferenças entre o NPS médio, com ponderação A e sem ponderação, medido no interior da cabine da aeronave Cessna 210N e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante as etapas do voo.

Tabela 41 – NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior da cabine da aeronave C210N e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), durante decolagem, voo de cruzeiro (140 kt) e Pouso.

Configuração	Local de medição	L_{eq}	Diferença	L_{Aeq}	Diferença
Decolagem ($n = 1$)	Cabine	105 dB	-4	90 dBA	4
	Incubadora	109 dB		86 dBA	
Cruzeiro 140 kt ($n = 5$)	Cabine	105 dB	-1	91 dBA	8
	Incubadora	106 dB		83 dBA	
Pouso ($n = 1$)	Cabine	109 dB	-3	87 dBA	5
	Incubadora	112 dB		82 dBA	

4.3.2.3 Diferença do NPS dentro e fora da incubadora na aeronave EMB-820C

Com objetivo de se medir o NPS no interior da cabine e no interior da incubadora para que seja possível calcular a diferença do NPS medido dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS, em banda de 1/3 de oitava, foram realizadas medições na aeronave EMB-820C na velocidade de cruzeiro padrão de 200kt.

A Figura 73 apresenta, à esquerda, os NPSs médios medidos no interior da cabine da aeronave EMB-820C e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante o voo de cruzeiro a 200 kt e, à direita, a diferença média do NPS medido dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS referente a sua respectiva velocidade.

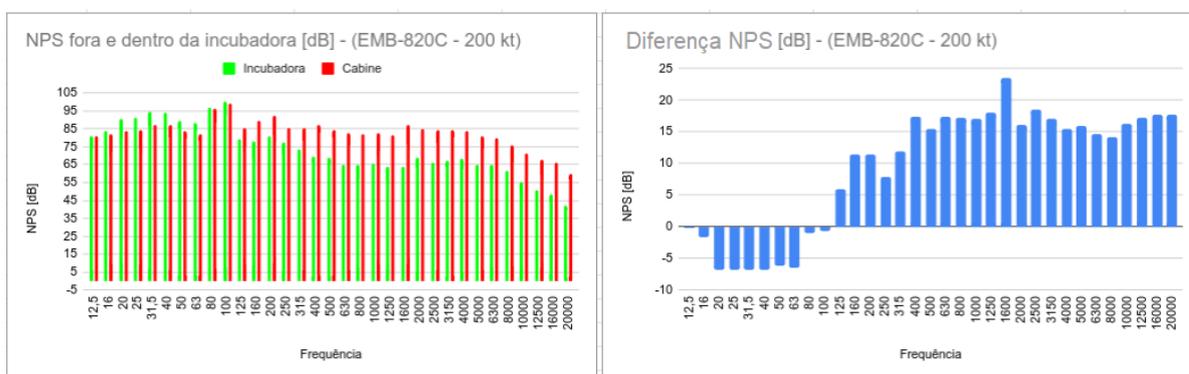


Figura 73 – **Esquerda:** Nível de Pressão Sonora (NPS) médio ($n = 13$) entre o interior da cabine da aeronave EMB-820C e da incubadora Fanem IT-158 TS medidos durante o voo de cruzeiro a 200 kt e portinholas fechadas. **Direita:** Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora ($n = 13$) apresentada pela incubadora para a respectiva velocidade.

A Tabela 42 apresenta as diferenças entre o NPS médio, com ponderação A e sem ponderação, medido no interior da cabine da aeronave Embraer EMB-820C e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS durante as etapas do voo.

Tabela 42 – NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior da cabine da aeronave EMB-820C e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), durante decolagem, voo de cruzeiro (200 kt) e Pouso.

Configuração	Local de medição	L_{eq}	Diferença	L_{Aeq}	Diferença
Decolagem ($n = 1$)	Cabine	104 dB	-2	89 dBA	5
	Incubadora	106 dB		84 dBA	
Cruzeiro 200 kt ($n = 13$)	Cabine	103 dB	-1	96 dBA	12
	Incubadora	104 dB		84 dBA	
Pouso ($n = 1$)	Cabine	101 dB	-2	90 dBA	11
	Incubadora	103 dB		79 dBA	

4.3.2.4 Análise conjunta das aeronaves de asas fixas

Através dos gráficos das Figuras 71, 72 e 73, assim como nas aeronaves de asas rotativas, é possível notar nas frequências inferiores a 125 Hz valores negativos para a diferença entre o NPS medido no interior da incubadora e na cabine. Observe-se, também, a redução da diferença dos NPSs nas bandas de frequências entre 200 e 250 Hz, ocasionado pela coincidência das frequências de ressonância.

Assim como no caso das aeronaves de asas rotativas, a Tabela 43 faz um resumo dos NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior das cabines dos modelos de aeronave de asas fixas e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, em velocidades padrões de voo de cruzeiro.

Tabela 43 – NPS equivalentes médios, sem ponderação e com ponderação em A, medidos no interior das cabines dos modelos de aeronave de asas fixas e no interior da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em velocidades padrões de voo de cruzeiro.

Aeronaves	Local de medição	L_{eq}	Diferença	L_{Aeq}	Diferença
C206H ($n = 7$) 115 kt	Cabine	106 dB	4	92 dBA	9
	Incubadora	102 dB		83 dBA	
C210N ($n = 5$) 140 kt	Cabine	105 dB	-1	91 dBA	8
	Incubadora	106 dB		83 dBA	
EMB-820C ($n = 13$) 200 kt	Cabine	103 dB	-1	96 dBA	12
	Incubadora	104 dB		84 dBA	

Observa-se também uma diferença de até -4 dB entre os L_{eq} (sem ponderação) medidos no interior da incubadora e na cabine. Já ao analisarmos os L_{Aeq} com ponderação "A", observa-se uma diferença de 9 dBA na aeronave C206H, de 8 dBA na aeronave C210N e de até 12 dBA, na aeronave EMB-820C.

A Tabela 44 apresenta o resumo das diferenças média entre os níveis de pressão sonora medidos no interior da incubadora Fanem IT-158 TS e a cabine nas aeronaves C206H C210N e EMB-820C, durante voo de cruzeiro em suas respectivas velocidades, padrão por banda de 1/3 de oitava.

Os valores analisados para estas aeronaves obedecem os mesmos padrões apresentados pelas aeronaves de asas rotativas, onde há uma pequena diferença entre os NPSs medidos dentro e fora da incubadora para frequências inferiores a 125 Hz. Há um aumento dessa diferença até a faixa entre 200 e 250 Hz, onde há uma redução abrupta.

Para frequências acima de 250 Hz, a diferença entre os NPS (dentro e fora) volta a apresentar valores mais altos, chegando a até 23 dB, em alguns casos.

Tabela 44 – Diferença média do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), nos modelos de aeronaves de asas fixas, durante voo de cruzeiro.

Frequência [Hz]	C206H (n = 7)	C210N (n = 5)	EMB-820C (n = 13)
12,5	0	-1	0
16	0	-1	-2
20	-3	-4	-7
25	-3	-4	-7
31,5	-4	-9	-7
40	-4	-9	-7
50	-4	-6	-6
63	-3	-4	-7
80	-3	-4	-1
100	9	6	-1
125	10	9	6
160	4	6	11
200	6	4	11
250	8	0	8
315	8	7	12
400	14	15	17
500	13	19	15
630	12	18	17
800	16	23	17
1k	19	23	17
1250	18	23	18
1600	17	19	23
2k	11	19	16
2500	12	18	18
3150	12	17	17
4k	12	12	15
5k	12	13	16
6300	12	13	15
8k	17	18	14
10k	17	19	16
12,5k	15	18	17
16k	15	17	18
20k	15	13	18

Tabela 45 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) durante o voo nas aeronaves C206H, em voo de cruzeiro a 115 kt, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 7$).

freq. [Hz]	média	desvio padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
12,5	-0,19	0,36	-0,60	-0,49	-0,28	0,15	0,23
16	-0,30	0,39	-0,75	-0,62	-0,40	0,07	0,17
20	-2,69	0,43	-3,36	-2,90	-2,54	-2,41	-2,28
25	-2,69	0,43	-3,36	-2,90	-2,54	-2,41	-2,28
31,5	-3,64	0,22	-3,85	-3,80	-3,71	-3,51	-3,32
40	-3,79	0,19	-4,00	-3,91	-3,82	-3,72	-3,44
50	-3,66	0,73	-4,94	-3,97	-3,32	-3,22	-2,99
63	-3,16	1,35	-5,55	-3,63	-2,58	-2,49	-1,76
80	-2,57	0,14	-2,80	-2,65	-2,56	-2,46	-2,39
100	8,88	0,59	8,07	8,51	8,97	9,10	9,89
125	9,51	0,61	8,59	9,14	9,56	9,86	10,44
160	3,74	0,37	3,24	3,59	3,63	3,88	4,37
200	6,25	0,24	5,89	6,12	6,21	6,44	6,54
250	7,99	1,04	6,28	7,63	7,98	8,42	9,58
315	8,22	0,61	7,31	7,90	8,14	8,62	9,04
400	14,07	0,22	13,72	13,92	14,15	14,23	14,32
500	12,63	1,24	10,69	11,95	13,22	13,40	13,81
630	12,35	0,23	12,09	12,13	12,40	12,53	12,63
800	16,20	0,46	15,51	15,96	16,14	16,48	16,84
1k	19,20	0,58	18,50	18,74	19,21	19,59	20,06
1250	17,63	0,20	17,30	17,55	17,60	17,74	17,90
1600	16,54	0,32	16,25	16,35	16,46	16,59	17,21
2k	10,76	0,32	10,27	10,59	10,73	10,96	11,22
2500	11,55	0,32	11,21	11,35	11,50	11,64	12,15
3150	12,33	0,37	11,87	12,16	12,22	12,54	12,84
4k	12,24	0,12	12,05	12,17	12,20	12,35	12,37
5k	11,83	0,17	11,61	11,74	11,80	11,93	12,09
6,3k	12,18	0,17	11,99	12,02	12,20	12,28	12,43
8k	16,88	0,21	16,70	16,75	16,82	16,98	17,21
10k	16,94	0,31	16,71	16,73	16,80	17,02	17,56
12,5k	14,80	0,06	14,73	14,77	14,78	14,84	14,90
16k	15,31	0,23	14,93	15,15	15,43	15,46	15,56
20k	14,74	0,23	14,42	14,59	14,78	14,90	15,00

Tabela 46 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas) durante o voo nas aeronaves C210N, em voo de cruzeiro a 140 kt, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 5$).

freq. [Hz]	média	desvio padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
12,5	-0,59	1,14	-2,27	-1,12	-0,39	0,36	0,49
16	-0,68	1,15	-2,39	-1,20	-0,50	0,29	0,40
20	-3,96	1,04	-5,50	-4,56	-3,45	-3,23	-3,07
25	-3,96	1,04	-5,50	-4,56	-3,45	-3,23	-3,07
31,5	-9,16	1,05	-10,73	-9,66	-8,88	-8,27	-8,25
40	-8,54	1,23	-10,35	-9,16	-8,26	-7,47	-7,46
50	-5,52	1,74	-8,00	-6,48	-5,21	-4,05	-3,88
63	-3,93	2,01	-6,76	-5,08	-3,59	-2,17	-2,03
80	-3,56	1,17	-5,20	-4,26	-3,22	-2,79	-2,32
100	6,08	0,11	5,93	6,05	6,06	6,10	6,24
125	9,45	1,14	8,42	8,57	9,02	10,17	11,09
160	5,52	1,02	3,83	5,28	6,04	6,19	6,23
200	3,73	1,03	2,34	2,90	4,29	4,48	4,60
250	0,47	1,01	-0,66	-0,41	0,65	1,04	1,75
315	6,74	1,37	4,72	6,06	7,26	7,41	8,26
400	14,59	0,87	13,63	13,77	14,76	15,25	15,56
500	18,76	0,56	17,94	18,56	18,77	19,18	19,35
630	18,08	0,69	17,01	17,91	18,14	18,59	18,78
800	23,29	1,50	21,59	22,22	23,40	23,76	25,47
1k	23,10	1,19	21,40	22,57	23,45	23,53	24,57
1250	23,16	1,92	20,57	22,26	23,01	24,38	25,57
1600	18,94	0,99	17,65	18,61	18,97	19,09	20,39
2k	19,01	0,67	18,42	18,73	18,76	19,00	20,15
2500	17,86	0,61	17,27	17,54	17,75	17,91	18,86
3150	16,88	0,23	16,68	16,72	16,77	17,02	17,22
4k	12,39	0,44	11,88	11,96	12,54	12,68	12,88
5k	12,94	0,93	11,85	12,28	12,77	13,80	13,97
6,3k	13,28	1,48	11,81	12,06	12,85	14,58	15,09
8k	17,73	1,74	16,18	16,39	17,15	18,58	20,36
10k	19,47	2,01	17,68	18,04	18,67	20,46	22,51
12,5k	18,30	0,69	17,63	17,82	18,05	18,75	19,27
16k	16,73	0,45	15,94	16,81	16,89	16,95	17,05
20k	13,30	0,72	12,06	13,37	13,53	13,66	13,88

Tabela 47 – Estatística da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fanem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo nas aeronaves EMB-820C, em voo de cruzeiro a 200 kt com as portas fechadas, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 13$).

freq. [Hz]	média	desvio padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
12,5	-0,20	0,14	-0,36	-0,31	-0,21	-0,11	0,06
16	-1,59	0,49	-2,14	-1,89	-1,69	-1,42	-0,59
20	-6,85	0,66	-7,54	-7,27	-7,10	-6,69	-5,17
25	-6,85	0,66	-7,54	-7,27	-7,10	-6,69	-5,17
31,5	-6,87	0,67	-7,45	-7,36	-7,13	-6,78	-5,26
40	-6,74	0,67	-7,31	-7,20	-7,03	-6,65	-5,19
50	-6,22	1,09	-7,21	-7,06	-6,93	-5,35	-4,52
63	-6,52	2,66	-8,82	-8,49	-8,40	-3,71	-2,64
80	-0,99	2,10	-4,71	-2,29	0,12	0,49	0,88
100	-0,75	2,29	-4,74	-2,26	0,69	0,81	1,34
125	6,00	0,89	4,26	5,21	6,47	6,63	6,96
160	11,40	1,49	9,33	10,42	11,31	11,99	14,47
200	11,42	2,49	7,86	9,43	11,52	13,00	15,63
250	7,83	0,40	7,16	7,53	7,79	8,22	8,42
315	11,95	1,36	10,01	10,63	12,08	12,67	14,30
400	17,32	0,10	17,14	17,24	17,30	17,37	17,50
500	15,45	0,52	14,61	14,96	15,73	15,77	16,05
630	17,38	0,32	16,93	17,10	17,45	17,63	17,84
800	17,21	0,44	16,54	16,72	17,35	17,57	17,70
1k	17,08	0,70	16,13	16,32	17,45	17,64	17,94
1250	18,01	0,18	17,69	17,91	17,98	18,12	18,37
1600	23,48	0,18	23,07	23,41	23,51	23,63	23,66
2k	16,14	0,10	15,98	16,04	16,13	16,22	16,32
2500	18,44	0,39	17,92	17,99	18,62	18,74	18,90
3150	16,99	0,48	16,34	16,44	17,29	17,37	17,45
4k	15,50	0,30	15,07	15,20	15,64	15,73	15,84
5k	15,99	0,27	15,65	15,69	16,11	16,22	16,26
6,3k	14,72	0,13	14,49	14,69	14,74	14,77	14,96
8k	14,11	0,35	13,67	13,72	14,31	14,40	14,48
10k	16,19	0,31	15,76	15,82	16,32	16,48	16,50
12,5k	17,18	0,32	16,74	16,82	17,30	17,49	17,51
16k	17,65	0,31	17,24	17,28	17,82	17,93	17,96
20k	17,64	0,56	16,92	16,97	18,00	18,08	18,12

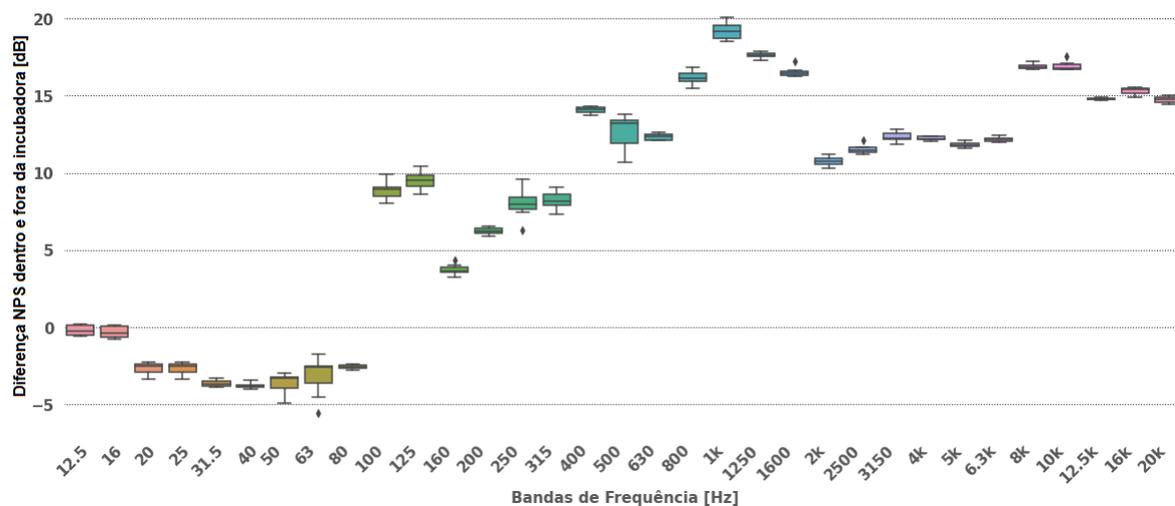


Figura 74 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fa-nem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo na aeronave C206H, em voo de cruzeiro a 115 kt, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 7$).

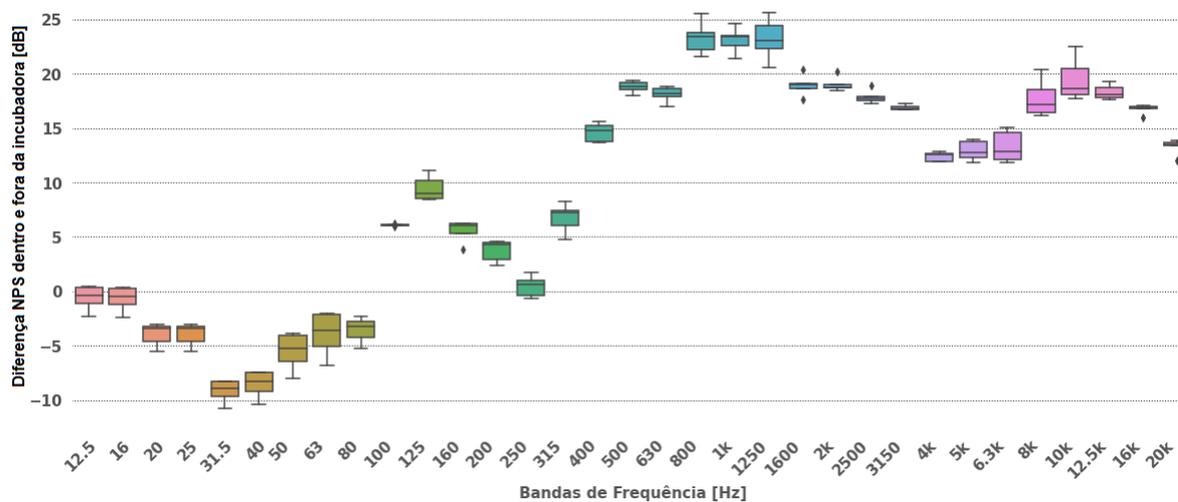


Figura 75 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fa-nem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo na aeronave C10N, em voo de cruzeiro a 140 kt, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 5$).

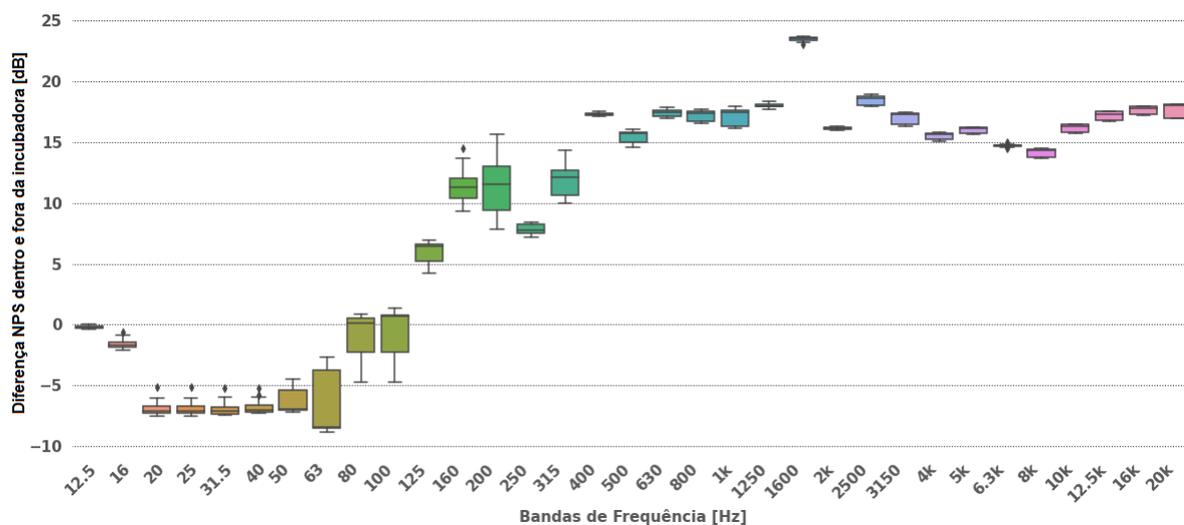


Figura 76 – Diagrama de blocos da diferença do NPS dentro e fora da incubadora Fa-nem IT-158 TS (portinholas fechadas), em dB, durante o voo na aeronave EMB-8200C, em voo de cruzeiro a 200 kt, por banda de 1/3 de oitava, para número de amostras ($n = 13$).

4.4 VIBRAÇÃO NAS INCUBADORAS DURANTE O VOO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos nas medições da aceleração média RMS (sem ponderação em frequência) na bandeja da incubadora Fanem IT-158 TS durante diferentes configurações de voo no interior das aeronaves (asas fixas e rotativas).

Da mesma forma, como descrito na Seção 4.3 somente foram utilizadas medições com as portas das aeronaves fechadas, já que em nenhum dos modelos de aeronave há a necessidade de se realizar o voo com as portas abertas para transporte da incubadora.

Ainda, da mesma forma como já relatado na Seção 4.3, não foi possível analisar o caso envolvendo a aeronave BE-55, uma vez que este modelo não possui espaço interno suficiente para transportar incubadora e a tripulação. Normalmente esta aeronave é utilizada apenas para treinamento, transporte de autoridades e transportes de pacientes sentados.

Por fim, as configurações de interesse resumiram-se à decolagem, pouso e voos de cruzeiro, para todas as aeronaves sendo que, para os voos de cruzeiro, realizaram-se medições nas seguintes velocidades: 100 e 110 kt para a aeronave AS350 B2, 100, 110, 130 e 140 kt, para a AW119 MkII, 115 kt, para o C206H, 140 kt para o C210N e 200 kt para o EMB-820C.

4.4.1 Vibração na incubadora transportada em aeronaves de asas rotativas

Inicialmente serão analisadas as vibrações das aeronaves AS350 B2 (com e sem o kit aeromédico) e posteriormente da aeronave AW119 MkII. Os valores foram adquiridos na bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS durante diversas configurações de voo.

Uma vez que o ponto de medição foi a bandeja da incubadora e não alguma parte do corpo da boneca, não foram utilizados qualquer ponderação em frequência.

4.4.1.1 Vibração na incubadora transportada em aeronaves AS350 B2

Os valores obtidos em todas as aeronaves AS350 B2 foram utilizados para o as definições estatística do modelo. Como podem ser vistos nas Tabelas 48, 49 e 50, os valores calculados para a média e mediana são muito semelhantes para todos os casos, indicando que tanto a média quanto a mediana são medidas representativas de tendência central. Os desvios padrão apresentam baixos valores o que indica que os dados estão próximos da média, mediana ou do valor esperado.

A Figura 77 apresenta os diagramas de blocos dos valores das acelerações RMS medidos nos eixos x , y e z da bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, durante

diversas configurações de voo, onde a incubadora foi transportada sobre o banco traseiro das aeronaves.

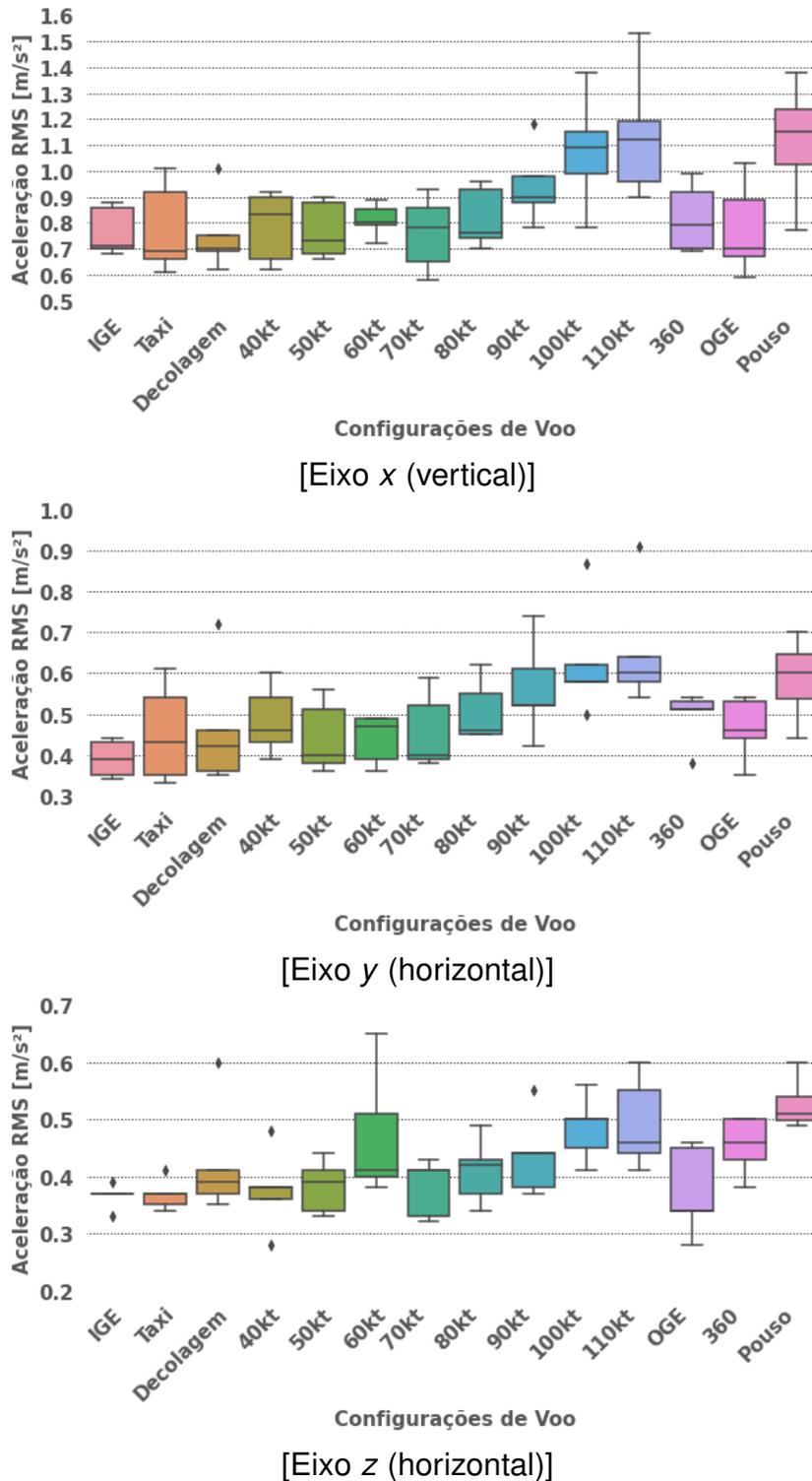


Figura 77 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido em quatro diferentes aeronaves AS350 B2 em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 5$).

Tabela 48 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo x durante o voo nas aeronaves AS350 B2, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 5$).

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,77	0,10	0,68	0,70	0,71	0,86	0,88
taxi	0,78	0,18	0,61	0,66	0,69	0,92	1,01
decolagem	0,75	0,15	0,62	0,69	0,70	0,75	1,01
40kt	0,79	0,14	0,62	0,66	0,83	0,90	0,92
50kt	0,77	0,11	0,66	0,68	0,73	0,88	0,90
60kt	0,81	0,06	0,72	0,79	0,80	0,85	0,89
70kt	0,76	0,14	0,58	0,65	0,78	0,86	0,93
80kt	0,82	0,12	0,70	0,74	0,76	0,93	0,96
90kt	0,94	0,15	0,78	0,88	0,90	0,98	1,18
100kt	1,08	0,22	0,78	0,99	1,09	1,15	1,38
110kt	1,14	0,25	0,90	0,96	1,12	1,19	1,53
360	0,82	0,13	0,69	0,70	0,79	0,92	0,99
OGE	0,78	0,18	0,59	0,67	0,70	0,89	1,03
pouso	1,11	0,25	0,77	1,025	1,15	1,24	1,38

Tabela 49 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo y durante o voo nas aeronaves AS350 B2, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 5$).

config. Voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,39	0,05	0,34	0,35	0,39	0,43	0,44
taxi	0,45	0,12	0,33	0,35	0,43	0,54	0,61
decolagem	0,46	0,15	0,35	0,36	0,42	0,46	0,72
40kt	0,48	0,09	0,39	0,43	0,46	0,54	0,60
50kt	0,44	0,09	0,36	0,38	0,40	0,51	0,56
60kt	0,44	0,06	0,36	0,39	0,47	0,49	0,49
70kt	0,46	0,09	0,38	0,39	0,40	0,52	0,59
80kt	0,51	0,08	0,45	0,45	0,46	0,55	0,62
90kt	0,56	0,12	0,42	0,52	0,52	0,61	0,74
100kt	0,63	0,14	0,50	0,58	0,58	0,62	0,87
110kt	0,65	0,15	0,54	0,58	0,60	0,64	0,91
360	0,49	0,07	0,38	0,51	0,51	0,53	0,54
OGE	0,46	0,08	0,35	0,44	0,46	0,53	0,54
pouso	0,59	0,11	0,44	0,54	0,60	0,65	0,70

Tabela 50 – Estatística da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo z durante o voo nas aeronaves AS350 B2, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 5$).

config. Voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,37	0,02	0,33	0,37	0,37	0,37	0,39
taxi	0,37	0,03	0,34	0,35	0,37	0,37	0,41
decolagem	0,42	0,10	0,35	0,37	0,39	0,41	0,60
40kt	0,38	0,07	0,28	0,36	0,38	0,38	0,48
50kt	0,38	0,05	0,33	0,34	0,39	0,41	0,44
60kt	0,47	0,11	0,38	0,40	0,41	0,51	0,65
70kt	0,38	0,05	0,32	0,33	0,41	0,41	0,43
80kt	0,41	0,06	0,34	0,37	0,42	0,43	0,49
90kt	0,44	0,07	0,37	0,38	0,44	0,44	0,55
100kt	0,48	0,06	0,41	0,45	0,50	0,50	0,56
110kt	0,49	0,08	0,41	0,44	0,46	0,55	0,60
OGE	0,37	0,08	0,28	0,34	0,34	0,45	0,46
360	0,45	0,05	0,38	0,43	0,46	0,50	0,50
posou	0,53	0,05	0,49	0,50	0,51	0,54	0,60

A Figura 78 apresenta os diagramas de blocos dos valores das acelerações RMS medidos nos eixos x , y e z da bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, durante diversas configurações de voo, onde a incubadora foi transportada sobre a maca do kit aeromédico da aeronave AS350 B2.

As Tabelas 51, 52 e 53 apresentam os valores estatísticos dos dados medidos sobre o kit aeromédico, Nota-se que os valores obtidos da aceleração RMS (sem ponderação) nos eixos x , y e z , nas aeronaves AS350 B2, variam bastante dependendo da configuração, da velocidade do voo de cruzeiro e da instalação ou não do kit aeromédico.

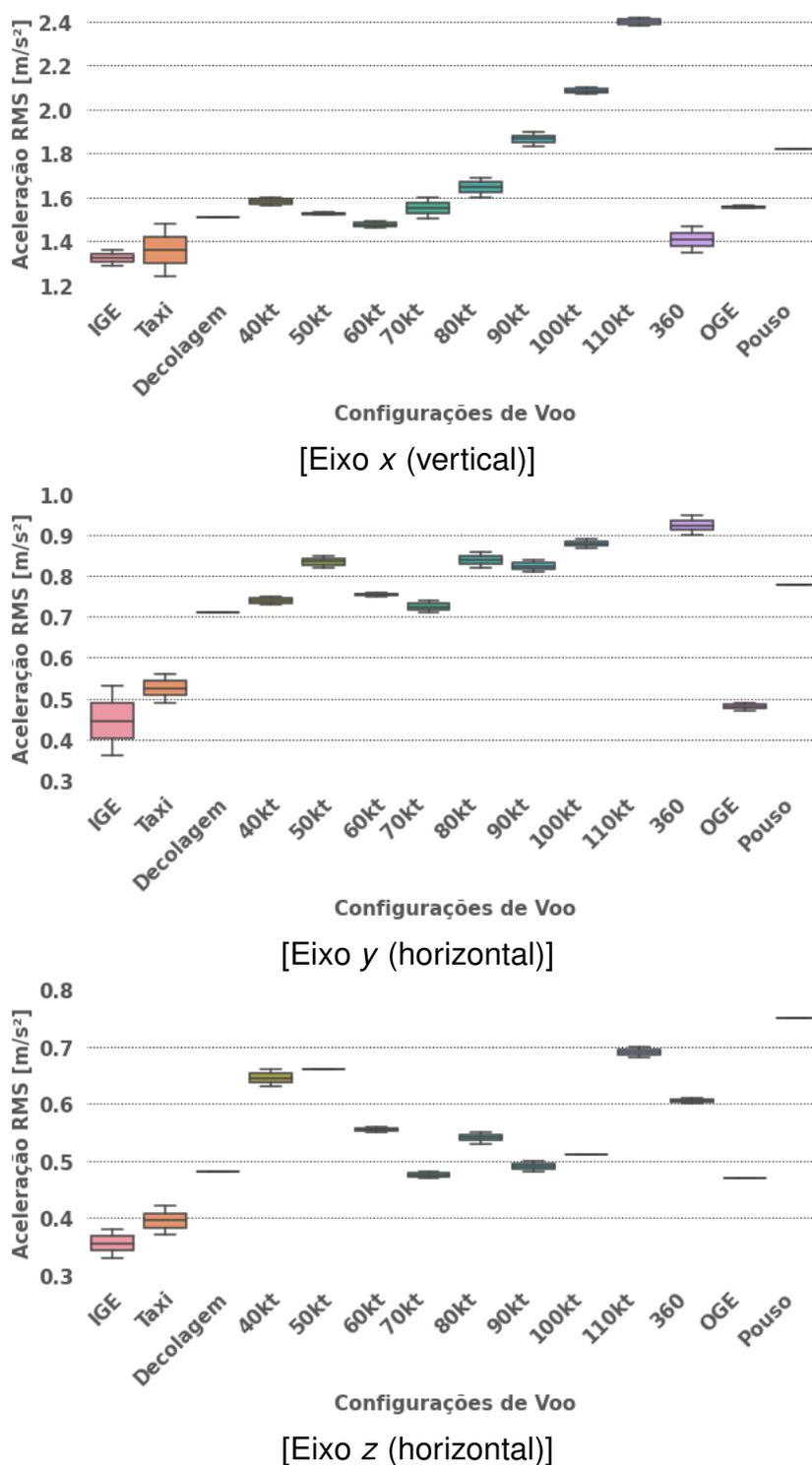


Figura 78 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido em aeronaves AS350 B2, prefixo PR-BNU, em diversas configurações de voo, com as portas fechadas e sobre a maca do kit aeromédico ($n = 3$).

Tabela 51 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo x durante o voo na aeronaves AS350 B2, prefixo PR-BNU, sobre a maca do kit aeromédico, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 2$).

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	1,33	0,05	1,29	1,31	1,33	1,34	1,36
taxi	1,36	0,17	1,24	1,30	1,36	1,42	1,48
decolagem	1,51	-	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
40kt	1,58	0,03	1,56	1,57	1,58	1,59	1,60
50kt	1,53	0,01	1,52	1,52	1,53	1,53	1,53
60kt	1,48	0,02	1,46	1,47	1,48	1,48	1,49
70kt	1,55	0,07	1,50	1,53	1,55	1,58	1,60
80kt	1,65	0,06	1,60	1,62	1,65	1,67	1,69
90kt	1,87	0,05	1,83	1,85	1,87	1,88	1,90
100kt	2,09	0,02	2,07	2,08	2,09	2,09	2,10
110kt	2,40	0,03	2,38	2,39	2,40	2,41	2,42
360	1,41	0,08	1,35	1,38	1,41	1,44	1,47
OGE	1,56	0,01	1,55	1,55	1,56	1,56	1,56
pouso	1,82	-	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82

Tabela 52 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo y durante o voo na aeronaves AS350 B2, prefixo PR-BNU, sobre a maca do kit aeromédico, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 2$).

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,45	0,12	0,36	0,40	0,45	0,49	0,53
taxi	0,53	0,05	0,49	0,51	0,53	0,54	0,56
decolagem	0,71	-	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
40kt	0,74	0,01	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75
50kt	0,84	0,02	0,82	0,83	0,84	0,84	0,85
60kt	0,76	0,01	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76
70kt	0,73	0,02	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74
80kt	0,84	0,03	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86
90kt	0,83	0,02	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84
100kt	0,88	0,01	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89
110kt	1,12	0,04	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15
360	0,93	0,04	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95
OGE	0,48	0,01	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49
pouso	0,78	-	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

Tabela 53 – Estatística da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo z durante o voo na aeronaves AS350 B2, prefixo PR-BNU, sobre a maca do kit aeromédico, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 2$).

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,36	0,04	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38
taxi	0,40	0,04	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42
decolagem	0,48	-	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
40kt	0,65	0,02	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66
50kt	0,66	-	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
60kt	0,56	0,01	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56
70kt	0,48	0,01	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48
80kt	0,54	0,01	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55
90kt	0,49	0,01	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50
100kt	0,51	-	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
110kt	0,69	0,01	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70
360	0,61	0,01	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61
OGE	0,47	-	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
pouso	0,75	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Nota-se também uma elevação nos valores medidos na incubadora quando transportada sobre o kit aeromédico.

Estas elevações nos valores das acelerações RMS médias, em especial às obtidas no eixo x , são causadas pela forma de fixação do kit aeromédico e pelo posicionamento da incubadora sobre a maca.

Para o modelo do kit existente, a base de fixação da maca é afixada ao trilho do assento do copiloto. A maca rígida é então posicionada sobre esta base, como visto na Figura 79.



Figura 79 – Fixação do kit aeromédico na aeronave AS350 B2, prefixo PR-BNU.

Pelas dimensões da incubadora, não é possível posicionar a incubadora sobre a maca rígida de forma que o seu peso seja descarregado diretamente sobre o trilho, causando um braço entre o vetor peso e a fixação. Ainda, por ser bastante longa, grande parte da sua dimensão permanece em balanço, como pode ser visto na Figura 80. Ou seja, quanto maior a viga em balanço, ao analisar a extremidade, maior será a flexão da viga o que resulta em maior deslocamento e, conseqüentemente, maior aceleração da extremidade.



Figura 80 – Maca do kit aeromédico da aeronave AS350 B2, prefixo PR-BNU.

Ao analisar os espectros das acelerações nos eixos x , y e z , vistos nas Figuras 81 e 82, para ambos os casos (com e sem kit aeromédico), observa-se que os picos coincidem, principalmente, com as frequências de passagem de pás dos rotores principal de cauda e seus harmônicos, tais como 19,8 Hz para o rotor principal e 69,6 Hz para o rotor de cauda. Ainda, observam-se picos referentes ao eixo curto em aproximadamente 100 Hz, como visto na Página 78. Nota-se também uma resposta atenuada acima de 200 Hz. Ambos os fenômenos são esperados pelas características operacionais da aeronave. Os espectros foram obtidos com a análise VFR-FFT (número de amostras 131.072, janela Hanning, sobreposição de 50 % e largura de banda VFR alta).

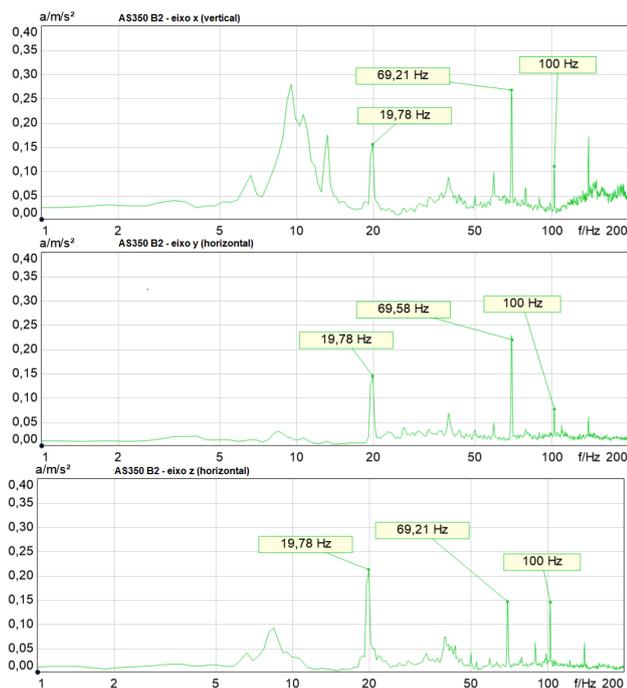


Figura 81 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave AS350 B2, prefixo PR-HTA, em um dos voos em velocidade de cruzeiro a 110kt, com as portas fechadas e sem o kit aeromédico.

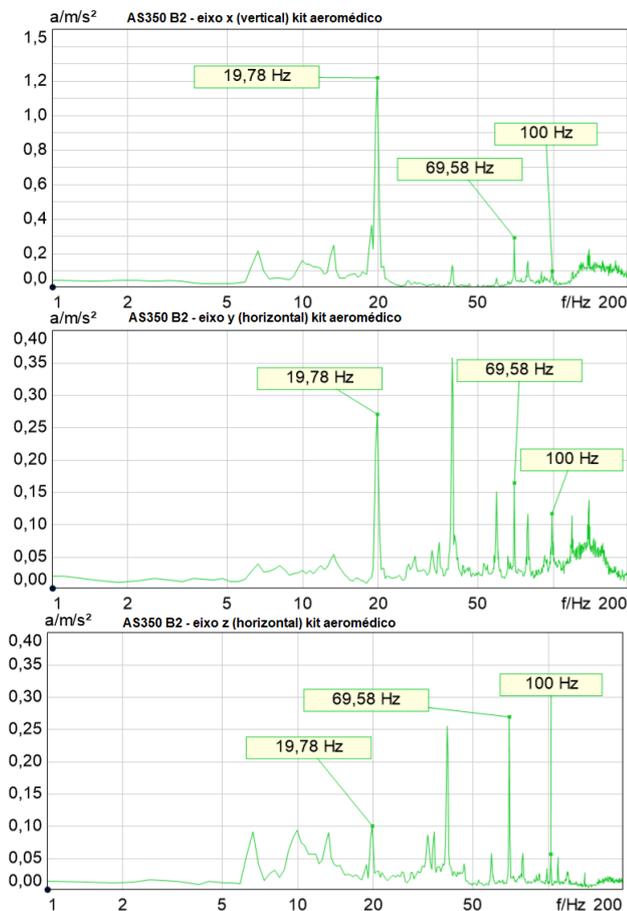


Figura 82 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z, obtido na aeronave AS350 B2, prefixo PR-BNU, em um dos voos em velocidade de cruzeiro a 110kt, com as portas fechadas e com kit aeromédico instalado.

4.4.1.2 Vibração na incubadora transportada em aeronaves AW119 MkII

Assim como no caso da aeronave AS350 B2, os valores obtidos na aeronave AW119 MkII foram utilizados para as definições estatísticas do modelo. Como podem ser vistos nas Tabelas 54, 55 e 56, os valores calculados para a média e mediana são muito semelhantes para todos os casos, indicando que tanto a média quanto a mediana são medidas representativas de tendência central. Os desvios padrão apresentam baixos valores o que indica que os dados estão próximos da média, mediana ou do valor esperado.

A Figura 83 apresenta os diagramas de blocos dos valores das acelerações RMS medidos nos eixos x , y e z da bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, durante diversas configurações de voo, onde a incubadora foi transportada sobre a própria maca da aeronave AW119 MkII.

Tabela 54 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo x durante o voo na aeronaves AW119 MkII, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 3$).

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,90	0,10	0,82	0,85	0,88	0,95	1,01
taxi	1,00	0,04	0,96	0,98	1,00	1,02	1,04
decolagem	1,26	0,28	1,06	1,16	1,26	1,35	1,45
40kt	2,62	0,91	1,81	2,13	2,44	3,03	3,61
50kt	1,57	0,35	1,20	1,41	1,62	1,76	1,90
60kt	1,20	0,32	1,00	1,02	1,03	1,30	1,57
70kt	1,21	0,29	1,01	1,05	1,08	1,31	1,54
80kt	1,13	0,32	0,93	0,95	0,97	1,24	1,50
90kt	1,16	0,34	0,95	0,97	0,98	1,27	1,55
100kt	1,35	0,43	1,08	1,11	1,13	1,49	1,85
110kt	1,40	0,33	1,17	1,21	1,24	1,51	1,78
120kt	1,82	0,49	1,39	1,56	1,72	2,04	2,35
130kt	2,32	0,49	1,94	2,05	2,15	2,51	2,87
140kt	2,73	0,18	2,61	2,63	2,64	2,79	2,93
360	1,51	0,74	1,05	1,09	1,12	1,75	2,37
OGE	0,97	0,05	0,94	0,94	0,94	0,98	1,02
pouso	2,94	-	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94

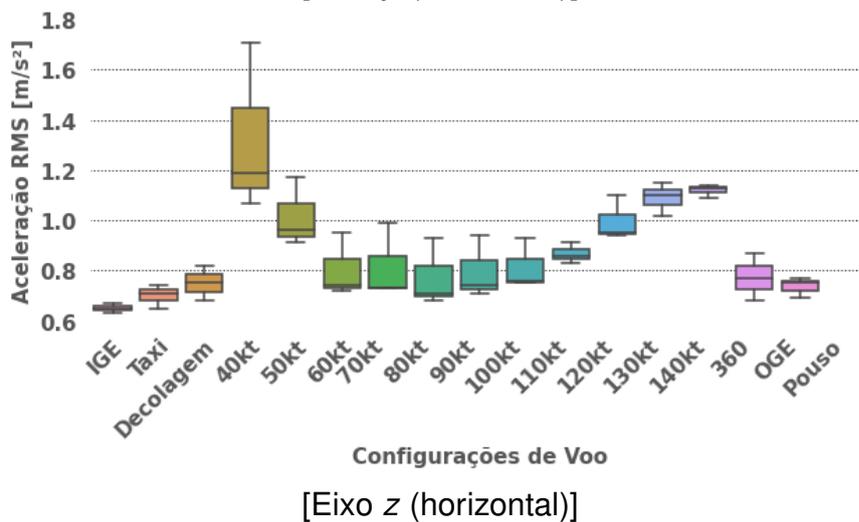
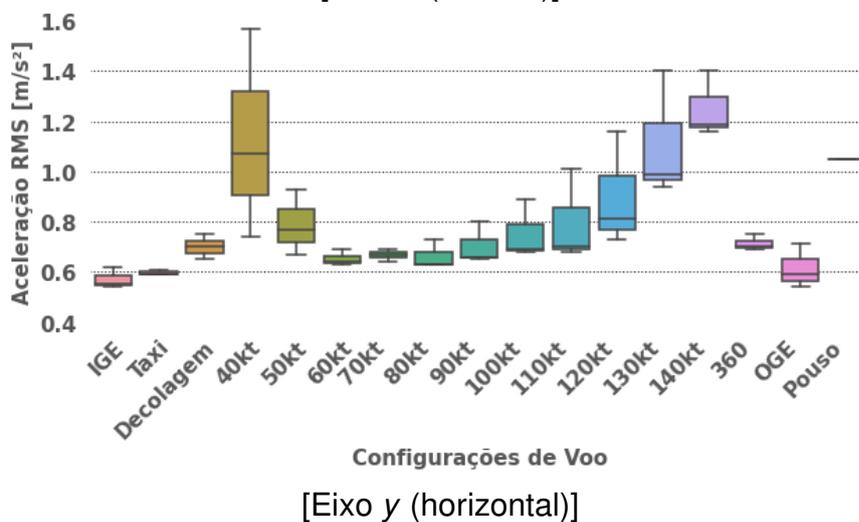
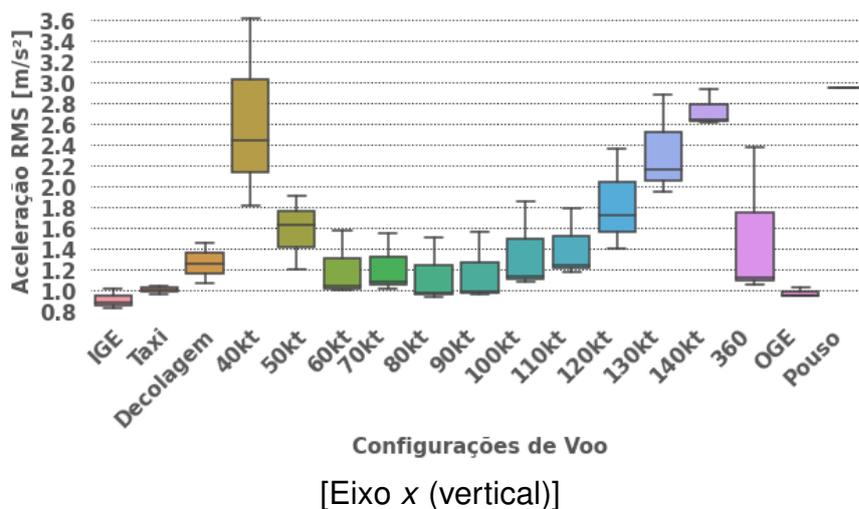


Figura 83 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave AW119 MkII, refixo PR-PMM, em diversas configurações de voo com portas fechadas ($n = 3$).

Tabela 55 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo y durante o voo na aeronaves AW119 MkII, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 3$).

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,57	0,04	0,54	0,55	0,55	0,59	0,62
taxi	0,60	0,01	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61
decolagem	0,70	0,07	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75
40kt	1,13	0,42	0,74	0,91	1,07	0,13	1,57
50kt	0,79	0,13	0,67	0,72	0,77	0,85	0,93
60kt	0,65	0,03	0,63	0,64	0,64	0,67	0,69
70kt	0,67	0,03	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69
80kt	0,66	0,06	0,63	0,63	0,63	0,68	0,73
90kt	0,70	0,08	0,65	0,66	0,66	0,73	0,80
100kt	0,75	0,12	0,68	0,69	0,69	0,79	0,89
110kt	0,80	0,19	0,68	0,69	0,70	0,86	1,01
120kt	0,90	0,23	0,73	0,77	0,81	0,99	1,16
130kt	1,11	0,25	0,94	0,97	0,99	1,20	1,40
140kt	1,25	0,13	1,16	1,18	1,19	1,30	1,40
360	0,71	0,03	0,69	0,70	0,70	0,73	0,75
OGE	0,61	0,09	0,54	0,57	0,59	0,65	0,71
pouso	1,05	-	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05

Tabela 56 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo z durante o voo na aeronaves AW119 MkII, em diversas configurações de voo com as portas fechadas ($n = 3$).

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
IGE	0,65	0,02	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67
taxi	0,70	0,05	0,65	0,68	0,71	0,73	0,74
decolagem	0,75	0,10	0,68	0,72	0,75	0,79	0,82
40kt	1,32	0,34	1,07	1,13	1,19	1,45	1,71
50kt	1,01	0,14	0,91	0,94	0,96	1,07	1,17
60kt	0,80	0,13	0,72	0,73	0,74	0,85	0,95
70kt	0,82	0,15	0,73	0,73	0,73	0,86	0,99
80kt	0,77	0,14	0,68	0,70	0,71	0,82	0,93
90kt	0,80	0,13	0,71	0,73	0,74	0,84	0,94
100kt	0,81	0,10	0,75	0,76	0,76	0,85	0,93
110kt	0,87	0,04	0,83	0,85	0,86	0,89	0,91
120kt	1,00	0,09	0,94	0,95	0,95	1,03	1,10
130kt	1,09	0,07	1,02	1,06	1,10	1,13	1,15
140kt	1,12	0,03	1,09	1,11	1,13	1,14	1,14
360	0,77	0,10	0,68	0,73	0,77	0,82	0,87
OGE	0,74	0,04	0,69	0,72	0,75	0,76	0,77
pouso	1,81	-	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81

No caso da aeronave AW119 MkII, as magnitudes da aceleração RMS (sem ponderação) nos eixos x , y e z também variam bastante dependendo da configuração de voo e da velocidade de cruzeiro.

Ainda, ao analisar espectro das acelerações nos eixos x , y e z da aeronave AW119 MkII, na Figura 84, é possível observar que os picos coincidem, principalmente, com as frequências de passagem de pás dos rotores principal de cauda e seus harmônicos, tais como 26,1 Hz para o rotor principal e 70,8 Hz para o rotor de cauda. Ainda, observam-se picos referentes ao eixo curto em aproximadamente 77,6 Hz, como visto na Página 78. Nota-se também uma atenuação acima e 200 Hz. Os espectros foram obtidos com a análise VFR-FFT (número de amostras 131.072, janela Hanning, sobreposição de 50 % e largura de banda VFR alta).

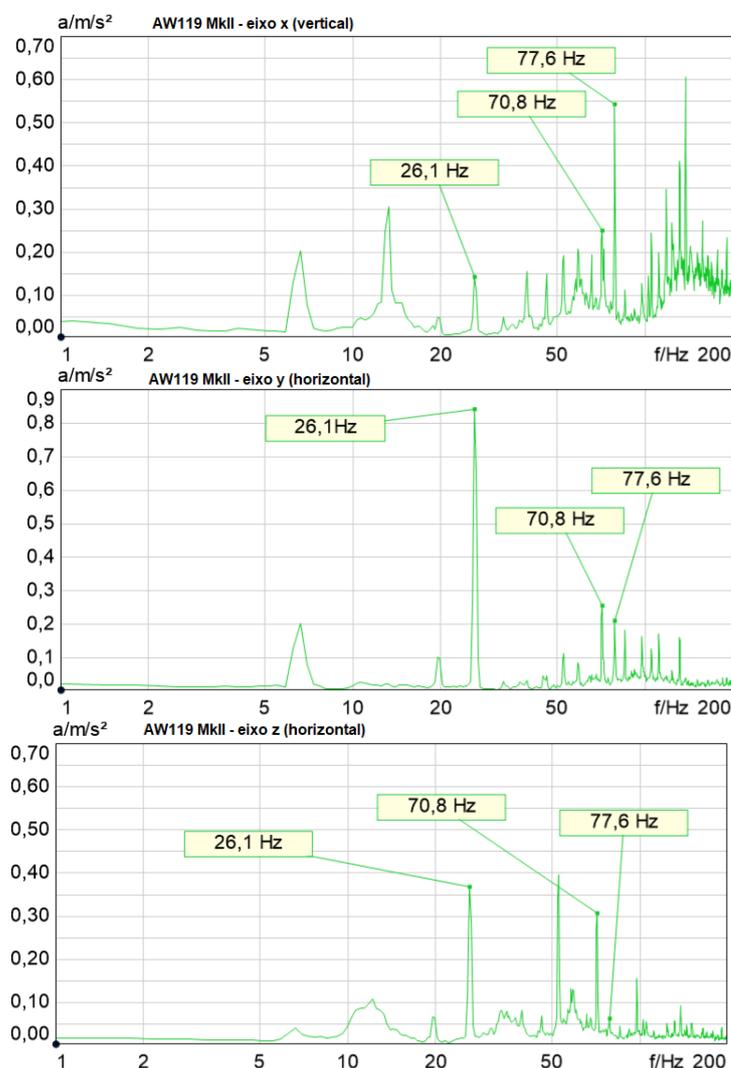


Figura 84 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x , y e z , obtido na aeronave AW119 MkII, prefixo PR-PMM, em um dos voos em velocidade de cruzeiro a 140kt, com as portas fechadas.

4.4.1.3 Resumo das acelerações RMS médias nas aeronaves de asas rotativas

A Tabela 57 apresenta um resumo das acelerações RMS médias das aeronaves de asas rotativas. Esses valores poderão ser comparados com os valores das aeronaves de asas fixas.

Tabela 57 – Resumo das médias das acelerações RMS, em m/s^2 , medidos nos eixos x , y e z , durante o voo nas aeronaves de asas rotativas, em diversas configurações de voo.

Configuração	AS350 B2			AS350 B2 kit			AW119 MkII		
	\bar{a}_x	\bar{a}_y	\bar{a}_z	\bar{a}_x	\bar{a}_y	\bar{a}_z	\bar{a}_x	\bar{a}_y	\bar{a}_z
decolagem	0,75	0,46	0,42	1,51	0,71	0,48	1,26	0,70	0,75
cruzeiro 100 kt	1,08	0,63	0,48	2,09	0,88	0,51	1,35	0,75	0,81
cruzeiro 110 kt	1,14	0,65	0,49	2,40	1,12	0,69	1,40	0,80	0,87
cruzeiro 130 kt	-	-	-	-	-	-	2,32	1,11	1,09
cruzeiro 140 kt	-	-	-	-	-	-	2,73	1,25	1,12
pouso	1,11	0,59	0,53	1,82	0,78	0,75	2,94	1,05	1,81

4.4.2 Vibração na incubadora transportada em aeronaves de asas fixas

Serão apresentados os gráficos e tabelas das vibrações medidas no interior da incubadora FANEM IT-158 TS em diversas configurações de voo nas aeronaves de asas fixas Cessna C206H, Cessna C210N e Embraer EMB-820C.

As figuras e os gráficos serão apresentados por modelo de aeronave, porém a análise dos resultados será descrita de forma conjunta.

As Tabelas 58, 59 e 60, apresentam os dados estatísticos para a aeronave Cessna C206H.

Tabela 58 – Estatísticas das acelerações RMS, em m/s^2 , medidos no eixo x durante o voo na aeronaves C206H, em diversas configurações de voo.

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	1,09	-	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
cruzeiro	1,05	0,03	1,02	1,03	1,05	1,07	1,08
pouso	1,27	-	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27

Tabela 59 – Estatísticas das acelerações RMS, em m/s^2 , medidos no eixo y durante o voo na aeronaves C206H, em diversas configurações de voo.

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	0,77	-	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
cruzeiro	0,43	0,09	0,37	0,39	0,39	0,40	0,61
pouso	0,60	-	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Tabela 60 – Estatística das acelerações RMS, em m/s², medidas no eixo z durante o voo na aeronaves C206H, em diversas configurações de voo.

config. Voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	0,76	-	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
cruzeiro	0,46	0,08	0,41	0,41	0,43	0,46	0,62
pouso	0,62	-	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62

A Figura 85 apresenta os diagramas de blocos dos valores das acelerações RMS medidos nos eixos x, y e z da bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, durante diversas configurações de voo, onde a incubadora foi transportada sobre a piso da aeronave Cessna C206H.

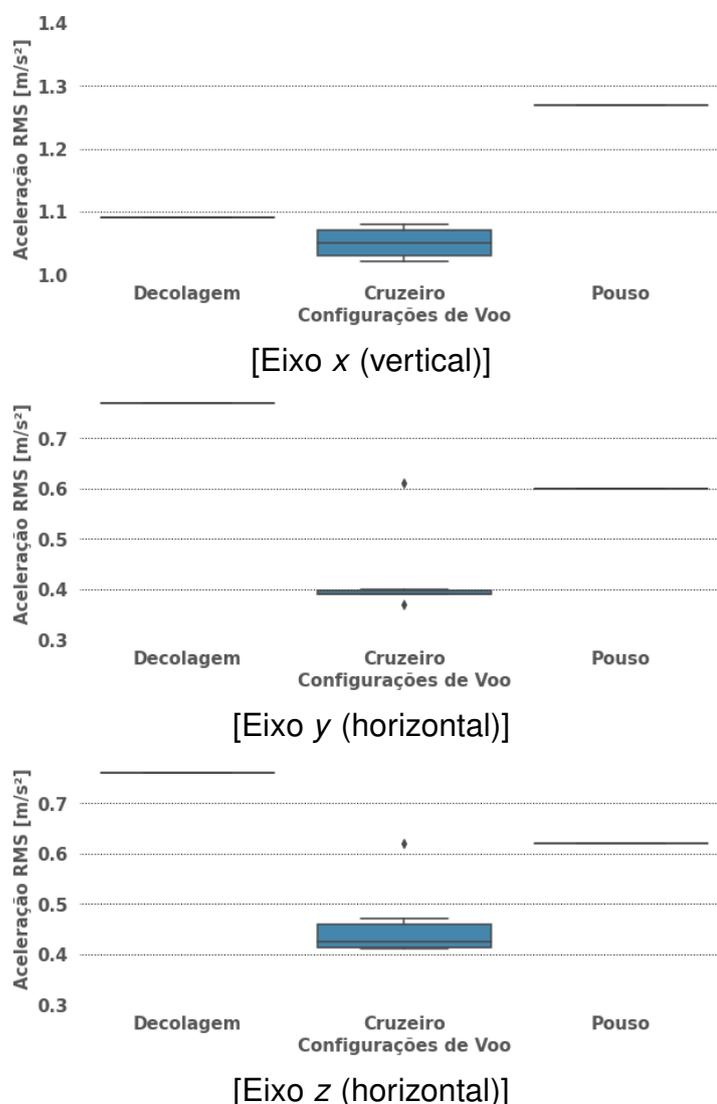


Figura 85 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na Cessna C206H, em diversas configurações de voo.

As Tabelas 61, 62 e 63, apresentam os dados estatísticos para a aeronave Cessna C210N.

Tabela 61 – Estatísticas das acelerações RMS, em m/s^2 , medidas no eixo x durante o voo na aeronaves C210N, em diversas configurações de voo.

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	1,24	-	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
cruzeiro	1,24	0,04	1,19	1,22	1,22	1,25	1,30
pouso	1,15	-	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Tabela 62 – Estatísticas das acelerações RMS, em m/s^2 , medidas no eixo y durante o voo na aeronaves C210N, em diversas configurações de voo.

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	0,74	-	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
cruzeiro	0,78	0,05	0,73	0,74	0,78	0,78	0,86
pouso	0,77	-	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77

Tabela 63 – Estatísticas das acelerações RMS, em m/s^2 , medidas no eixo z durante o voo na aeronaves C210N, em diversas configurações de voo.

config. Voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	0,71	-	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
cruzeiro	0,63	0,04	0,60	0,60	0,62	0,66	0,69
pouso	0,77	-	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77

A Figura 86 apresenta os diagramas de blocos dos valores das acelerações RMS medidos nos eixos x, y e z da bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, durante diversas configurações de voo, onde a incubadora foi também transportada sobre a piso da aeronave Cessna C210N.

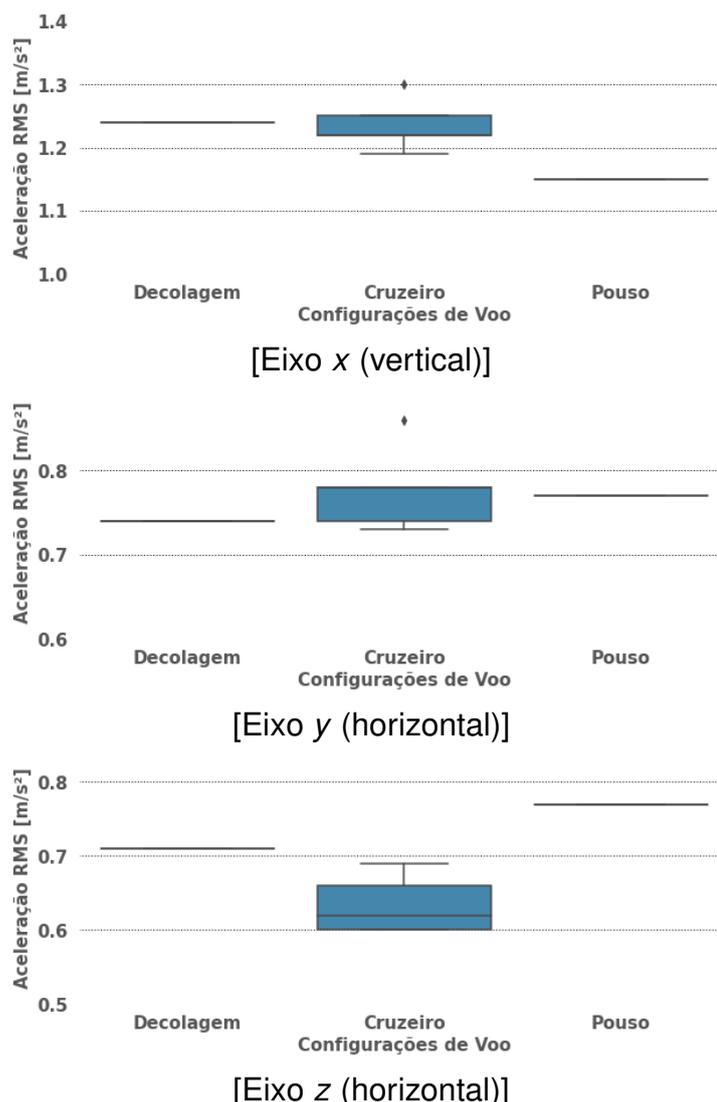


Figura 86 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave Cessna C210N, em diversas configurações de voo.

Por sua vez, as Tabelas 64, 65 e 66, apresentam os dados estatísticos para a aeronave EMB-820C.

Tabela 64 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s², medidos no eixo x durante o voo na aeronaves EMB-820C, em diversas configurações de voo.

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	0,99	0,19	0,85	0,92	0,99	1,05	1,12
cruzeiro	1,03	0,24	0,78	0,87	0,90	1,14	1,47
pouso	1,63	-	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63

A Figura 87 apresenta os diagramas de blocos dos valores das acelerações RMS medidos nos eixos x, y e z da bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, durante diversas configurações de voo, onde a incubadora foi transportada sobre a maca do kit aeromédico da aeronave EMB-820C.

Tabela 65 – Estatísticas da aceleração RMS, em m/s^2 , medidos no eixo y durante o voo na aeronaves EMB-820C, em diversas configurações de voo.

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	0,48	0,01	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49
cruzeiro	0,44	0,04	0,39	0,41	0,43	0,45	0,55
pouso	0,50	-	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tabela 66 – Estatística das acelerações RMS, em m/s^2 , medidas no eixo z durante o voo na aeronaves EMB-820C, em diversas configurações de voo.

config. voo	média	d. padrão	min	1° quartil	mediana	3° quartil	máx
decolagem	0,45	0,06	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49
cruzeiro	0,52	0,08	0,33	0,48	0,50	0,56	0,66
pouso	0,53	-	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53

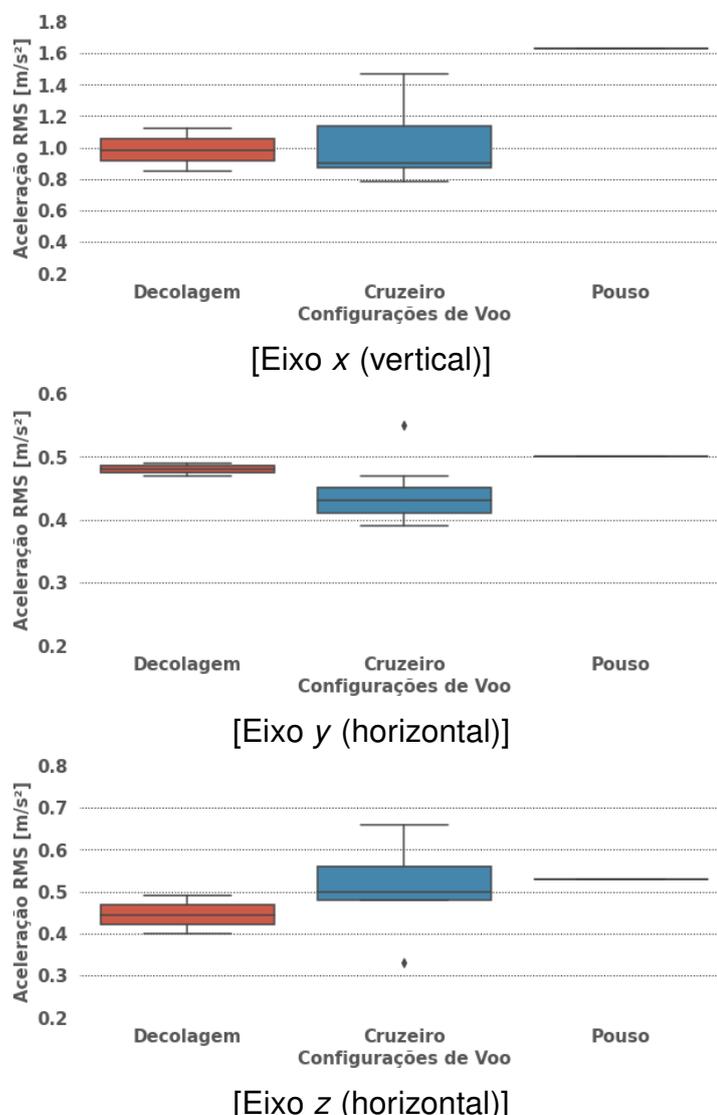


Figura 87 – Diagrama de caixas da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave Embraer EMB-820C, em diversas configurações de voo.

4.4.2.1 Análise conjunta das aeronaves de asas fixas

Assim como visto nas aeronaves de asas rotativas, através das Tabelas 58 a 66, observa-se que tanto as médias quanto as medianas das acelerações RMS são muito semelhantes para todos os casos, indicando que tanto a média quanto a mediana são medidas representativas de tendência central. Da mesma forma, os desvios padrão são pequenos, o que indica que os dados estão próximos da média, mediana ou do valor esperado.

Conforme esperado, as acelerações RMS (sem ponderação) nos eixos x , y e z , em todas as aeronaves, variam bastante dependendo do estágio do voo, sendo menores durante o voo de cruzeiro e maiores nas decolagens e pousos.

Os valores das acelerações RMS (sem ponderação) medidos no eixo x , durante o pouso, tenderam a serem maiores do que os valores medidos nas demais configurações de voo.

Ainda, da mesma forma como observado nas aeronaves de asas rotativas, ao analisar o espectro da aceleração nos eixos x , y e z (Figuras 88 a 90), das aeronaves de asas fixas, observa-se que os picos coincidem à frequência de passagem de pás das hélices, sendo 115 Hz para as aeronaves C210N e C206H, e 93 Hz para o Embraer EMB-820C e com as frequências de rotação dos motores, sendo 19 Hz para as aeronaves C210N e C206H, e 30 Hz para o Embraer EMB-820C. Da mesma forma como nas aeronaves de asas rotativas, nota-se uma acelerações menores em frequências superiores a 200Hz. Os espectros foram obtidos com a análise VFR-FFT (número de amostras 131.072, janela Hanning, sobreposição de 50 % e largura de banda VFR alta).

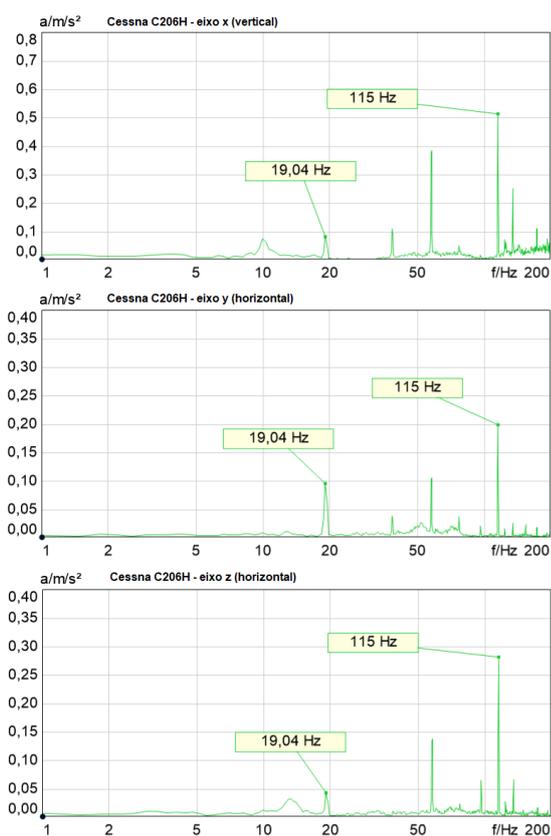


Figura 88 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave Cessna C206H, prefixo PP-IMA, em voo de cruzeiro a 115kt.

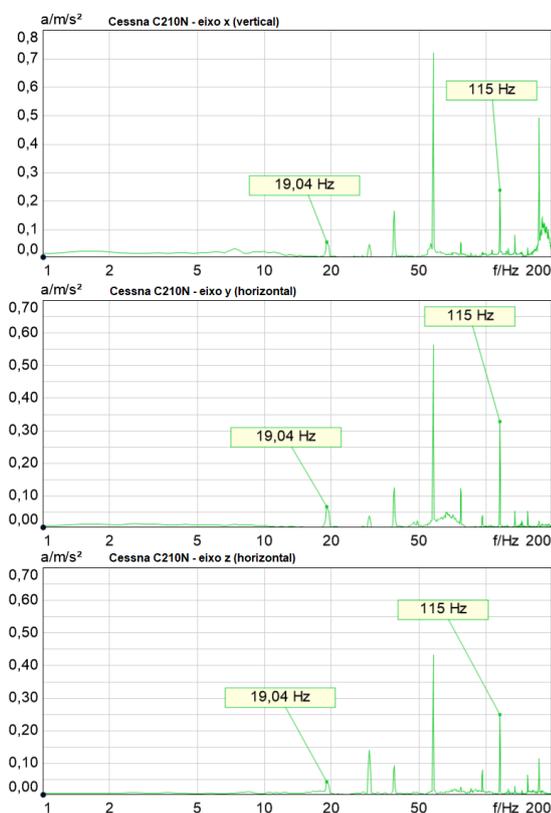


Figura 89 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave Cessna C210N, prefixo PR-EPH, em voo de cruzeiro a 140kt.

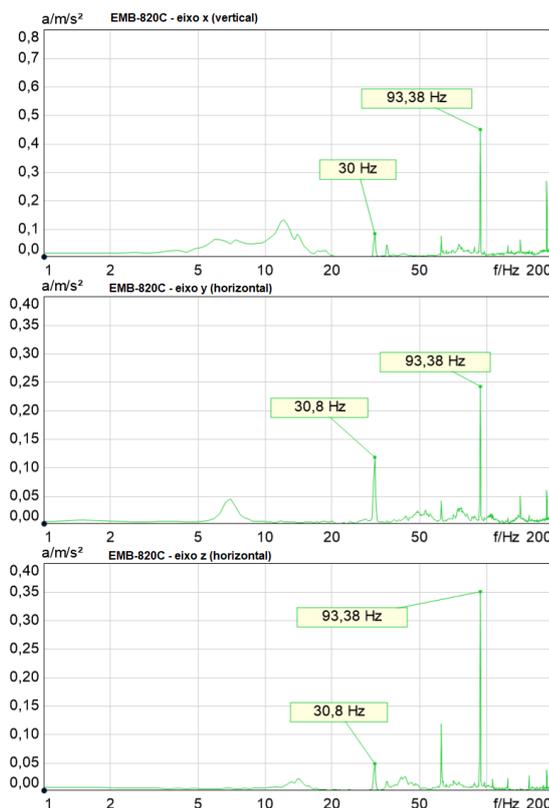


Figura 90 – Espectro de magnitude da aceleração RMS nos eixos x, y e z obtido na aeronave EMB-820C2, prefixo PT-RFT, em voo de cruzeiro a 200kt, com o kit aeromédico.

4.4.2.2 Resumo das acelerações RMS médias nas aeronaves de asas fixas

A Tabela 67 apresenta um resumo das acelerações RMS médias das aeronaves de asas fixas. Esses valores poderão ser comparados com os valores das aeronaves de asas rotativas.

Tabela 67 – Resumo das acelerações RMS médias (sem ponderação), em m/s^2 , medidos nos eixos z, y e x, durante o voo nas aeronaves de asas fixas, em diversas configurações de voo.

Configuração	C206H			C210N			EMB-820C		
	\bar{a}_x	\bar{a}_y	\bar{a}_z	\bar{a}_x	\bar{a}_y	\bar{a}_z	\bar{a}_x	\bar{a}_y	\bar{a}_z
decolagem	1,09	0,77	0,76	1,24	0,74	0,71	0,99	0,48	0,45
cruzeiro	1,05	0,43	0,46	1,24	0,78	0,63	1,03	0,44	0,52
pouso	1,27	0,60	0,62	1,15	0,77	0,77	1,63	0,50	0,53

4.5 DOSES DE EXPOSIÇÃO

Nesta seção, será apresentada uma análise estatística sobre os voos de transferências aeromédicas realizadas pelo BOA/CBMSC e SAMU durante os 12 anos de ativação, indicando o tempo médio de voo e o perfil de voo de cada tipo de aeronave (asas fixas ou rotativas. Na sequência, apresentam-se os cálculos das doses média de exposição ao ruído diária ($L_{EP,d}$) e semanal ($L_{EP,w}$), tanto para um paciente transportado no interior da cabine das aeronaves, quanto para pacientes transportados no interior da incubadora Fanem IT-158 TS.

4.5.1 Perfil de voo durante transporte aeromédico

Tendo em vista que para serem possíveis os cálculos das doses são necessários os tempos de exposição para cada período ou etapa e considerando que para a análise dos dados envolvendo a utilização de incubadora somente faz sentido para os casos de transporte aeromédico, foi feita uma análise estatística do padrão de voo das aeronaves do BOA/CBMSC, proporcionando assim um melhor direcionamento da análise dos dados coletados.

As estatísticas descritivas do tempo total médio de voo durante as missões de transporte aeromédico realizadas pelo BOA/SC são fornecidas em termos de 1º quartil, mediana, 3º quartil e intervalo interquartil na Figura 91. Vê-se que as distribuições são razoavelmente simétricas, com a presença de um número considerável de valores discrepantes na extremidade superior.

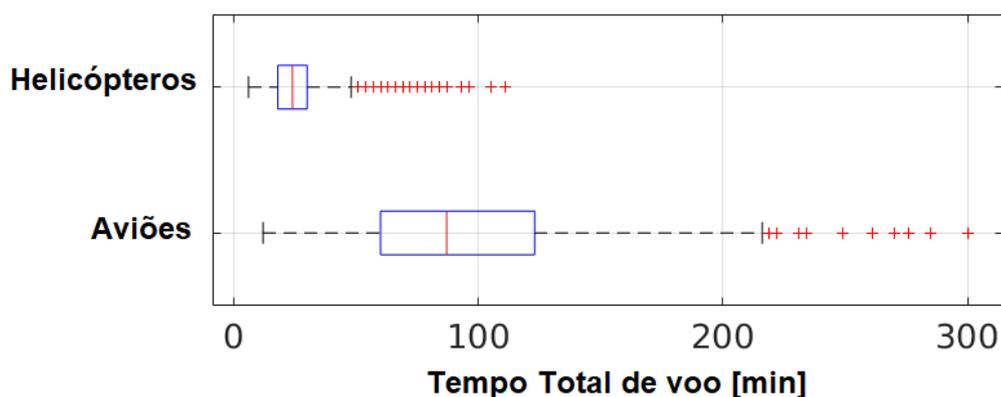


Figura 91 – Diagrama de blocos do tempo total médio de voo durante as missões de transporte aeromédico realizadas pelo BOA/SC entre 2010 a 2022, $n_{\text{helicópteros}} = 1211$; $n_{\text{aviões}} = 881$.. **Fonte:** do autor.

A partir da análise estatística verifica-se que o tempo médio de voo dos transportes aeromédicos utilizando asas rotativas do BOA/CBMSC é de 27 minutos, enquanto o tempo médio de voo em aeronaves de asa fixa do BOA/CBMSC é de 94 minutos, ou

1h 34min. Os dados estatísticos completos, incluindo desvios padrões e quartis foram analisados e estão mostrados na Tabela 68.

Tabela 68 – Estatísticas do tempo total médio de voo durante as missões de transporte aeromédico realizadas pelo BOA/SC entre 2010 a 2022 (em minutos)

tipo	1° Quartil	mediana	3° Quartil	média	d.padrão
helicópteros	18	24	33	27	14
aviões	60	87	123	94	47
Global	21	33	75	54	45

Para contextualizar os resultados da análise, é relevante observar que, conforme a Figura 92, enquanto para voos comerciais 57% do tempo total de voo é em cruzeiro, no transporte aeromédico esta proporção é diferente, pois os regulamentos de tráfego aéreo dão prioridade de pouso e decolagem para aeronaves em operações de busca e salvamento ou de transporte de pacientes gravemente doentes em comparação com outras aeronaves da aviação geral (BOEING, 2020).

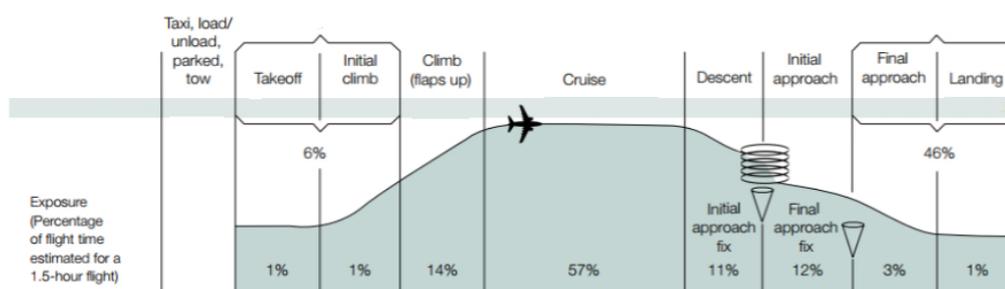


Figura 92 – Tempo de voo estimado para um voo de 1,5 horas com base na porcentagem de tempo de voo de aviões comerciais (BOEING, 2020).

Se forem comparadas às características de perfil de voo de operações comerciais com as dos transportes aeromédicos, observam-se em Santa Catarina as seguintes diferenças:

- o nível de voo (*flight level*) das aeronaves é inferior ao das aeronaves comerciais;
- o tempo total de voo nas transferências aeromédicas é menor;
- o tempo em que a aeronave está taxiando, pousando ou decolando também é menor.

Para aeronaves de asas rotativas, que estão sujeitas a diferentes regras de tráfego aéreo, estas diferenças são ainda maiores já que o tempo gasto em solo, durante os procedimentos de decolagem e embarque é ainda menor do que o tempo gasto em solo por aeronaves (de asas fixas) de transporte aeromédico, conforme mostra a Figura 93.

Cabe salientar que, para aviões, a decolagem pode ser considerada desde a corrida até atingir aproximadamente 400 pés, quando os *flaps* são recolhidos e a subida começa. Já para helicópteros, geralmente, as fases de decolagem e subida não podem ser separadas uma das outras e podem ser consideradas começando com a decolagem vertical até atingir aproximadamente 500 pés, quando se inicia o voo de cruzeiro.

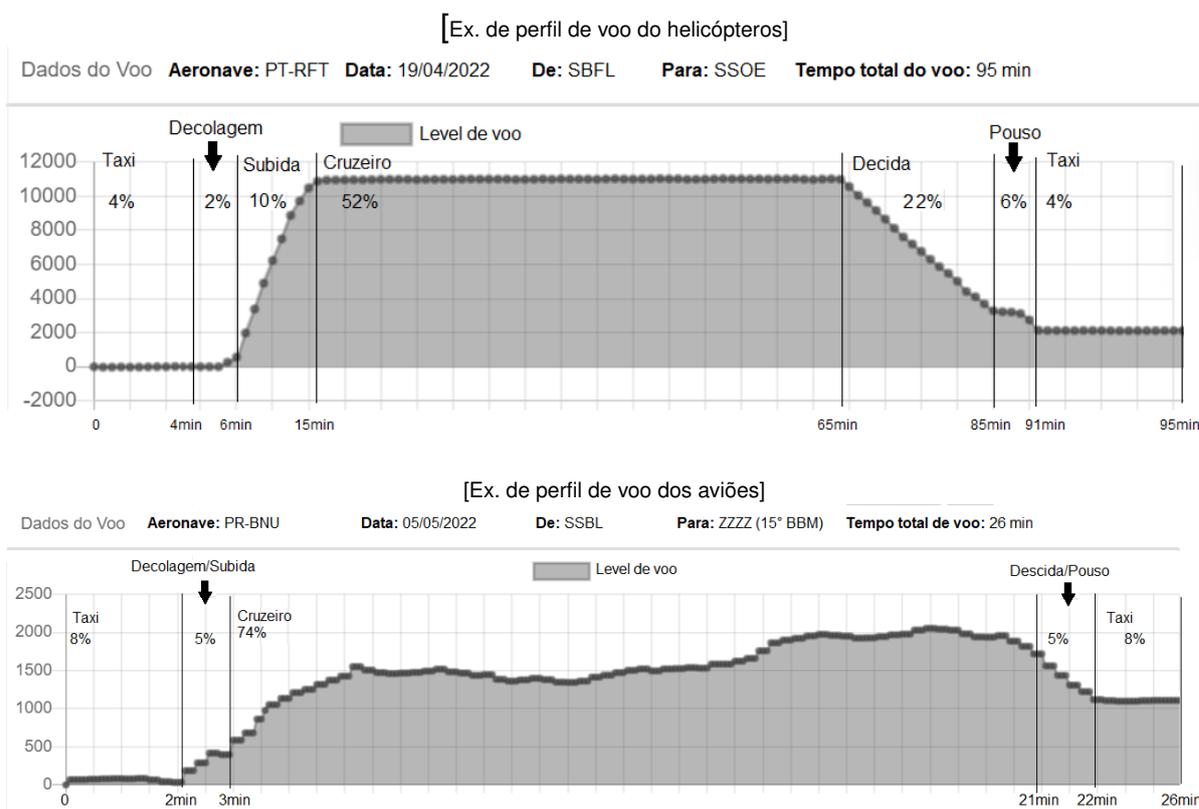


Figura 93 – Perfis típicos de voo das aeronaves do BOA/CBMSC durante transferências aeromédicas (BOA, 2022).

A partir dos registros do sistema de gestão operacional (Followair) utilizado pelo BOA/CBMSC, o tempo médio gasto nos procedimentos de táxi, decolagem/subida e descida/pouso é de até 26% do tempo total de voo para asas rotativas e é de até 48% para asas fixas (BOA, 2022). Isso significa que em média mais de 50 ou 70% do tempo total de voo as aeronaves permanecem em voo de cruzeiro.

Para o transporte aeromédico é, portanto, razoável analisar especialmente as situações de voo de cruzeiro, que podem ocorrer com velocidades diferentes dependendo da aeronave. Enquanto as aeronaves de asa fixa tem uma única velocidade de cruzeiro, as asas rotativas geralmente voam com velocidades entre 100 e 110 kt [DC e DO] para o AS350 B2 e entre 130 e 140 kt para o AW119 MkII [DC]. Durante as missões de transferência, o estado de saúde do paciente é importante para determinar o nível de voo, a velocidade e outras condições de voo. Por exemplo, durante a transferência de um paciente politraumatizado, se transferido por um AS350 B2 sem

kit aeromédico instalado, será necessário voar com a porta traseira esquerda aberta e velocidades mais baixas para evitar o impacto direto do vento nos membros inferiores do paciente.

4.5.2 Dose de exposição ao ruído

4.5.2.1 Dose de exposição ao ruído diário (apenas voo)

A dose de exposição ao ruído diário ($L_{EP,d}$), será determinada com

$$L_{EP,d} = 10 \log \left(\frac{\sum t_i \cdot 10^{L_i/10}}{t_{total}} \right) \quad (2)$$

em que, conforme South (2004), os L_i são os L_{Aeq} de cada período t_i e o t_{total} é tempo base, sendo de 8 horas ou 480 min, para o cálculo da dose diária. Utilizando outros tempos totais t_{total} outras doses, não diárias, podem ser determinadas, dependendo do interesse da pesquisa.

Os tempos totais médios de voo das aeronaves durante os transportes aeromédicos foram definidos estatisticamente e ao serem utilizados como tempos de exposição, deverão ser chamados de tempo de exposição médios, para possibilitar uma correta interpretação.

Tabela 69 – Tempos de exposição médios utilizados para o cálculo da dose de exposição, conforme etapas de voo vistos no Seção 4.5.1.

aeronaves	etapa do voo	tempo [min]	tempo total de voo [min]
helicópteros	decolagem	3	27
	cruzeiro	19	
	pouso	5	
aviões	decolagem	6	94
	cruzeiro	78	
	pouso	10	

Com os dados das Tabelas 69 e 70, determinaram-se as doses médias de exposição ao ruído conforme Tabela 71, para um paciente transportado no interior da cabine dos helicópteros AS350 B2 e AW119 MkII e conforme Tabela 72 para as aeronaves de asas fixas, assumindo-se 27 minutos e 94 minutos de exposição total respectivamente.

Ao analisar os dados para o AS350 B2 é possível notar que há um relativo aumento no L_{EP} calculado para o interior da cabine nos casos onde a porta traseira esquerda encontra-se aberta. As doses L_{EP} internos da cabine são cerca de 4 dB maiores do que os calculados para voos com as portas fechadas, tanto para voos de cruzeiro com velocidades de 100 kt quanto para 110kt.

Ao analisar as doses médias calculadas no interior da cabine do AW119 MkII, observa-se que as doses são maiores se comparas à aeronave AS350 B2 com as

Tabela 70 – Níveis de pressão sonora equivalentes médios ponderados em A utilizados o cálculo da dose de exposição nas etapas do voo vistos na Seção 4.1.

aeronave	etapa do voo	conf. portas	L_{Aeq}
AS350 B2	decolagem	DC	90
		DO	94
	cruzeiro 100kt	DC	93
		DO	97
	cruzeiro 110kt	DC	95
		DO	99
	pouso	DC	91
		DO	98
AW119 MkII	decolagem	DC	96
	cruzeiro 100kt	DC	97
	cruzeiro 110kt	DC	99
	cruzeiro 130kt	DC	101
	cruzeiro 140kt	DC	103
	pouso	DC	100
C206H	decolagem	DC	91
	cruzeiro 115kt	DC	92
	pouso	DC	86
C210N	decolagem	DC	90
	cruzeiro 140kt	DC	91
	pouso	DC	87
EMB-820C	decolagem	DC	89
	cruzeiro 200kt	DC	96
	pouso	DC	90

portas fechadas. Já, ao se comparar com o AS350 B2 com a porta traseira esquerda aberta, as doses para velocidades de cruzeiro de 100 e 110 kt são bastante semelhantes. Contudo, as doses no AW119 MkII para velocidades de 130 e 140 kt, são consideravelmente maiores.

Por sua vez, apesar de que os transportes em aeronaves de asas fixas apresentam tempos médios de voo maiores, pelo fato de serem empregadas em transportes de longa distância, os NPS médios menores se comparado às aeronaves de asas rotativas, resultam em doses L_{EP} muito próximos aos encontrados nos helicópteros, em alguns casos até maiores.

Para as aeronaves C206H e C210N determinaram-se doses L_{EP} semelhantes, enquanto que a dose de exposição no EMB-820C é cerca de 4 dB superior.

Ainda, nas Tabelas 73 e 74, verificam-se as doses médias de exposição ao ruído L_{EP} para um recém-nascidos transportado no interior da incubadora Fanem IT-158 TS com as portinholas fechadas³

Da mesma forma como visto anteriormente na análise do L_{EP} no interior da

³ Neste caso, nenhuma das aeronaves necessita voar com as portas abertas.

Tabela 71 – Doses de exposição médias ao ruído (L_{EP}) de um paciente transportado no interior da cabine das aeronaves de asas rotativas, com as portas fechadas ou com a porta traseira esquerda aberta (no caso do AS 350 B2), durante um transporte aeromédico padrão.

aeronave	config. do voo	tempo (min)	L_{Aeq}	L_{EP} [dBA]	configuração
AS350 B2	decolagem	3	90	92	DC
	cruzeiro 100kt	19	93		
	pouso	5	91		
	decolagem	3	94	97	DO
	cruzeiro 100kt	19	97		
	pouso	5	98		
	decolagem	3	90	94	DC
	cruzeiro 110kt	19	95		
pouso	5	91			
decolagem	3	94	98	DO	
cruzeiro 110kt	19	99			
pouso	5	98			
AW119 MKII	decolagem	3	96	98	DC
	Cruzeiro 100kt	19	97		
	pouso	5	100		
	decolagem	3	96	99	DC
	cruzeiro 110kt	19	99		
	pouso	5	100		
	decolagem	3	96	100	DC
	cruzeiro 130kt	19	101		
pouso	5	100			
decolagem	3	96	102	DC	
cruzeiro 140kt	19	103			
pouso	5	100			

Tabela 72 – Doses médias de exposição ao ruído (L_{EP}) de um paciente transportado no interior das cabines das aeronaves de asas fixas, durante um transporte aeromédico padrão.

aeronave	config. do voo	tempo (min)	L_{Aeq}	L_{EP} [dBA]
C206H	decolagem	6	91	92
	druzeiro 115kt	78	92	
	pouso	10	86	
C210N	decolagem	6	90	91
	cruzeiro 140kt	78	91	
	pouso	10	87	
EMB-820C	decolagem	6	89	95
	cruzeiro 200kt	78	96	
	pouso	10	90	

cabine, as doses no interior da incubadora com as portinholas fechadas nas aeronaves de asas rotativas, são bastante próximos aos valores obtidos no interior da incubadora

Tabela 73 – Dose média de exposição ao ruído (L_{EP}) de um RN transportado no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, durante um transporte aeromédico padrão nas aeronaves de asas rotativas com as portas fechadas.

	config. do voo	tempo (min)	L_{Aeq}	L_{EP} [dBA]
AS350 B2	decolagem	3	81	84
	cruzeiro 100kt	19	84	
	pouso	5	83	
	decolagem	3	81	85
	cruzeiro 110kt	19	86	
	pouso	5	83	
AW 119 MkII	decolagem	3	84	85
	cruzeiro 100kt	19	84	
	pouso	5	89	
	decolagem	3	84	86
	cruzeiro 110kt	19	85	
	pouso	5	89	
	decolagem	3	84	87
	cruzeiro 130kt	19	87	
	pouso	5	89	
	decolagem	3	84	88
	cruzeiro 140kt	19	88	
	pouso	5	89	

Tabela 74 – Dose média de exposição ao ruído (L_{EP}) de um RN transportado no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, durante um transporte aeromédico padrão nas aeronaves de asas fixas.

aeronave	config. do voo	tempo (min)	L_{Aeq}	L_{EP} [dBA]
C206H	Decolagem	6	81	83
	Cruzeiro 115kt	78	83	
	Pouso	10	82	
C210N	Decolagem	6	86	83
	Cruzeiro 140kt	78	83	
	Pouso	10	82	
EMB-820C	Decolagem	6	84	84
	Cruzeiro 200kt	78	84	
	Pouso	10	79	

nas aeronaves de asas fixas, sendo iguais ao se comparar os valores obtidos na aeronave AS350 B2 a 100kt com portas fechadas e os valores obtidos na aeronave EMB-820C.

Comparando-se os valores entre tipos de aeronaves, os valores vistos para os helicópteros e para os aviões são muito semelhantes, variando de 84 dBA a 88 dBA para os helicópteros e de 83 a 84 dBA para os aviões.

4.5.2.2 Dose de exposição diária ao ruído em situação combinada (voo e UTIN)

Neste item, o cálculo da Dose média diária de exposição ao ruído L_{EP} , foi realizado com base nos tempos de voo padrão para o transporte aeromédico de cada tipo de aeronave, os valores de NPS médio no interior da incubadora Fanem IT-158 TS e o NPS médio medido nas UTINs brasileiras.

Como NPS de referência nas incubadoras quando em UTIN, adotou-se a média dos NPS medidos no interior das incubadoras nas UTINs do Brasil, conforme apresentados na Tabela 10 da Seção 2.4. Assim, o NPS de referência no interior da incubadora nas UTINs é de 67 dBA.

Como tempo base utilizou-se 480 minutos (8 horas).

Desta forma, determinaram-se os valores das doses de exposição ao ruído diárias médias para um bebê submetido a um transporte aeromédico com duração de 27 minutos (para helicópteros) ou 94 minutos (para aviões) e o restante do tempo em uma UTIN.

Os valores estão apresentados na Tabela 75

Tabela 75 – Dose diária média ($L_{EP,d}$) considerando o transporte de um RN no interior da incubadora Fanem IT-158 TS, nas aeronaves de asas fixas e rotativas, obedecendo os tempos levantados no Capítulo 4.3 e 67 dBA como o valor médio de NPS no interior da incubadora nas UTIN brasileiras, para um período de 8 horas.

Aeronave	Local	Tempo (min)	$L_{EP,d}$ (etapa)	$L_{EP,d}$ (final)
AS350 B2	Voo 100kt	27	84	72
	UTIN	453	67	
	Voo 110kt	27	85	74
	UTIN	453	67	
AW119 MkII	Voo 100kt	27	85	74
	UTIN	453	67	
	Voo 110kt	27	86	74
	UTIN	453	67	
	Voo 130kt	27	87	75
	UTIN	453	67	
	Voo 140kt	27	88	76
	UTIN	453	67	
C206H	Voo 115kt	94	83	76
	UTIN	386	67	
C210N	Voo 140kt	94	83	77
	UTIN	386	67	
EMB-820C	Voo 200kt	94	84	77
	UTIN	386	67	

É possível observar que, apesar do fato dos RNs permanecerem a maior parte do tempo no interior da incubadora nas UTINs, como os níveis de pressão sonora médios durante o voo são maiores do que os apresentados nas UTIN, os valores

calculados para a dose diária média, levando em consideração o período do voo e da estada nas UTIN, apresentam também um aumento. Este aumento é de até 7 dB maior no caso da aeronave AS350 B2 a 110kt, até 9 dB maior no caso da aeronave AW119 MkII e de até 10 dB maior do que no caso da aeronave EMB-820C.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principal objetivo fazer a caracterização acústica do interior das aeronaves das Unidades Aéreas Públicas do Estado de Santa Catarina durante as atividades de busca, resgate e transporte aeromédico, seja ele envolvendo pacientes adultos ou pediátricos. Buscou-se caracterizar o ruído dentro da cabine e o ruído e as vibrações dentro da incubadora FANEM IT-158 TS quando usada para transporte de neonatos nas diferentes aeronaves. Ademais, procurou-se caracterizar a incubadora em termos da perda de inserção sonora que a mesma proporciona em situação de laboratório e em voo. Além disso, foram realizados os cálculos de dose de exposição ao ruído para possibilitar uma comparação adequada aos dados e informações disponíveis na literatura sobre o tema.

Durante a revisão bibliográfica, observou-se que apesar dos cuidados com o manejo adequado dos recém-nascidos serem amplamente estudados, diversos pontos apresentaram lacunas importantes a serem preenchidas tais como a ausência na literatura dos seguintes itens:

1. Valor de referência da dose máxima de exposição ao ruído (diária e semanal) para recém-nascidos;
2. Parâmetros de referência para a tolerância ou o conforto do neonato frente à vibração de corpo inteiro;
3. Valor de referência da dose máxima de exposição à vibração (adulto e pediátrico) na posição de decúbito dorsal;
4. Padronização dos locais e formas de mensuração das acelerações;
5. Padronização das escalas de mensuração utilizadas (dBA e dB) nos estudos;
6. Diferenciação entre diferentes níveis de pressão sonora equivalentes e máximos (L_{Aeq} vs. L_{Amax}) sobre ruído em aeronaves; e
7. Tempo de mensuração utilizados nos estudos.

Na revisão bibliográfica encontraram-se diversos trabalhos focados em medir e comparar os níveis de pressão sonora e de aceleração aos quais os bebês estão expostos durante o transporte aeromédico de neonatos nos diversos veículos e aeronaves empregados. Nenhum estudo contemplou os modelos utilizados pelo estado de Santa Catarina, nem as condições operacionais. Dessa forma, inicialmente foram estabelecidos critérios específicos de operação para as aeronaves de interesse (AS350 B2, AW119 MkII, C206H, C210N, BE-55 e EMB-820C) para garantir uma correta aproximação dos dados medidos com os enfrentados na prática. Aspectos tais como as velocidades, os padrões de decolagem e de pouso, as configurações da cabine e as limitações operacionais foram fatores importantes nas definições dos parâmetros de medição. Assim como foi necessário estabelecer um método específico para realizar

a caracterização das condições acústicas na incubadora, tanto na situação em solo (medição da diferença dos NPS dentro e fora da incubadora em laboratório) como em voo (medição da diferença dos NPS dentro e fora da incubadora em situação de voo e aceleração medidos na sua bandeja).

Dos resultados deste trabalho, verificou-se que os níveis de pressão sonora medidos no interior das aeronaves AS350 B2, AW119 MkII, C206H, C210N, BE-55 e EMB-820C são compatíveis com os encontrados em outros modelos de aeronaves.

Os NPS no interior da cabine das aeronaves de asas rotativas, tanto com as portas abertas quanto com as portas fechadas, são elevados. O AS350 B2 em voo de cruzeiro a 110kt apresentou L_{Aeq} médio de 95 dBA com as portas fechadas e 99 dBA com as portas abertas. Já o AW119 MkII em voo de cruzeiro a 80kt apresentou L_{Aeq} médio também de 95 dBA com as portas fechadas e de 99 dBA com as portas abertas. Já na velocidade máxima de cruzeiro (140 kt) o L_{Aeq} médio foi de 102 dBA com as portas fechadas. O aumento da velocidade resulta no aumento nos níveis de pressão sonora medidos no interior da cabine e a abertura da porta proporciona uma melhor percepção deste aumento devido ao fato de que, com a porta aberta, o campo acústico externo sobrepõe-se ao campo acústico interno, além da influência do ruído do escoamento de ar na fuselagem que se torna mais perceptível.

Os L_{Aeq} médios no interior da cabine das aeronaves de asas fixas, durante voo de cruzeiro, também são elevados, sendo de 91 dBA para o Cessna C206H, de 92 dBA para o Cessna C210N, de 89 dBA para o BE-55 e de 96 dBA para o EMB-820C.

Observou-se que os L_{Aeq} médios medidos no interior da cabine dos helicópteros, com as portas fechadas, são semelhantes aos níveis medidos nas cabines dos aviões, sendo, por exemplo, 95 dBA para o AS350 B2 a 110 kt e 98 dBA para o AW119 MkII a 110 kt e 96 dBA para o EMB-820C. Portanto, o transporte de neonatos nas aeronaves de asas rotativas estudadas não apresentam valores extremamente mais altos do que dos aviões, como acreditado pela equipe médica anteriormente.

Dos resultados apresentados sobre a incubadora, foi encontrada uma diferença entre os NPS medidos dentro e fora da incubadora bastante influenciados pelo posicionamento dos microfones em seu interior, uma vez que o primeiro e segundo modo acústico axial, na direção x , nas frequências de 239 Hz e 477 Hz, respectivamente, influenciam de forma acentuada os NPS medidos pelos microfones no interior da incubadora. A operação da incubadora com a portinhola da cabeça aberta ou fechada pouco influencia no L_{Aeq} interno. Verificou-se um incremento no L_{Aeq} interno de até 2 dB, em comparação à situação fechada, conseqüentemente, uma redução da diferença dos NPS medidos dentro e fora da incubadora em 2 dB.

Verificou-se que a diferença dos NPS medidos dentro e fora da incubadora, quando medida na câmara reverberante, é diferente da aferida em voo. A diferença média dos NPS, medidos dentro e fora da incubadora, obtida na câmara reverberante é de 18

dB enquanto a obtida durante o voo de cruzeiro no modelo de aeronave AS350 B2 a 110kt é de 10 dB, no AW119 MkII a 140 kt é de 14 dB, no C206H é de 9 dB, no C210N é de 8 dB e no EMB-820C é de 12 dB. Atribui-se esta diferença ao fato da incubadora ser excitada pela vibração presente em voo. Essa vibração causa uma excitação nas paredes da incubadora e da cúpula, gerando sons e reduzindo a diferença aparente.

Verificou-se também que as médias do L_{Aeq} medidos no interior da incubadora, durante o voo de cruzeiro nas aeronaves de asas fixas e rotativas, são também bastante semelhantes, apesar de que em altas velocidades os NPS obtidos no AW119 MkII são aproximadamente 4 dB maiores do que dos aviões.

Nos helicópteros, as medias dos NPSs equivalente (L_{Aeq}) encontrados no interior da incubadora apresentaram valores de 84 dBA (100kt - DC) e 86 dBA (110kt - DC) para o AS350 B2, e de 84 dBA (100kt - DC), 85 dBA (110kt - DC), 87 dBA (130kt- DC) e 89 dBA (140kt- DC) para o AW119 MkII. Já nos aviões, estas médias do L_{Aeq} são de 83 dBA para os Cessna C206H e C210N e de 84 dBA para Embraer EMB-820C.

No aspecto das vibrações, os resultados obtidos dão conta de que as acelerações RMS medidas na bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, em todos os eixos, são semelhantes entre todos os modelos de aeronaves, sejam elas de asas fixas ou rotativas (AS350 B2 com a incubadora sobre o banco traseiro). A aeronave AS350 B2 com o kit aeromédico e a AW119 MkII apresentam valores de acelerações consideravelmente maiores. Ainda nesse sentido, o AW119 MkII apresentou as maiores acelerações RMS médias, especialmente nas velocidades de cruzeiro de 130, 140 kt e durante o pouso.

Observou-se também que as maiores acelerações RMS médias foram medidas na bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, no eixo x , sendo de 1,08 m/s² (100 kt) e 1,14 m/s² (110 kt) para o AS350 B2 sem o kit aeromédico e de 2,09 m/s² (100 kt) e 2,40 m/s² (110 kt) para o AS350 B2 com o kit. Para o AW119 MkII, estes valores são de 1,35 m/s² (100 kt), 1,40 m/s² (110 kt), 2,32 m/s² (130 kt) e 2,73 m/s² (140 kt).

Para os aviões, as acelerações RMS médias, no eixo x , medidos na bandeja da incubadora FANEM IT-158 TS, são de 1,05 m/s² para o Cessna C206H, de 1,24 m/s² para o Cessna C210N e de 1,03 m/s² para o Embraer EMB-820C.

Ainda, diante dos L_{Aeq} médios e dos tempos médios de voo durante o transporte aeromédico, os resultados obtidos do cálculo da dose de exposição ao ruído no interior da cabine durante os voos, apresentaram valores elevados e semelhantes entre os modelos de aviões e o AS350 B2. O AW119 MkII apresentou valores maiores, sendo de até 10 dB.

Para a aeronave AS350 B2, com as portas fechadas, o L_{EP} médio calculado no interior da cabine foi de 92 dBA a 100 kt e 94 dBA a 110kt. Com a porta traseira esquerda aberta estas doses aumentam acréscimos de até 5 dB, sendo 97 dBA a 100 kt e 98 dBA a 110 kt. Para os aviões, o modelo Cessna C206H apresentou L_{EP} médio

de 92 dBA, o Cessna C210N de 91 dBA e o Embraer EMB-820C de 95 dBA.

Por sua vez, a aeronave AW119 MkII apresentou valores de L_{EP} médio de 98 dBA a 100 kt, 99 dBA a 110 kt, 100 dBA a 130 kt e 102 dBA a 140 kt.

Observa-se, novamente, que os valores calculados da dose de exposição ao ruído médio (L_{EP}), no interior da incubadora, são muito semelhantes para todos os modelos de aeronaves. Observaram-se valores de 84 dBA para a aeronave AS350 B2 a 100kt e de 85 dBA a 110 kt. Para a aeronave AW119 MkII observaram-se valores de 85 dBA a 110 kt, 86 dBA a 110 kt, 87 dBA a 130 kt e 88 dBA a 140 kt. Já para as aeronaves de asas fixas, os valores observados são de 83 dBA para os modelos Cessna C206H e C210N e de 84 dBA para o Embraer EMB-820C.

Outro achado importante, foi de que para uma jornada diária de 8 horas (480 minutos), a dose média de exposição ao ruído diário para um RN submetido ao voo (de 27 minutos nos helicópteros ou de 94 minutos nos aviões) juntamente com a permanência do restante do tempo em uma UTIN, é novamente semelhante entre todos os modelos de aeronaves. Destaca-se ainda que apesar dos L_{Aeq} internos da incubadora serem menores nos aviões, essa vantagem se perde pelo fato do tempo médio de voo ser maior nos aviões do que nos helicópteros, durante o transporte aeromédico.

Os valores obtidos para a dose diária envolvendo o voo e a UTIN são de 72 dBA para o AS350 B2 a 100 kt e 74 dBA a 110 kt. Para o AW119 MkII o valor é de 74 dBA para 100 e para 110 kt, 75 dBA a 130 kt e 76 dBA a 140 kt. Para os aviões os valores são de 76 dBA para o Cessna C206H e de 77 dBA para os Cessna C210N e Embraer EMB-820C.

Como não há parâmetros definidos para os limites da dose diária de exposição aos ruídos a quais os bebês podem ser expostos, não há como realizar a sua comparação.

Por fim, diante dos resultados obtidos, reuniram-se integrantes do Batalhão de Operações Aéreas e da coordenação do serviço aeromédico do SAMU no intuito de estudar alterações em seus procedimentos operacionais padrão para possibilitar o transporte de RN, em incubadora, também em helicópteros. Inclusive, alguns voos já ocorreram sem quaisquer intercorrências.

É importante salientar que, no intuito de melhorar as condições dos RNs transportados, poderão ser adotadas medidas para diminuir a exposição tanto o nível de pressão sonora quanto das acelerações. Para isso, poderão ser utilizados protetores auriculares neonatais, colchonetes de outros materiais tais como gel ou ar e utilização de tapetes (*pads*) de materiais que minimizem a transferência das vibrações.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para os trabalhos futuros tem-se as seguintes sugestões:

1. Desenvolver parâmetros para analisar o conforto e os limites máximos de aceleração para bebês na posição deitada (decúbito dorsal);
2. Desenvolver parâmetros para analisar o conforto e os limites máximos de aceleração para adultos na posição deitada (decúbito dorsal);
3. Realizar estudo específico para a caracterização das incubadoras de transporte neonatal;
4. Realizar o mesmo experimento alterando os kits aeromédicos (marcas e modelos);
5. Realizar o mesmo experimento para o levantamento dos Níveis de pressão sonora no interior das ambulâncias terrestres, bem como os níveis de pressão sonora e de acelerações RMS no interior das incubadoras durante o transporte de pacientes nas ambulâncias do SAMU e CBMSC;
6. Ampliar os estudos para outros modelos de aeronaves utilizados no Brasil;
7. Prever instrumentação de medição de ruído, vibrações e temperatura fixa nas aeronaves e ambulâncias terrestres para coleta contínua de dados durante longos períodos de operação, sem que haja necessidade de instrumentar as aeronaves cada vez.

REFERÊNCIAS

- AAMS. **Air Med 101**. [S./], 2014. P. 5. Disponível em:
<https://aams.org/wp-content/uploads/2014/01/AIRMED101.pdf>.
- ADMI, Hanna; TZISCHINSKY, Orna; EPSTEIN, Rachel; HERER, Paula; LAVIE, Peretz. Shift Work in Nursing: Is it Really A Risk Factor for Nurses' Health And Patients' Safety? **Nursing economic**, v. 26, p. 250–7, nov. 2007.
- AMPA. **Principles and direction of air medical transport: advancing air and ground critical care transport medicine**. [S./]: Salt Lake City, Utah, 2015. (2 ed.).
- ASTNA. **Air and surface transport nurses association**. [S./]: Mosby, 2009. P. 848. (4 ed.). ISBN 978-0323057493.
- ASTNA. **Critical care transport: Core curriculum**. [S./]: Colorado, Estados Unidos, 2017. ISBN 978-0996653244.
- ASTNA. **Standards for critical care and specialty transport**. [S./]: Colorado, Estados Unidos, 2015. (2 ed.). ISBN 978-0996653206.
- ATHAYDE, C.M.; AZEVEDO, I.G.D.; ANDRADE, W.T.L. Níveis de ruído interno de aeronaves domésticas. In: Encontro Internacional de Audiologia. **Academia Brasileira de Audiologia**, v. 30, p. 172, abr. 2015.
- AURÉLIO, F. S. **Ruído em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal**. 2009. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.
- BAILEY, V.; SZYLD, E.; CAGLE, K.; KURTZ, D.; CHAABAN, H.; WU, D.; WILLIAMS, P. Modern Neonatal Transport: Sound and Vibration Levels and Their Impact on Physiological Stability. **American Journal of Perinatology**, 2018.
- BALBINO, A. C.; CARDOSO, L. M. Dificuldades no transporte inter-hospitalar de recém-nascido crítico realizado pelas equipes do serviço de atendimento móvel de urgência. **Revista Texto & Contexto Enfermagem, Florianópolis**, v. 26, n. 3, p. 1-8, Florianópolis, SC, 2017.
- BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus : um enfoque no conforto e na saúde**. 2001. Doutorado – Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus : um enfoque no conforto e na saúde.
- BASNER, M.; BABISCH, W.; DAVIS, A.; BRINK, M.; CLARK, C.; JANSSEN, S.; STANSFELD, S. A. Auditory and non-auditory effects of noise on health. **The Lancet**, v. 383, n. 1, p. 1325–1332, 2014.

BAUMANN, I. *et al.* The assessment of load, strain and comfort of flight crew and cabin crew in a cabin simulator - test design. *In: #PROC:ENOISE2003#*. Naples, Italy: [s.n.], 2003.

BENI, E. A. **Estado de Goiás em fase final para compra de 3 helicópteros AW119 Koala**. [S.l.: s.n.], Agosto 2010. Disponível em: <<https://www.pilotopolicial.com.br/estado-de-goias-em-fase-final-para-compra-de-3-helicopteros-aw119-koala/>> Acesso em: 03/11/2020.

BENI, E. A. **PRF Adquire helicóptero AW119 Koala para compor frota da Divisão de Operações Aéreas**. [S.l.: s.n.], Dezembro 2018. Disponível em: <<https://www.resgateaeromedico.com.br/prf-adquire-helicoptero-aw-119-koala-para-compor-frota-da-divisao-de-operacoes-aereas/>> Acesso em: 03/11/2020.

BENINI, F.; MAGNAVITA, V.; LAGO, P.; ARSLAN, E.; PISAN, P. Evaluation of noise in the neonatal intensive care unit. **Am J Perinatol**, v. 13, p. 37–41, jan. 1996.

BERG, Abbey; CHAVEZ, Cindy; SERPANOS, Yula. Monitoring Noise Levels in a Tertiary Neonatal Intensive Care Unit. **Contemporary Issues in Communication Sciences and Disorders**, v. 37, p. 69–72, mar. 2010.

BESS, F.H.; PEEK, B.F.; CHAPMAN, J.J.; X. Further observations on noise levels in infant incubators. **Pediatrics**, v. 63, p. 100–106, jan. 1979.

BITENCOURT, Raquel Fava de; PAUL, Stephan; ANDRADE, Alexandro Luiz de; GERGES, Samir N.Y. Relevância dos aspectos vibro-acústicos no conforto no interior de aeronaves. *In: ANAIS do XXI Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC*. [S.l.: s.n.], 2006.

BLAXTER, L.; YEO, M.; MCNALLY, D.; CROWE, J. Neonatal head and torso vibration exposure during inter-hospital transfer. **J Engineering in Medicine, Vol. 231(2) 99–113**, 2017.

BLENNOW, G.; SVENNINGSEN, N. W.; ALMQUIST, B.; X. Noise Levels in Infant Incubators (Adverse effects?) **Pediatrics**, v. 53, p. 29–32, jan. 1974.

BOA. **Estatística Arcanjos Santa Catarina: Relatórios Operacionais**. [S.l.], 2022. Batalhão de Operações Aéreas do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis.

BOEING. **Statistical summary of commercial jet airplanes accidents**. [S.l.], 2020.

BONGERS, P. M.; HULSHOF, C. T. J.; DLJKSTRA, L.; BOSHUIZEN, H. C.; GROENHOUT, H. J. M.; VALKEN, E. Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots. **Ergonomics**, Taylor Francis, v. 33, n. 8, p. 1007–1026, 1990. PMID: 2147003.

BONGERS, P. M.; HULSHOF, C. T. J.; DLJKSTRA, L.; BOSHUIZEN, H. C.; GROENHOUT, H. J. M.; VALKEN, E. Back pain and exposure to whole body vibration in helicopter pilots. **Ergonomics**, 2007.

BOUCHUT, J. C. Physical stressors during Neonatal transport: helicopter compared with ground ambulance. **Air Medical Journal**, v. 30, n. 3, p. 134–139, 2011.

BRASIL. **Além da sobrevivência: práticas integradas de atenção ao parto, benéficas para a nutrição e a saúde de mães e crianças**. [S.l.: s.n.], 2013. P. 50. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas. ISBN 978-85-334-1774-8. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/alem_sobrevivencia_praticas_integradas_atencao.pdf.

BRASIL. **Manual de orientações sobre o transporte neonatal**. [S.l.], 2010. P. 40. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas, Brasília. ISBN 978853341726-7.

BRASIL. **Norma Regulamentadora 15**. [S.l.: s.n.], jun. 1978. Aprova as NR do Capítulo V. Título II, da CLT, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Portaria 3.214/78.

BROWNING, J.; WALDING, D.; KLASSEN, J.; DAVID, Y. Vibration Issues of Neonatal Incubators During In-Hospital Transport. **Journal of Clinical Engineering**, v. 33, p. 74–77, abr. 2008.

BRÜEL&KJÆR. **Human Vibration**. [S.l.], nov. 1989. Disponível em: <https://www.bksv.com/media/literature/Primers/br056.ashx?la=en> Acesso em: 09/11/2020.

BUGAK, T.; NOVAK, D.; MILJKOVIĆ, D.; X. Comparative Interior Helicopter Noise Analysis in Static and In-Flight Conditions. *In*.

BUCKLAND, L.; AUSTIN, Nicola; JACKSON, A; INDER, Terrie. Excessive exposure of sick neonates to sound during transport. **Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition**, v. 88, f513–6, dez. 2003.

CAMPBELL, Alastair N.; LIGHTSTONE, Alfred D.; SMITH, John M.; KIRPALANI, Haresh; PERLMAN, Max. Mechanical Vibration and Sound Levels Experienced in Neonatal Transport. **American Journal of Diseases of Children**, v. 138, n. 10, p. 967–970, out. 1984. ISSN 0002-922X. eprint: https://jamanetwork.com/journals/jamapediatrics/articlepdf/511656/archpedi_138_10_021.pdf.

CARDOSO, Sandra; KOZLOWSKI, Lorena; LACERDA, Adriana; MARQUES, Jair; RIBAS, Angela. Newborn physiological responses to noise in the neonatal unit. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, v. 81, set. 2015.

CARVALHO, A. P. O.; PEREIRA, L. F. Ruído em incubadoras e unidades de cuidados intensivos em neonatologia. **XVIII Encontro da SOBRAC - Florianópolis/SC**, 1998.

CHAFFIN, D.B.; ANDERSSON, G.B.J.; MARTIN, B.J.; X, X. **Occupational Biomechanics**. [S.l.]: Wiley, 2006. ISBN 9780471723431.

CHANG, Ying-Ju; LIN, Chyi-Her; LIN, L. Noise and related events in a neonatal intensive care unit. **Acta paediatrica Taiwanica = Taiwan er ke yi xue hui za zhi**, v. 42, p. 212–7, jul. 2001.

CIESIELSKI, S.; KOPKA, J.; KIDAWA, B. Incubator noise and vibration — Possible iatrogenic influence on neonate. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 1, n. 4, p. 309–316, 1980. ISSN 0165-5876.

CORDEIRO, R.; CLEMENTE, A.; DINIZ, C.; DIAS, A. Occupational noise as a risk factor for work-related injuries. **Revista de saúde pública**, v. 39, p. 461–6, jun. 2005.

COSTA, E. J. L.; SILVA, J. F.; NETO, A. C. **Sistema de Teste e Calibração de Incubadoras Neonatais**. [S.l.], 2003. Metrologia para a Vida: Sociedade Brasileira de Metrologia - SBM, Recife.

DAVIDSON, J. K.; HUNT, T. K. H. **Robots and Screw Theory: Applications of Kinematics and Statics to Robotics**. New York: Oxford University Press, 2004.

DEFESANET. **AS 350 Esquilo se consolida como helicóptero mais utilizado em missões governamentais em todo o mundo**. [S.l.: s.n.], Agosto 2011. Disponível em: <<http://www.defesamet.com.br/seguranca/noticia/2464/AS350-Esquilo-se-consolida-como-helicoptero-mais-utilizado-em-missoes-governamentais-em-todo-o-mundo>> Acesso em: 03/11/2020.

DZHAMBOV, Angel; DIMITROVA, Donka. Occupational Noise Exposure and the Risk for Work-Related Injury: A Systematic Review and Meta-analysis. **Annals of Work Exposures and Health (formerly Annals of Occupational Hygiene)**, (in press), set. 2017.

EASA. **Type-Certificate data sheet for noise**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDSN%20EASA.IM.A.007%20Issue%2010.pdf>>, Acesso em: 23/01/2021.

ETZEL, R. *et al.* Noise: a hazard for the fetus and newborn. American Academy of Pediatrics. Committee on Environmental Health. **Pediatrics**, v. 100 4, p. 724–727, 1997.

FACTORY, Military. **The Leonardo AW119 serves military and civilian markets in the general utility role - such is its versatility**. [S.l.: s.n.], jul. 2011. Disponível em:

<<https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft;d = 2200> > Acesso em : 03/11/2020.

FERRARI, D. **Transporte aeromédico: evolução e história**. [S.l.: s.n.], Abril 2013. Disponível em: <<https://www.pilotopolicial.com.br/transporte-aeromedico-evolucao-e-historia/>>, Acesso em: 03/11/2020.

FIDO, Abdullahi; GHALI, Adel. Detrimental Effects of Variable Work Shifts on Quality of Sleep, General Health and Work Performance. **Medical principles and practice : international journal of the Kuwait University, Health Science Centre**, v. 17, p. 453–7, out. 2008.

FONSECA, S. **O Serviço Aeromédico Especializado: Uma nova visão em Resgate e Transporte Aeromédico para Santa Catarina**. 2016. Monografia (Curso de Comando e Estado Maior) – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina - Centro de Ensino Bombeiro Militar – Florianópolis/SC.

FUNDACENTRO. **NHO-01 - Procedimento técnico: Avaliação ocupacional ao ruído**. [S.l.], 2001. P. 40.

GAJENDRAGADKAR, G.; BOYD, J.; POTTER, D. W.; MELLEN, B.; HAHN G.AND SHENAI, J. Mechanical Vibration in Neonatal Transport: A Randomized Study of Different Mattresses. **Journal of Perinatology**, v. 20, p. 307–310, 2000.

GELAIN, F.; PAUL, S. Ruído no interior do Eurocopter AS350 ECUREUIL/ESQUILO em voo de cruzeiro. **XXVIII Encontro da SOBRAC**, 2018.

GELAIN, F.; PAUL, S. Sound Pressure Levels inside the cabin of the rotary and fixed-wings of Santa Catarina State during aeromedical transfers. **XII CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA e XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC**, 2022.

GELAIN, F.; PAUL, S. Sound pressure levels inside the cabins of the AS350 B2 and AW119 MkII rotary-wing aircraft during SAR operations. **XII CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA e XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC**, 2022.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000. P. 676.

GRADWELL, D.; RAINFORD, D. **Ernsting's Aviation Medicine, 4E**. [S.l.]: CRC Press, 2006. ISBN 9781444113365.

GRAU. **Pré-Hospitalar - Grupo de Resgate e Atenção às Urgências e Emergências**. [S.l.]: Manole, Barueri - SP, 2015. P. 846. (2 ed.). ISBN 9788520441312.

GRIFFIN, M.; PALMER, K.; BENDALL, H.; PANNETT, B.; COGGON, D. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey. **Occupational and environmental medicine**, v. 57, p. 229–36, abr. 2000.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of Human Vibration**. 1. ed. Londres: Elsevier, 1996. P. 988.

GUIMARÃES, H; OLIVEIRA, A.M; SPRATLEY, J; MATEUS, M; D'OREY, C; COELHO, J.L; SOUTO, A; TEIXEIRA SANTOS, N. Le bruit dans une unité de soins intensifs néonataux. **Archives de Pédiatrie**, v. 3, n. 11, p. 1065–1068, 1996. ISSN 0929-693X.

HANSEN, O; WAGSTAFF, Anthony. Low back pain in Norwegian helicopter aircrew. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 72, p. 161–4, abr. 2001.

HATFIELD, Jimmy L.; GASAWAY, Donald C. **Noise problems associated with the operation of US ARMY aircraft**. ARMY Aeromedical Research Unit Fort Rucker Al, 1963. P. 153.

HELIBRAS. **H125 Tornando o bom ainda melhor**. [S.l.: s.n.], Maio 2016.
http://www.helibras.com.br/website/po/ref/H125_15.html.

HERDIC, Peter; HOUSTON, Brian; MARCUS, Martin; WILLIAMS, Earl; BAZ, Amr. The vibro-acoustic response and analysis of a full-scale aircraft fuselage section for interior noise reduction. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 117, p. 3667–78, jun. 2005.

HOEHN, T.; BUSCH, A; KRAUSE, M. Comparison of noise levels caused by four different neonatal high-frequency ventilators. **Intensive care medicine**, v. 26, p. 84–7, fev. 2000.

HUSS, Anke; SPOERRI, Adrian; EGGER, Matthias; RÖÖSLI, Martin. Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality From Myocardial Infarction. **Epidemiology (Cambridge, Mass.)**, v. 21, p. 829–36, set. 2010.

ISO-2631-1. **Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1**. [S.l.], 1997.

JAMES, S. Defining the Cockpit Noise Hazard, Aircrew Hearing Damage Risk and the Benefits Active Noise Reduction Headsets Can Provide, p. 25, jun. 2005.

JARRAH, M.; QASSEMT, W.; OTHMAN, M.; GDEISAT, M. Human body model response to mechanical impulse. **Medical Engineering & Physics**, v. 19, p. 308–316, 1997.

JOHNSON, A. Neonatal response to control of noise inside the incubator. **Pediatric nursing**, v. 27, p. 600–5, nov. 2001.

KÅSIN, J.; MANSFIELD, N.; WAGSTAFF, A.; X. Whole Body Vibration in Helicopters: Risk Assessment in Relation to Low Back Pain. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 82, p. 790–6, ago. 2011.

KENT, William; TAN, Andre; CLARKE, Maxine; BARDELL, Trevor. Excessive Noise Levels in the Neonatal ICU: Potential Effects on Auditory System Development. **The Journal of otolaryngology**, v. 31, p. 355–60, jan. 2003.

KONSTANZER, Peter; ENENKL, Bernhard; GMBH, Eurocopter; MUNICH; GERMANY, Pierre-Antoine; AUBOURG, Paul; CRANGA, Paul. Recent Advances in Eurocopter's Passive and Active Vibration Control, mai. 2008.

KRYTER, Karl. Acoustical model and theory for predicting effects of environmental noise on people. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 125, p. 3707–21, jun. 2009.

KUPPER, Thomas; STEFFGEN, Jürgen; JANSING, Priv.-Doz. Noise Exposure During Alpine Helicopter Rescue Operations. **The Annals of occupational hygiene**, v. 48, p. 475–81, ago. 2004.

KÜPPER, T.; JANSING, P.; SCHÖFFL, V.; VANDERGIET, S. Does Modern Helicopter Construction Reduce Noise Exposure in Helicopter Rescue Operations? **Annals of Occupational Hygiene**, v. 57, n. 1, p. 34–42, 2013.

LAUDIEN, E. Main and tail rotor interaction noise during hover and low-speed conditions. **2nd European Rotorcraft and Powered Lift Aircraft Forum - Bückeburg, Germany**, 1976.

LEISHMAN, J. Gordon. **Principles of Helicopter Aerodynamics**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2000. ISBN 978-0521660600.

LEVENE, M.; FAWER, C.; LAMONT, R. Risk factors in the development of intraventricular haemorrhage in the pre-term neonate. **Arch Dis Child**, 57(6): 410–417, 1982.

LICHTIG, I.; MAKI, K. Estudos de níveis de ruídos ambientais e de ruídos gerados pelas incubadoras em uma unidade de terapia intensiva neonatal. **Pediatrics**, v. 14, n. 1, p. 30–34, 1992.

MARTENS, S. Jet noise reduction technology development at GE Aircraft Engines. **ICAS 2002 - Toronto, Canada**, p. 8–13, 2002.

MARTINEZ, D.; LENZ, M.C. S.; MENNABARRETO, L. Diagnóstico dos transtornos do sono relacionados ao ritmo circadiano. pt. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, scielo, v. 34, p. 173–180, mar. 2008. ISSN 1806-3713.

MAUS, Álvaro; PRATTS, Edupércio. **Arcanjo: a história do Batalhão de Operações Aéreas escrita sob a inspiração das asas de um sonho**. [S./]: Editograf, Florianópolis, SC, 2013.

MCEVOY, M.; POLLACK, A.N.; RABRICH, J.S.; MURPHY, M. **Critical care transport**. [S./]: Jones Bartlett Learning, Burlington, MA, 2018. (2 ed.).

MCNEELY, Eileen; GALE, Sara; TAGER, Ira; KINCL, Laurel; BRADLEY, Julie; COULL, Brent; HECKER, Steve. The self-reported health of U.S. flight attendants compared to the general population. **Environmental health : a global access science source**, v. 13, p. 13, mar. 2014.

MERENSTEIN, Gerald B.; PETTETT, Gary; WOODALL, John; HILL, Jay M. An analysis of air transport results in the sick newborn: II. Antenatal and neonatal referrals. **American Journal of Obstetrics and Gynecology**, v. 128, n. 5, p. 520–525, 1977. ISSN 0002-9378.

MILJKOVIĆ, Dubravko. Active Noise Control in Light Aircraft Cabin Using Multichannel Coherent Method. **Automatika**, 57 (2016), p. 1056–1069, dez. 2017.

MILLOTT, T.; FRIEDMANN, P. Vibration reduction in helicopter rotors using an actively controlled partial span trailing edge flap located on the blade. *In*.

MORRIS, Brenda; PHILBIN, M Kathleen; BOSE, Carl. Physiological Effects of Sound on the Newborn. **Journal of perinatology : official journal of the California Perinatal Association**, v. 20, s55–60, jan. 2001.

NABINGER, L. B. **Medições de ruído aeronáutico dentro da área II do Plano Específico de Zoneamento de Ruído do aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre / RS**. 2005. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NATIONAL; COMMITTEE, America Engineering. **Technology for a Quieter America**. [S./: s.n.], out. 2010. P. 1–192.

NBR-10152. **Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. São Paulo, 2017. P. 21.

NBR-IEC-60601-2-19. **Equipamento eletromédico Parte 2-19: Requisitos particulares para segurança básica e desempenho essencial das incubadoras para recém-nascidos**. São Paulo, 2014. P. 35.

NOGUEIRA, M.F.H.; DI PIERO, Karina; RAMOS, Eloane; SOUZA, Marcio; DUTRA, M.V.P. Mensuração de ruído sonoro em unidades neonatais e incubadoras com recém-nascidos; revisão sistemática de literatura. **Rev Latino-Am Enfermagem**, v. 19, p. 1–10, jan. 2011.

OLIVEIRA, Carlos; NADAL, Jurandir. Transmissibility of helicopter vibration in the spines of pilots in flight. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 76, p. 576–80, jul. 2005.

OLIVEIRA, I. C. dos S. O advento das incubadoras e os cuidados de enfermagem aos prematuros na primeira metade do século XX. pt. **Texto Contexto - Enfermagem**, scielo, v. 13, p. 459–466, set. 2004. ISSN 0104-0707.

AL-OMARI, AbdulrhmanS; AL-KHALAF, HaniM; HUSSIEN, NaglaaFayek. Association of Flying Time with Hearing Loss in Military Pilots. **Saudi Journal of Medicine and Medical Sciences**, v. 6, p. 155, set. 2018.

OZCAN, Kurtulus; NEMLIOGLU, Semih. In-cabin noise levels during commercial aircraft flights. **Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne**, v. 34, dez. 2006.

PADDAN, G.S.; GRIFFIN, M.J. Evaluation of Whole-body Vibration in Vehicles. **Journal of Sound and Vibration**, v. 253, n. 1, p. 195–213, 2002.

PADILHA, L. **AW119Kx Koala: da instrução ao multiemprego**. [S.l.: s.n.], Maio 2017. Disponível em: <<https://www.defesaaereanaval.com.br/defesa/aw119kx-koala-da-instrucao-ao-multiemprego>> Acesso em: 03/11/2020.

PARRADO, M.E.S.; COSTA FILHO, O.A. O berçário de alto risco e o ruído das incubadoras. v. 4, p. 31–34, mar. 1992.

PASCHOLD, H.W.; MAYTON, Alan. Whole-body vibration: building awareness in SHE. **Professional Safety**, v. 56, p. 30–35, jan. 2011.

PASSCHIER-VERMEER, Willy; PASSCHIER, Wim. Noise Exposure and Public Health. **Environmental health perspectives**, 108 Suppl 1, p. 123–31, abr. 2000.

PEIXOTO, Priscila; BALBINO, Flávia; CHIMIRRI, Veridiana; PINHEIRO, Eliana; KAKEHASHI, Tereza; KAKEHASHI. Ruído no interior das incubadoras em unidade de terapia intensiva neonatal. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 24, jan. 2011.

PELHAM, Thomas; WHITE, Harold; HOLT, Laurence; LEE, S. The etiology of low back pain in military helicopter aviators: Prevention and treatment. **Work (Reading, Mass.)**, v. 24, p. 101–10, fev. 2005.

PEREIRA, C.; NEVES, F. Conforto humano e limites de percepção para vibrações verticais. **Rem-revista Escola De Minas - REM-REV ESC MINAS**, v. 59, jul. 2006.

PHILBIN, M Kathleen. Planning the acoustic environment of a neonatal intensive care unit. **Clinics in perinatology**, v. 31, p. 331–52, viii, jul. 2004.

PLEWA, Katherine; EGER, Tammy; OLIVER, Michele; DICKEY, James. Comparison between ISO 2631-1 Comfort Prediction Equations and Self-Reported Comfort Values during Occupational Exposure to Whole-Body Vehicular Vibration. **Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control**, v. 31, p. 43–53, mar. 2012.

PREHN, J.; MCEWEN, I.; JEFFRIES, L.; JONES, M.; DANIELS, T.; GOSHORN, E.; MARX, C. Decreasing sound and vibration during ground transport of infants with very low birth weight. **Journal of perinatology : official journal of the California Perinatal Association**, v. 35, nov. 2014.

PUYANA-ROMERO, V.; NUNEZ-SOLANO, Daniel; HERNANDEZ, Ricardo; FERNÁNDEZ-ZACARÍAS, Francisco; BEIRA, Juan; GARZÓN, Christiam; JARA-MUÑOZ, Edgar. Reverberation time measurements of a neonatal incubator. **Applied Acoustics**, v. 167, p. 107374, out. 2020.

PUYANA-ROMERO, V.; NÚÑEZ-SOLANO, D.; F., Fernández-Zacarías; JARA-MUÑOZ, E.; HERNÁNDEZ-MOLINA, R. The Importance of Reverberation for the Design of Neonatal Incubators. **Frontiers in Pediatrics**, v. 9, p. 584736, jul. 2021.

ROCHA, D. K. L.; FERREIRA, H.C. Estado da arte sobre o cuidar em neonatologia: compromisso da enfermagem com a humanização na unidade de terapia intensiva neonatal. **Enfermagem em Foco**, 2013.

ROY GOSWAMI, Ipsita; REDPATH, Stephanie; LANGLOIS, R.; GREEN, James; LEE, Kyong-Soon; WHYTE, Hilary. Whole-body vibration in neonatal transport: a review of current knowledge and future research challenges. **Early Human Development**, v. 146, mai. 2020.

SÁ, Letícia Martins. **Ruído sonoro em incubadora neonatal e seus efeitos nas respostas fisiológicas do recém-nascido prematuro**. 2011. Mestrado em Engenharia Biomédica – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SANTANA, Lenilce; SILVA, Luciana; SILVA, Renata; CARVALHO, João; SANTANA, Wesley; ROSSI-BARBOSA, Luiza Augusta; RUAS, Edna. Measurement of acoustic noise levels in a neonatal intensive care unit. **REME: Revista Mineira de Enfermagem**, v. 19, jun. 2015.

SBP. **Transporte de Recém-Nascido de Alto Risco: Diretrizes da Sociedade Brasileira de Pediatria**. [S.l.]: São Paulo, Brasil, 2011.

SCHLEGEL, R.; KING, R.; MULL, H.; X. **Helicopter rotor noise generation and propagation**. [S.l.], 1966. ort Eustis, Virginia/USA: U.S. Army Material Laboratories.

SCHOMER, Paul; NEATHAMMER, Robert. The Role of Vibration and Rattle in Human Response to Helicopter Noise, p. 162, set. 1985.

SCHWEITZER, G. Protocolo de cuidados de enfermagem no ambiente aeroespacial a pacientes traumatizados - cuidados antes do voo. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 64, n. 2, p. 1056–1066, 2012.

SHAH, Shetal; ROTHBERGER, Adina; CAPRIO, Martha; MALLY, Pradeep; HENDRICKS-MUÑOZ, Karen. Quantification of impulse experienced by neonates during inter- and intra-hospital transport measured by biophysical accelerometry. **Journal of perinatal medicine**, v. 36, p. 87–92, fev. 2008.

SHANAHAN, D.F.; MASTROIANNI, G.R.; READING, T.E. **Back Discomfort in US Army Helicopter Flightcrew Members**. [S.l.: s.n.], 1986. AGARD Conference proceedings n°. 378 - França.

SHEARD, SC; PETHYBRIDGE, RJ; WRIGHT, JM; MCMILLAN, GH. Back pain in aircrew—an initial survey. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 67, n. 5, p. 474–477, mai. 1996. ISSN 0095-6562.

SHERWOOD, H.; DONZE, A; GIEBE, J; X. Mechanical Vibration in Ambulance Transport. **Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing**, 23(6), p. 457–463, ago. 1994.

SITTIG, S.E.; NESBITT, J.C.; KRAGESCHMIDT, D.A.; SOBCZAK, S.C.; JOHNSON, R.V. Noise levels in a neonatal transport incubator in medically configured aircraft. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, v. 75, n. 1, p. 74–76, 2011.

SOUTH, T. **Managing Noise and Vibration at Work**. [S.l.]: Routledge, 2004. P. 288. ISBN 9780080479132.

SUNDBACK, U.; TINGVALL, B. Investigation of the physical working environment for cabin attendants within Scandinavian Airlines System (SAS). **Noise Control Engineering Journal, Proc. Internoise 1980**, v. 1, p. 341–344, 1980.

SWADESIR, L.; BIL, C. URBAN AIR TRANSPORTATION JOURNEY TIME COMPARISON FOR MELBOURNE METROPOLITAN AREA. **31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences – 19 September 2018, Belo Horizonte, Brazil**, 2018.

TATIC, B.; BOGOJEVIĆ, N.; TODOSIJEVIĆ, S.; ŠOŠKIĆ, Z. Analysis of noise level generated by helicopters with various numbers of blades in the main rotor. **23rd National Conference and 4th International Conference on Noise and Vibration, 17 – 19 October 2012, Niš, Serbia, 2012.**

TOMEI, Francesco *et al.* Occupational exposure to noise and hypertension in pilots. **International journal of environmental health research**, v. 15, p. 99–106, mai. 2005.

VENTURA, C. M. U.; ALVES, J. G. B; MENESES, J. A. Eventos adversos em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal. **Revista Brasileira de Enfermagem**, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0034-71672012000100007>>, Acesso em: 03/11/2020.

WHO. **Guidelines for community noise**. [S./], 1999. Disponível em: <https://www.who.int/docstore/peh/noise/Commnoise4.htm>.

WHO. **Preterm birth**. [S./], 2015. Disponível em: <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs363/en/>.

WHO. **Safe Listening Devices and Systems**. [S./], 2019. P. 44. ISBN 978-92-4-151527-6.

WILBY, J. F. Aircraft Interior Noise. **Journal of Sound and Vibration**, v. 190, p. 545–564, 1996.

XIMENES, Guilmar Machado. **Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**. 2006. Mestrado em Sistemas de Gestão pela qualidade total – Universidade Federal Fluminense.

ZAPOROZHETS, Oleksandr; TOKAREV, Vadim; ATTENBOROUGH, Keith. **Aircraft noise propagation, exposure & reduction**. [S./]: Taylor & Francis, 2011.

ZEVITAS, Christopher; SPENGLER, John; JONES, Byron; MCNEELY, Eileen; COULL, Brent; CAO, Xiaodong; LOO, Sin; HARD, Anna-Kate; ALLEN, Joseph. Assessment of noise in the airplane cabin environment. **Journal of Exposure Science Environmental Epidemiology**, v. 28, nov. 2018.