

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MATEUS ZANATTA

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO E  
REPERCUSSÕES SOBRE A SAÚDE DE PILOTOS AGRÍCOLAS**

PORTO ALEGRE

2017

MATEUS ZANATTA

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO E  
REPERCUSSÕES SOBRE A SAÚDE DE PILOTOS AGRÍCOLAS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia, modalidade Acadêmica, área de concentração em Sistemas de Produção.

PORTO ALEGRE

2017

MATEUS ZANATTA

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO E  
REPERCUSSÕES SOBRE A SAÚDE DE PILOTOS AGRÍCOLAS**

A presente tese foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia com ênfase em Ergonomia e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora do Curso de Doutorado em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BANCA EXAMINADORA

---

Orientador: Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Coordenador: Prof. PhD. Flávio Sanson Fogliatto  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Eder Henriqson  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Paulo Antonio Barros Oliveira  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Gabriel Vidor  
Universidade de Caxias do Sul

Data de aprovação \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

*Aos meus pais: **Ires e Belmiro** e a minha esposa: **Grasiele**, pelo incentivo constante em todas as etapas desta caminhada, desde o projeto até a conclusão do curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi possível graças a colaboração das seguintes instituições e pessoas a quem dedico os meus sinceros agradecimentos:

À CAPES pelo apoio financeiro;

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS pela oportunidade de realizar este trabalho;

Ao 5º Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos e ao Sindicato Nacional de Aeronautas pelo apoio na coleta de dados;

Às empresas de aviação agrícola que apoiaram a pesquisa fornecendo o apoio material e humano necessário, em especial aos pilotos agrícolas e equipes solo que me acompanharam durante a coleta de dados (Preservo aqui o anonimato dos mesmos);

Ao meu orientador, prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral pelos ensinamentos;

E, por fim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte desta caminhada e que de alguma forma cooperaram na realização deste trabalho e contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

*“Todo aquele que se dedica ao estudo da ciência chega a convencer-se de que nas leis do Universo se manifesta um Espírito sumamente superior ao do homem, e perante o qual nós, com os nossos poderes limitados, devemos humilhar-nos.” **Albert Einstein***

## RESUMO

Pilotos agrícolas atuam em condições de trabalho que podem acometê-los de doenças e contribuir para ocorrência de acidentes de trabalho. Nesse contexto, estudos têm direcionado seus esforços para compreender os efeitos de diversos fatores no desempenho do piloto, na saúde e/ou na segurança de voo. Exemplos típicos incluem, principalmente, a exposição aos defensivos agrícolas, seguido da exposição ao ruído ambiental e condições térmicas desfavoráveis, bem como a distribuição das responsabilidades entre os profissionais envolvidos. Outros problemas relacionados ao trabalho de pilotos agrícolas, como a operação em áreas improvisadas e o efeito dessa condição de trabalho na exposição às vibrações não é explorado. Além disso, observa-se que as queixas de dores na coluna são comuns entre os profissionais e, em função das condições de trabalho, é possível que estes tenham um risco aumentado de problemas na coluna vertebral. O objetivo dessa tese é de explorar a exposição dos pilotos agrícolas à Vibração de Corpo Inteiro (VCI) e identificar os efeitos desta na saúde, principalmente, no que diz respeito aos sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral. A metodologia compreendeu três etapas que incluem: uma pesquisa de campo orientada ao entendimento das condições de trabalho dos pilotos agrícolas, principalmente sobre os fatores capazes de influenciar na exposição ocupacional à VCI e na ocorrência de distúrbios musculoesqueléticos; a coleta e análise de dados sobre a exposição ocupacional dos pilotos agrícolas à VCI; e, a coleta e análise de dados sobre os sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral. Como resultados da pesquisa de campo, são apresentados dados sobre a rugosidade da superfície das áreas de pouso, perfil de exposição à VCI e prevalência de sintomas musculoesqueléticos em pilotos agrícolas. Os fatores significativos identificados como na exposição dos pilotos agrícolas à VCI foram o modelo de aeronave usada, as condições de rugosidade superficial das áreas de pouso, bem como as etapas do voo. Com relação à saúde da coluna vertebral dos pilotos, apenas a exposição ocupacional à VCI se apresentou como significativa. Dada a complexidade das relações de trabalho no contexto da aviação agrícola, com o envolvimento de diferentes tipos de trabalhadores, são incluídos três tipos de soluções para prevenir a ocorrência de distúrbios musculoesqueléticos em pilotos agrícolas: a manutenção frequente das áreas de pouso, de responsabilidade dos produtores rurais; a gestão do tempo de exposição diário, de responsabilidade dos gestores operacionais e de segurança operacional; e, alterações no projeto de aeronaves, seja na interface com o piloto, para atenuar a transmissibilidade das vibrações oriundas da aeronave, ou, nos sistemas de amortecimento, capazes de isolar a fonte das vibrações, impedindo sua propagação.

**Palavras-chave:** Aviação agrícola. Vibração de Corpo Inteiro. Saúde ocupacional. Distúrbios musculoesqueléticos.

## ABSTRACT

Agricultural pilots work in conditions that can affect them and contribute to the occurrence of work-related accidents. In this context, earlier studies have focused their efforts on the understanding of the effects of many factors on pilot performance, health and/or flight safety. Typical examples include exposure to pesticides, exposure to environmental noise and unfavorable thermal conditions, as well as the distribution of responsibilities among the professionals involved with the aerial application. Other problems related to the work of agricultural pilots, such as operation on improvised runways and the effect of this working condition on exposure to vibrations is not explored. In addition, it is noted that complaints of pain in the spine are common among professionals and, depending on working conditions, they may have an increased risk of spinal problems. The objective of this thesis is to explore the exposure of agricultural pilots to Whole-Body Vibrations (WBV) and to identify the effects of this on health, especially regarding to musculoskeletal symptoms of the spine. The methodology consisted of three stages: a field research aimed at understanding the working conditions of agricultural pilots, mainly on the factors capable of influencing the occupational exposure to WBV and the occurrence of musculoskeletal disorders; The data collection and analysis about occupational exposure of agricultural pilots to WBV; and, the data collection and analysis about musculoskeletal symptoms of the spine. As results of the field research, data are presented on surface roughness of landing fields, exposure to WBV and prevalence of musculoskeletal symptoms in agricultural pilots. The significant factors identified as in the exposure of the agricultural pilots to the WBV were the aircraft model used, the surface roughness conditions of the landing areas, as well as the flight stages. Regarding the health of the spine of the pilots, only the occupational exposure to the WBV was presented as significant. Given the complexity of labor relations in the context of agricultural aviation with the involvement of different types of workers, three types of solutions are included to prevent the occurrence of musculoskeletal disorders in agricultural pilots: frequent maintenance of landing areas, farmers; The management of the daily exposure time, the responsibility of the operational managers and operational safety; And changes in aircraft design, either at the interface with the pilot, to mitigate the transmissibility of vibrations from the aircraft, or, in damping systems, capable of isolating the source from vibrations, preventing their propagation.

**Keywords:** Agricultural aviation. Whole-Body Vibration. Occupational health. Musculoskeletal disorders.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa mental da estrutura do referencial teórico da tese. ....	23
Figura 2 - Comandante Clóvis Candiota a bordo da aeronave MUNIZ M-9. ....	24
Figura 3 - Distribuição das aeronaves por fabricante. ....	26
Figura 4 - Distribuição das aeronaves agrícolas por Unidade Federativa. ....	26
Figura 5 - Dados da produção agrícola nacional dos principais produtos. ....	27
Figura 6 - Visão geral da cabine da aeronave EMB-201A. ....	30
Figura 7 - $W_d$ para VCI, eixos X e Y, para pessoa sentada, em pé ou deitada. ....	37
Figura 8 - $W_d$ para VCI, eixo Z, para pessoa sentada, em pé ou deitada. ....	38
Figura 9 - Pontos de exposição em função da aceleração e do tempo. ....	43
Figura 10 - Fatores significativos na exposição à VCI apresentados em estudos técnicos e científicos. ....	46
Figura 11 - Sistema musculoesquelético da coluna vertebral. ....	53
Figura 12 - Questionário Nórdico dos Sintomas Musculoesqueléticos. ....	57
Figura 13 - Obstáculos localizados nas áreas de pouso. ....	59
Figura 14 - Vegetação nas margens das áreas de pouso e sol nascente de cabeceira. ....	59
Figura 15 - Irregularidade de superfície das áreas de pouso. ....	60
Figura 16 - Representação dos perfis longitudinais de uma área de pouso. ....	61
Figura 17 - Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação. ....	62
Figura 18 - Princípio de funcionamento de equipamento de medição do tipo resposta. ....	63
Figura 19 - Equipamento <i>MERLIN</i> para medição da irregularidade da estrada de rodagem. ..	64
Figura 20 - Mapa conceitual da estrutura metodológica da tese. ....	67
Figura 21 - Aeronave EMB-201A usada na coleta de dados. ....	69
Figura 22 - Aeronave EMB-202 usada na coleta de dados. ....	69
Figura 23 - Aeronave A188B usada na coleta de dados. ....	70
Figura 24 - Aeronave AT402B usada na coleta de dados. ....	70
Figura 25 - <i>Seat pad Brüel &amp; Kjær</i> – 4515-B-002 montado no assento da aeronave AT402B. ....	71
Figura 26 - Procedimento de recrutamento <i>snowball sampling</i> . ....	74
Figura 27 - Vista panorâmica da seção de teste nº1 – área de pouso QU6. ....	79
Figura 28 - Perfil da seção de teste nº1 – área de pouso QU6. ....	79
Figura 29 - Vista panorâmica da seção de teste nº2 – área de pouso 2PA. ....	80
Figura 30 - Perfil da seção de teste nº2 – área de pouso 2PA. ....	80

Figura 31 - Vista panorâmica da seção de teste nº3 – área de pouso CAC. ....	81
Figura 32 - Perfil da seção de teste nº3 – área de pouso CAC. ....	81
Figura 33 - Vista panorâmica da seção de teste nº4 – área de pouso QU5. ....	82
Figura 34 - Perfil da seção de teste nº4 – área de pouso QU5. ....	82
Figura 35 - Vista panorâmica da seção de teste nº5 – área de pouso SJ1. ....	83
Figura 36 - Perfil da seção de teste nº5 – área de pouso SJ1. ....	83
Figura 37 - Vista panorâmica da seção de teste nº6 – área de pouso P35. ....	84
Figura 38 - Perfil da seção de teste nº6 – área de pouso P35. ....	84
Figura 39 - Vista panorâmica da seção de teste nº7 – área de pouso GER. ....	85
Figura 40 - Perfil da seção de teste nº7 – área de pouso GER. ....	85
Figura 41 - Vista panorâmica da seção de teste nº8 – área de pouso SCH. ....	86
Figura 42 - Perfil da seção de teste nº8 – área de pouso SCH. ....	86
Figura 43 - Vista panorâmica da seção de teste nº9 – área de pouso PAL. ....	87
Figura 44 - Perfil da seção de teste nº9 – área de pouso PAL. ....	87
Figura 45 - Gráfico de prevalências de sintomas musculoesqueléticos em pilotos agrícolas. ....	101
Figura 46 - Capacidade de predição do modelo logístico de acordo com o corte de classificação. ....	102
Figura 47 - Razão de chances de prognóstico de raquialgia em função das horas de voo diárias. ....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos primários que abordaram os problemas relacionados com o trabalho de piloto agrícola.....	34
Tabela 2 - Exposição diária à VCI projetada para um período de 8h em diferentes veículos..	44
Tabela 3 - Sumário dos fatores associados à VCI em estudos anteriores.....	45
Tabela 4 - Resultados da meta-análise de estudos epidemiológicos de caso-controle que relacionaram sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral com a exposição à VCI de 1986 a 1996. ....	50
Tabela 5 - Estudos epidemiológicos que relacionaram sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral com a exposição a VCI de 2005 a 2015. ....	52
Tabela 6 - Roteiro de entrevista.....	75
Tabela 7 - Tabela ANOVA testando as aeronaves para variável de resposta expressa em VDV VTV.....	89
Tabela 8 - Matriz experimental para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV. ....	91
Tabela 9 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A), aeronave (B) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV.....	92
Tabela 10 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa de voo (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-201A.....	92
Tabela 11 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-201A através do teste de <i>Tukey HSD</i> .....	94
Tabela 12 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave EMB-201A. ....	94
Tabela 13 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-202.....	95
Tabela 14 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-202 através do teste de <i>Tukey HSD</i> .....	95
Tabela 15 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave EMB-202. ....	95
Tabela 16 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave A188B.....	96
Tabela 17 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave A188B através do teste de <i>Tukey HSD</i> . ....	96
Tabela 18 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave A188B. ....	96
Tabela 19 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave AT402B.....	97

Tabela 20 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em $VDV(8)$ VTV em aeronave AT402B através do teste de <i>Tukey HSD</i> .....	97
Tabela 21 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave AT402B.....	97
Tabela 22 - Variáveis da equação.....	103

## LISTA DE ABREVIATURAS

<i>A(8)</i>	<i>Daily Vibration Exposure</i>
$A_v$	<i>Daily Vibration Exposure – Vector Sum</i>
<i>ACGIH</i>	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANOVA	Análise de Variância
<i>ANSI</i>	<i>American National Standards Institute</i>
AREN	Aceleração Resultante de Exposição Normalizada
AVGAS	Gasolina de Aviação
BHC	Hexabenzeno de Cloro
<i>BSI</i>	<i>British Standards Institution</i>
CAVAG	Curso de Aviação Agrícola
CCAA	Curso de Coordenadores de Aviação Agrícola
CEAA	Curso de Executores de Aviação Agrícola
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CHT	Certificado de Habilitação Técnica
CMA	Certificado Médico Aeronáutico
COMPESQ	Comissão de Pesquisa
CPAA-AG	Curso de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – Agrícola
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DORT	Distúrbios Osteomusculares Relacionados com o Trabalho
DP	Desvio Padrão
<i>EAV</i>	<i>Exposure Action Value</i>
<i>ELV</i>	<i>Exposure Limit Value</i>
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
FC	Fator de Crista
FENAG	Federação Nacional de Aviação Agrícola
GSO	Gestor de Segurança Operacional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMC	Índice de Massa Corporal
IRI	Índice de Rugosidade Internacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MERLIN	<i>Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation</i>
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
MTVV	<i>Maximum Transient Vibration Value</i>
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PPR	Programa de Proteção Respiratória
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
QNSM	Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos
RAB	Registro Aeronáutico Brasileiro
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SAE	Serviço Aéreo Especializado
SINDAG	Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola
SNA	Sindicato Nacional de Aeronautas
SNAA	Seminário Nacional de Aviação Agrícola
SOP	<i>Standard Operation Procedures</i>
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
SST	Saúde e Segurança do Trabalho
SUS	Sistema Único de Saúde
TCLE	Termo de Compromisso Livre e Esclarecido
VCI	Vibração de Corpo Inteiro
VDV	<i>fourth power Vibration Dose Value</i>
VDV(8)	<i>daily fourth power Vibration Dose Value</i>
VDVR	Valor da Dose de Vibração Resultante
VTV	Valor Total da Vibração

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
1.1	TEMA	20
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	20
1.3	OBJETIVOS	20
1.3.1	Objetivo geral	20
1.3.2	Objetivos específicos	20
1.4	JUSTIFICATIVA	21
1.5	DELIMITAÇÃO	22
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>23</b>
2.1	AVIAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL	24
2.1.1	Contexto histórico	24
2.1.2	Importância da aviação agrícola para a agricultura	27
2.2	O PILOTO AGRÍCOLA BRASILEIRO	27
2.2.1	Formação profissional	28
2.2.2	Atuação profissional	28
2.2.3	Problemas relacionados com o trabalho de piloto agrícola	30
2.2.4	Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho	34
2.3	EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO	35
2.3.1	Normas para avaliação da exposição diária	36
2.3.2	Metodologia para avaliação dos dados	36
2.3.3	Limites de exposição diária	41
2.3.4	Sistema de avaliação baseado em pontos de exposição	42
2.3.5	Fatores relacionados com a magnitude de Vibração de Corpo Inteiro	44
2.3.6	Efeitos da exposição	49
2.4	A COLUNA VERTEBRAL	53
2.4.1	Biomecânica e cinesiologia relacionadas com a coluna vertebral	53
2.4.2	Disfunções associadas ao trabalho	54
2.4.3	Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos	56
2.5	ÁREAS DE POUSO PARA USO AEROAGRÍCOLA	58
2.5.1	Problemas relacionados com as áreas de pouso	58
2.5.2	Irregularidade da superfície de áreas de pouso	60
2.5.3	Equipamentos e métodos para avaliação da irregularidade superficial	61
2.5.3.1	Procedimentos de medição Classe I	62

2.5.3.2	Procedimentos de medição Classe II.....	62
2.5.3.3	Procedimentos de medição Classe III .....	63
2.5.3.4	Procedimentos de medição Classe IV .....	65
2.6	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO REFERENCIAL TEÓRICO.....	65
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>67</b>
3.1	IRREGULARIDADE DA SUPERFÍCIE DAS ÁREAS DE POUSO .....	68
3.1.1	Coleta de dados.....	68
3.1.2	Análise dos dados .....	68
3.2	EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO .....	68
3.2.1	Coleta de dados.....	68
3.2.2	Análise dos dados .....	72
3.3	PREVALÊNCIA DE SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS.....	73
3.3.1	Coleta de dados.....	73
3.3.2	Critérios de inclusão.....	75
3.3.3	Riscos e benefícios.....	76
3.3.4	Análise dos dados .....	76
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>78</b>
4.1	IRREGULARIDADE DA SUPERFÍCIE DAS ÁREAS DE POUSO .....	78
4.1.1	Seção de teste nº1 – área de pouso QU6 .....	78
4.1.2	Seção de teste nº2 – área de pouso 2PA .....	80
4.1.3	Seção de teste nº3 – área de pouso CAC .....	81
4.1.4	Seção de teste nº4 – área de pouso QU5 .....	82
4.1.5	Seção de teste nº5 – área de pouso SJ1 .....	83
4.1.6	Seção de teste nº6 – área de pouso P35 .....	84
4.1.7	Seção de teste nº7 – área de pouso GER .....	85
4.1.8	Seção de teste nº8 – área de pouso SCH.....	86
4.1.9	Seção de teste nº9 – área de pouso PAL.....	87
4.1.10	Considerações a respeito das áreas de pouso .....	88
4.2	EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO .....	89
4.2.1	Exposição diária .....	89
4.2.2	Fatores relacionados com a exposição .....	89
4.2.3	Considerações a respeito da exposição .....	97
4.3	SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS EM PILOTOS AGRÍCOLAS.....	100
4.3.1	Características da população estudada .....	100

4.3.2	Modelo de predição.....	101
4.3.3	Considerações a respeito dos sintomas .....	104
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICE II – PROJEÇÃO DA EXPOSIÇÃO DIÁRIA A VCI EM CICLOS COMPLETOS DE APLICAÇÃO AÉREA DE DEFENSIVOS PARA AS DIFERENTES AERONAVES TESTADAS.....</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE III – EXPOSIÇÃO DIÁRIA À VCI SEGMENTADA DE ACORDO COM A ETAPA DO TRABALHO, IRREGULARIDADE DE SUPERFÍCIE DAS ÁREAS DE POUSO E AERONAVES TESTADAS .....</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE IV – VARIÁVEIS DE ENTRADA E DE RESPOSTA USADAS NO MODELO LOGÍSTICO .....</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A aviação agrícola é caracterizada na Portaria nº 190/GC5, de 20 de março de 2001 como um Serviço Aéreo Especializado (SAE), que tem por finalidade proteger ou fomentar o desenvolvimento da agricultura em todos seus aspectos, mediante a aplicação em voo de fertilizantes, sementes, inseticidas e outros defensivos, entre outros (Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) nº 137, de 31 de maio 2012 [1]).

Desde a sua primeira utilização no Brasil, em meados da década de 40, a aviação agrícola tem acompanhado o crescimento da agricultura e contribuindo de forma importante para o seu desenvolvimento. De acordo como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a vantagem do uso de aeronaves na agricultura está na grande velocidade de aplicação, bem como na possibilidade de atuar rapidamente em períodos críticos das culturas, além de não ocasionar perdas por amassamento e não disseminar patógenos entre lavouras, como pode ocorrer em pulverizações terrestres. Assim, é considerada uma atividade importante para a preservação da agricultura, horticultura e floresta [2]. No final de 2013, a aviação agrícola brasileira já era composta por 223 empresas prestadoras de serviço em aviação agrícola, autorizadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Nesse mesmo ano, no Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) já estavam registradas 1925 aeronaves.

Essas aeronaves operam em condições especiais, como por exemplo, em áreas de pouso para uso aeroagrícola, definidas pelo RBAC 137 como áreas destinadas a serem utilizadas para pouso ocasional, devendo ser de uso temporário e restrito à atividade aeroagrícola. Essas áreas de pouso são em sua maioria localizadas no interior das propriedades rurais, construídas muitas vezes pelos próprios fazendeiros em espaços de terra próximos das lavouras. Assim, o piloto desloca-se com a aeronave que será utilizada, enquanto uma equipe de apoio se desloca no solo, carregando combustível para abastecimentos da aeronave, equipamentos para mistura de defensivos e para carregamento da aeronave. A operação minimiza os deslocamentos da aeronave até a base operacional, que implica em elevados custos de combustível e reduz o tempo ocioso.

A utilização das áreas de pouso para uso aeroagrícola envolve diversos perigos, os quais de certa forma já são considerados comuns na aviação agrícola. Estando no interior de propriedades rurais, essas áreas de pouso são normalmente rodeadas por plantações diversas, o que inclui inclusive vegetação alta, que pode se tornar um obstáculo, dependendo de sua localização em relação ao trajeto da aeronave. Outros obstáculos incluem cercas, canais,

árvores, redes de transmissão de energia, e desníveis de solo. Além destes, outro fator normalmente ignorado é a condição de rodagem das áreas de pouso. As áreas de pouso ocupam grande espaço das propriedades rurais e, para um melhor aproveitamento, por vezes são usadas como áreas de passagem para outros veículos e máquinas agrícolas, bem como para conter rebanhos. Os efeitos do uso indevido dessas áreas, aliado às variações das condições climáticas, reflete em uma superfície de rodagem irregular com desníveis severos. Essas condições podem expor tanto a aeronave quanto o piloto a choques e elevadas magnitudes de vibração mecânica.

Em veículos, a investigação sobre a exposição dos condutores às vibrações mecânicas é especialmente focada na Vibração de Corpo Inteiro (VCI) que, no caso da aeronave, é transmitida para o corpo humano através da interface do assento e encosto [3]. Dos estudos anteriores que caracterizaram a exposição à VCI em diferentes veículos, as maiores magnitudes foram encontradas em veículos do tipo ‘fora de estrada’, que operam em situações parecidas com as citadas para a aviação agrícola. Exemplos incluem ainda tratores [4], caminhões de mineradora [5], [6] e veículos de manutenção de estradas de rodagem [7], [8], que também operam em terrenos com pouca manutenção e situações imprevistas. Assim, pode ser possível que a exposição dos pilotos agrícolas à VCI também seja elevada.

Os efeitos da exposição da aeronave aos choques e vibrações podem acelerar a degradação de todos os sistemas mecânicos e estruturais da aeronave, o que também pode inclusive ocasionar acidentes graves. Para o piloto, a exposição prolongada às vibrações causadas pelo deslocamento da aeronave sobre a superfície irregular das áreas de pouso pode causar problemas de saúde, assim como para alguns veículos em suas respectivas estradas de rodagem [9]. Neste caso, a exposição à VCI está normalmente associada com raquialgias, ou seja, dores na coluna vertebral, contudo, também pode afetar os sistemas circulatório, gastrointestinal e auditivo-vestibular [10]. Diversos estudos têm investigado a relação entre a VCI com a prevalência de lombalgias, como por exemplo, os estudos de Bovenzi [11], Hoy *et al.* [12] e Rozali *et al.* [13], sendo o aumento da exposição à VCI responsável pelo aumento da razão de chances de desenvolver lombalgia [14].

A literatura sobre a relação da VCI com raquialgias não apresenta dados sobre a exposição de pilotos agrícolas à VCI, nem dados sobre prevalências de raquialgias para esse grupo ocupacional. Tendo em vista a singularidade do trabalho na aviação agrícola, e, a falta de estudos dedicados ao conhecimento sobre a exposição à VCI e seus efeitos de longo prazo na saúde dos pilotos agrícolas, é de interesse sua investigação.

## 1.1 TEMA

Diante do contexto apresentado, o tema desta tese contempla a investigação da exposição ocupacional dos pilotos agrícolas à VCI, e, como efeito desta, o comprometimento da saúde desses profissionais.

## 1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

Considerando as características do trabalho de piloto agrícola, questiona-se: **‘Quais são os níveis de exposição diária à VCI?’**, e, **‘que fatores relacionados com o trabalho são capazes de influenciar nesta exposição?’**. Além disso, sendo o piloto agrícola exposto à VCI, **“qual a prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral?”**, e, **“Que fatores relacionados com trabalho de piloto agrícola podem influenciar neste acometimento”**.

## 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa são estruturados com base em um objetivo geral (Seção 1.3.1) e quatro objetivos específicos (Seção 1.3.2).

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta tese é estudar a exposição ocupacional dos pilotos agrícolas à VCI e os sintomas musculoesqueléticos associados.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Coletar informações sobre as condições de trabalho dos pilotos agrícolas, mais especificamente as que podem influenciar na exposição à VCI.
- 2) Coletar informações sobre a exposição dos pilotos agrícolas à VCI nas diferentes condições de trabalho;
- 3) Verificar a associação entre a exposição ocupacional à VCI e as diferentes condições de trabalho.
- 4) Identificar a prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral nos pilotos agrícolas.

- 5) Verificar a associação dos sintomas referidos relacionados a problemas musculoesqueléticos da coluna vertebral em pilotos agrícolas com a exposição ocupacional à VCI e outros fatores relacionados com o trabalho.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Embora não haja estudos publicados em periódicos internacionais, tanto sobre a exposição a VCI quanto à prevalência de sintomas associados para pilotos agrícolas, certos aspectos intrínsecos à profissão são os mesmos abordados em outros estudos com outros profissionais.

O trabalho dos pilotos agrícolas é sazonal, depende do calendário agrícola de cada cultivo, o que torna a carga horária de trabalho variável, com certos períodos de trabalho que excedem 10 horas de voo por dia, expostos à VCI. Aviões agrícolas operam em áreas de pouso geralmente improvisadas no interior das propriedades rurais para minimizar os deslocamentos com a carga e conseqüentemente reduzir o custo operacional. Essas áreas de pouso são de responsabilidade dos proprietários rurais que, por vezes, desconhecem a importância da manutenção das mesmas para o bom desempenho das operações aeroagrícolas. A irregularidade da superfície dessas áreas de pouso pode afetar a magnitude das vibrações e, assim, ter repercussões negativas na saúde dos pilotos agrícolas.

A aviação agrícola é uma atividade crescente, que acompanha as necessidades da agricultura e, assim, é importante que se conheçam todos os problemas relacionados com o trabalho e seus efeitos na saúde dos pilotos e outros profissionais envolvidos nas operações de aplicação aérea de defensivos agrícolas. Algumas condições de trabalho são extensivamente exploradas na literatura internacional, como exemplo mais marcante, a aplicação de defensivos agrícolas e como estes podem afetar a saúde dos profissionais envolvidos, citando como exemplos os estudos de Rice *et al.* [15] e de Chaturvedi [16]. Por outro lado, as operações em áreas de pouso ocasional podem sujeitar o piloto a choques e vibrações, e essa exposição é pouco investigada.

O efeito dos choques e vibrações na aeronave pode acelerar a sua degradação, colocando-a em uma situação aumentada de risco de acidente [9]. O profissional exposto pode experimentar efeitos no conforto, saúde e segurança [17]. O crescimento do setor sem a preocupação com a exposição dos trabalhadores pode ocasionar o conseqüente aumento da quantidade de profissionais acometidos por raquialgias e outros problemas de saúde.

Diante de tantas limitações apresentadas para o setor de aviação agrícola (ex. pequenas empresas com recursos limitados) e situações de trabalho com várias restrições de melhoria (ex. uso de infraestrutura de terceiros) é de fundamental importância o conhecimento da exposição à VCI e problemas de saúde relacionados.

## 1.5 DELIMITAÇÃO

Dos efeitos negativos da exposição à VCI, sabe-se que estes podem afetar o conforto, saúde e segurança das pessoas expostas [17]. O efeito físico das vibrações sobre o corpo humano pode ser temporário, ou seja, pode desaparecer ao longo do tempo uma vez que a exposição seja interrompida. Por outro lado, o efeito físico das vibrações pode ser permanente, levando a lesões irreparáveis, sendo mais comum quando ocorre em contexto ocupacional. Isso porque a exposição ocupacional normalmente ocorre regularmente, com magnitudes de vibração substanciais e por longos períodos de tempo.

A vibração mecânica pode ser transmitida para o corpo do trabalhador inteiro, conhecida como VCI, ou partes dele, especialmente a região da mão e braço (Vibrações em mãos e braços). Vibrações transmitidas ao sistema mão-braço implicam riscos para a saúde e para a segurança dos trabalhadores, em especial perturbações vasculares, lesões ósseo-articulares, perturbações neurológicas ou musculares [18]. Vibrações transmitidas a todo o organismo implicam riscos para a saúde e para a segurança dos trabalhadores, em especial patologias da região lombar e lesões da coluna vertebral [18]. Infelizmente, a relação entre a exposição a vibração e danos à saúde muitas vezes não é tão óbvia, visto que os efeitos da exposição se confundem com outros problemas ocupacionais.

Nesse estudo, são investigados apenas os efeitos negativos da exposição ocupacional às vibrações, e, somente daquelas que são transmitidas através da interface de suporte para o corpo todo. Além disso, são investigados apenas os efeitos na saúde, temporários ou permanentes, apenas de pilotos agrícolas que atuam com as aeronaves mais utilizadas na aviação agrícola brasileira. Assim, não serão investigados os efeitos no conforto ou segurança, nem mesmo a exposição em aeronaves pouco utilizadas e outros profissionais da aviação agrícola.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados os dados de estudos anteriores, técnicos e científicos, capazes de orientar o desenvolvimento desta tese. É nesta etapa da pesquisa, onde o problema é contextualizado, tornando evidente o cenário ou situação a ser estudada e torna possível que se entendam as restrições impostas para o desenvolvimento do conhecimento científico sobre o tema proposto.

As seções 2.1 e 2.2 expõem a situação atual da aviação agrícola brasileira, que é parte fundamental para a o conhecimento das situações de trabalho, bem como a identificação de lacunas de pesquisa e de restrições para futuras melhorias. Já as seções 2.3 a 2.5 mostram a partir da exposição ocupacional à VCI, os fatores capazes de influenciar na exposição, os fatores capazes de contribuir para ocorrência de sintomas e lesões musculoesqueléticas, bem como as ferramentas e técnicas de coleta e análise de dados utilizadas em estudos anteriores

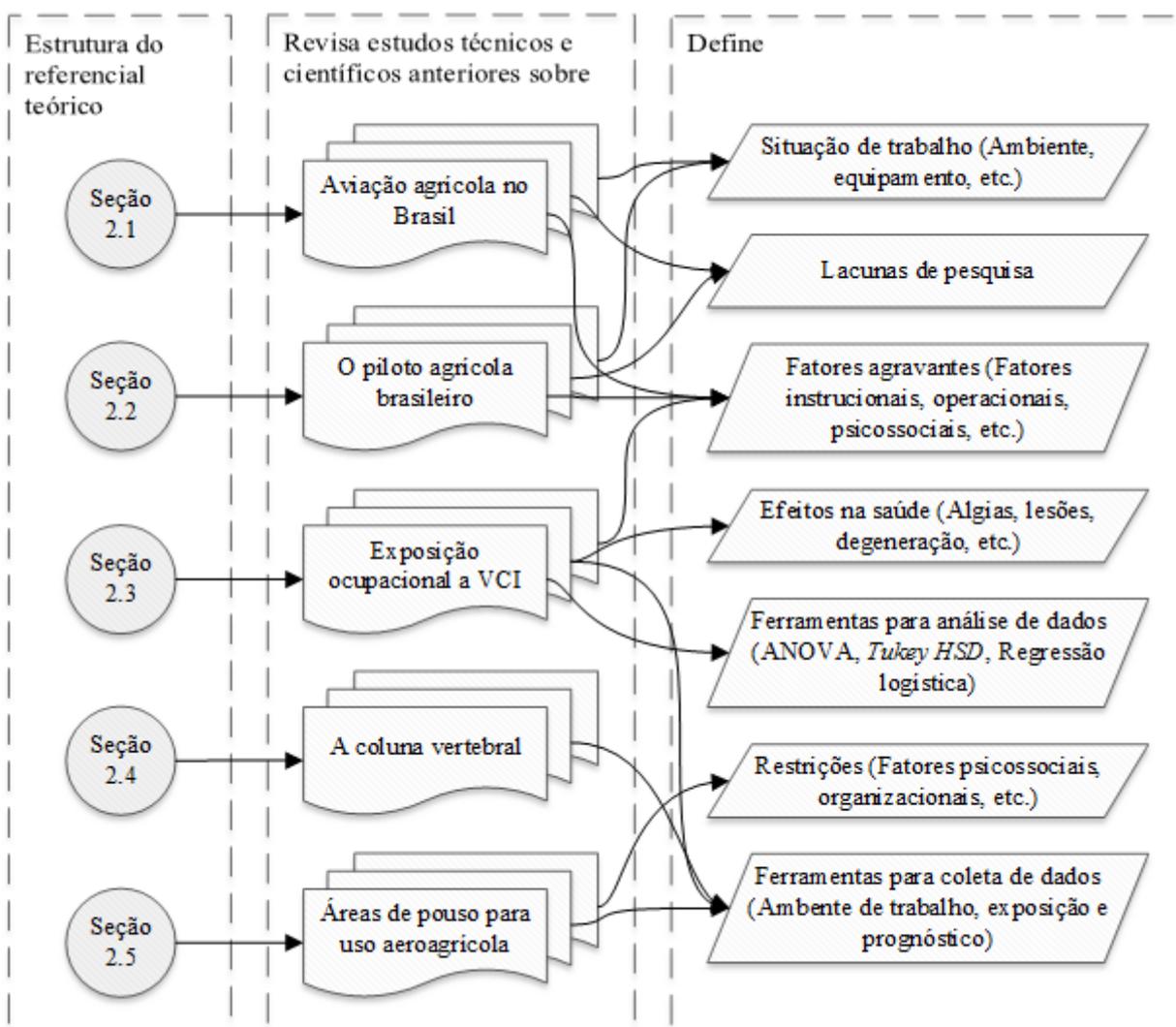


Figura 1 - Mapa mental da estrutura do referencial teórico da tese.

para a identificação destes fatores (Figura 1).

## 2.1 AVIAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL

Nessa seção são apresentados o contexto histórico e evolução da aviação agrícola brasileira, com o objetivo de entender o porquê do seu surgimento e qual a importância desse setor para a agricultura brasileira. O conhecimento sobre esses dados contribui para o entendimento do sistema de trabalho.

### 2.1.1 Contexto histórico

A aviação agrícola é caracterizada pela Portaria nº 190/GC-5, de 20 de março de 2001 como um SAE, que tem, por fim, proteger ou fomentar o desenvolvimento da agricultura em todos seus aspectos, mediante a aplicação em voo de fertilizantes, sementes, inseticidas e outros defensivos, entre outros.

A aviação agrícola iniciou-se no Brasil em 19 de agosto de 1947, devido à necessidade de controlar um ataque de gafanhotos que devastou a região de Pelotas, Rio Grande do Sul [20]. O primeiro voo foi realizado pelo piloto civil Clóvis Candiota a bordo de uma aeronave de instrução, o biplano Muniz M-9 (Figura 2). A aeronave de fabricação nacional e de propriedade do aeroclube local, foi adaptada para o controle da praga, tendo 100 kg como capacidade de carga [2], [20]. A primeira operação teve o apoio técnico do engenheiro agrônomo Leôncio Fontelles, chefe do Posto de Defesa Agrícola do MAPA, para aplicação de Hexabenzeno de Cloro (BHC) [2], [20].

Diante do sucesso das primeiras aplicações, surgiu a necessidade de formar profissionais capacitados, e assim, foi criado o Curso de Aviação Agrícola (CAVAG),



Figura 2 - Comandante Clóvis Candiota a bordo da aeronave MUNIZ M-9.  
Fonte: <http://www.agrolink.com.br/aviacao/Historia.aspx>

regulamentado pelo Decreto nº 56.854, de 20 de julho de 1965, tendo como base a Fazenda Ipanema. O primeiro CAVAG foi realizado em 1967, mesma época com que eram criados o Curso de Coordenadores de Aviação Agrícola (CCAA) e o Curso de Executores de Aviação Agrícola (CEAA).

Em 19 de Agosto de 1969 foi criada a Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER), fabricante das aeronaves agrícolas Série 200, que representam a maior parte de aeronaves operantes no Brasil. A primeira aeronave da série, o EMB-200, fez seu voo inaugural no dia 30 de julho de 1970. Na primeira década de fabricação, foram produzidas aproximadamente 400 aeronaves.

A aviação agrícola foi reconhecida pelo Decreto-Lei nº 917, de 7 de setembro de 1969, e regulamentada pelo Decreto 86.765, de 22 de dezembro de 1981, podendo então ser conduzida por pessoa física ou jurídica detentoras de certificado para execução das atividades. Através do Decreto nº 97.669, de 19 de abril de 1989, o dia 19 de agosto foi instituído como o Dia Nacional da Aviação Agrícola, e Clóvis Candiota o patrono da Aviação Agrícola Brasileira.

A partir de 1970, formam-se associações estaduais para defender os interesses do setor. A partir de 1980 entra em cena a Federação Nacional de Aviação Agrícola (FENAG), criada com o objetivo de reunir as associações estaduais. Apesar dos esforços, a FENAG não tinha características de representação sindical, e assim, não podia representar juridicamente os associados. Assim, em 19 de julho de 1991, foi criado o Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (SINDAG), tendo iniciado oficialmente suas atividades em 12 de março de 1992.

No final de 2013, a aviação agrícola brasileira já era composta por 223 empresas prestadoras de serviço em aviação agrícola, autorizadas pela ANAC. Nesse mesmo ano, a frota de aeronaves agrícolas registradas junto ao Registro Aeronáutico Brasileiro – RAB era de 1925 entre regulares e irregulares, concentradas principalmente nos estados do Mato Grosso (446 aeronaves), Rio Grande do Sul (411 aeronaves), São Paulo (268 aeronaves), Goiás (234 aeronaves), Paraná (138 aeronaves) e Mato Grosso do Sul (95 aeronaves), somando 82,7% das aeronaves registradas (Figura 4).

Do total de aeronaves registradas, 1187 aeronaves (61,7% da frota) são de fabricação nacional (EMBRAER), sendo 617 aeronaves EMB-202 e EMB-202A, 378 aeronaves EMB-201A, 151 aeronaves EMB-201 e 16 aeronaves EMB-200A (Figura 3). O potencial do mercado brasileiro é evidente diante da presença marcante de aeronaves de fabricação

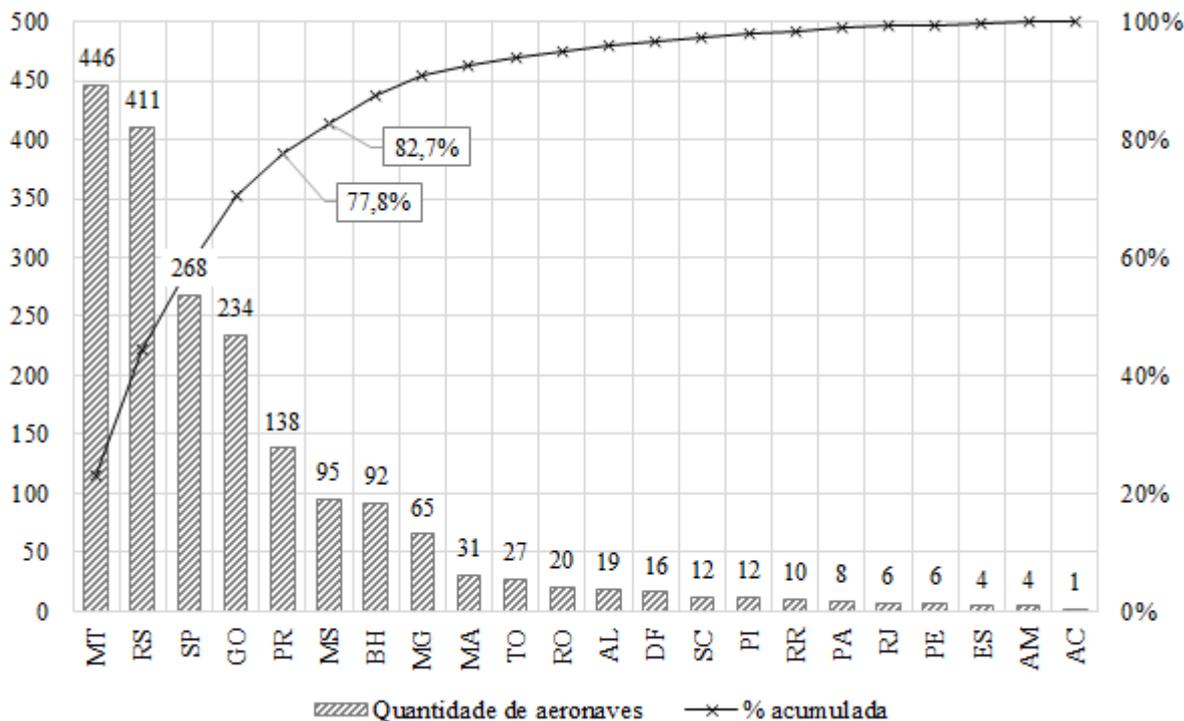


Figura 4 - Distribuição das aeronaves agrícolas por Unidade Federativa.

Fonte: Dados do RAB/ANAC de dezembro de 2013.

estrangeira, como exemplos marcantes, as aeronaves *Cessna*, *AirTractor* e *Piper*, que representam respectivamente 14,5%, 11,6% e 7,3% das aeronaves registradas.

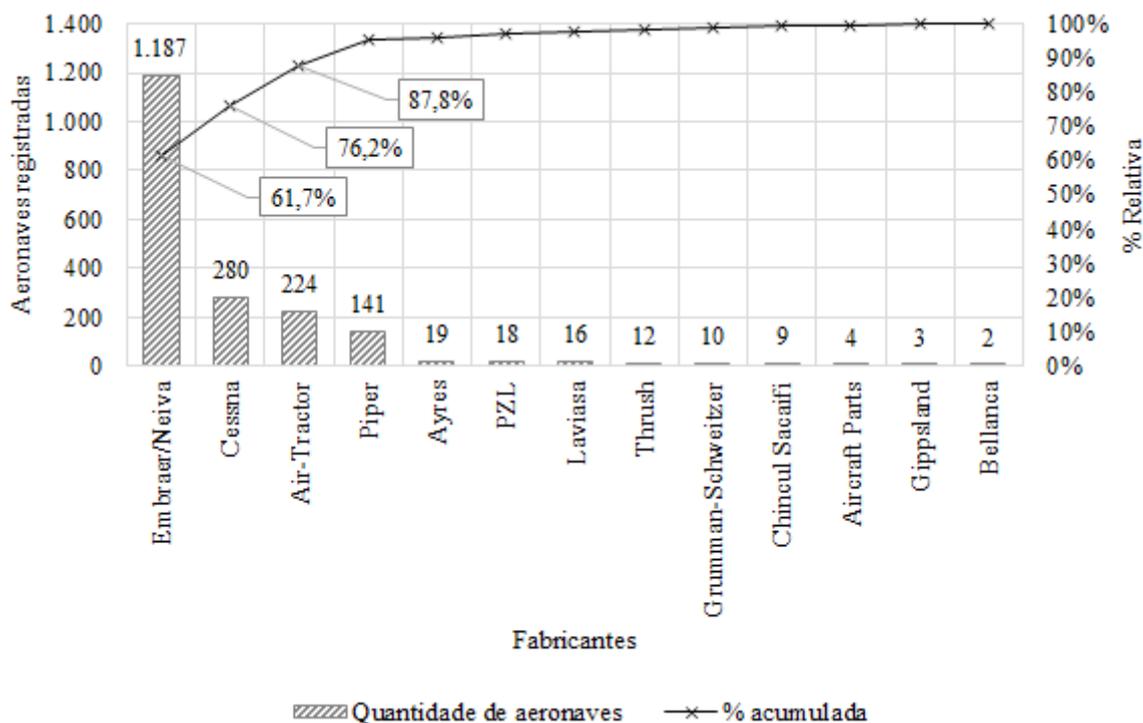


Figura 3 - Distribuição das aeronaves por fabricante.

Fonte: Dados do RAB/ANAC de dezembro de 2013.

## 2.1.2 Importância da aviação agrícola para a agricultura

Desde a década de 70, quando da inserção de aviões para aplicação na agricultura, o uso destes vem se estendendo gradual e continuamente em muitas fases da produção, em particular nos campos de proteção das plantas e controle de pragas [25]. Algumas características da aplicação aérea são de fundamental importância para auxiliar no crescimento da produção agrícola nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas registrado nos últimos anos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Figura 5).

“A importância da aviação agrícola para o desenvolvimento da agricultura reside na grande velocidade de aplicação e a possibilidade de atuar rapidamente em períodos críticos das culturas, além de não ocasionar perdas por amassamento e não disseminar patógenos entre lavouras, como pode ocorrer em pulverizações terrestres” MAPA [2].

Em algumas situações específicas, como por exemplo nos campos inundados de algumas culturas de arroz, fica praticamente impossível realizar coberturas de defensivos com equipamentos terrestres [25]. Estas características, juntamente com a evolução dos defensivos e equipamentos tornam possível o crescimento da produção por hectare plantado registrado nos últimos anos. A Figura 5 evidencia os dados fornecidos no Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do IBGE, entre os anos de 2005 a 2013 [26]–[34].

## 2.2 O PILOTO AGRÍCOLA BRASILEIRO

Nessa seção o foco está no profissional e no ambiente de trabalho. São consideradas aqui as etapas de formação e atuação profissional, os problemas suportados pelos pilotos

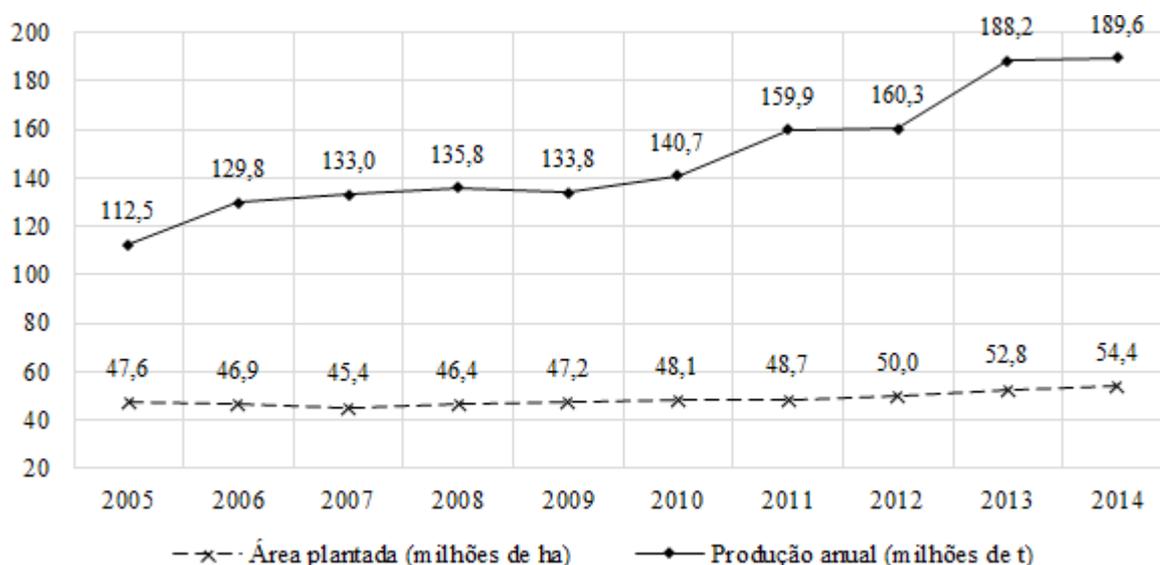


Figura 5 - Dados da produção agrícola nacional dos principais produtos.  
Fonte: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola [26]–[34].

agrícolas na execução do seu trabalho, e como é feito o gerenciamento e controle desses problemas. É nessa seção que são identificadas as lacunas de pesquisa e são delimitadas as ações de melhoria das condições de trabalho.

### 2.2.1 Formação profissional

Dado o elevado número de acidentes associados ao erro humano, é evidente que a formação e experiência dos pilotos agrícolas é essencial para o início e a continuidade de uma carreira na aviação agrícola [25].

De acordo com Decreto-Lei 917 de 7 de setembro de 1969, as empresas e os agricultores proprietários de aeronaves deverão empregar, em suas operações, pilotos devidamente habilitados, com Certificado de Habilitação Técnica (CHT). Esse certificado é obtido através do CAVAG, desenvolvido pelo MAPA, ou outra entidade devidamente autorizada. Os pré-requisitos para realização do CAVAG são a licença de piloto comercial e ter no mínimo 370 horas de voo.

Os conhecimentos adquiridos no CAVAG incluem: aspectos históricos, econômicos e estatísticos e de produção agropecuária, conhecimentos específicos de aeronaves, segurança de voo e prevenção de acidentes, legislação aeronáutica e do MAPA, bem como regulamentos de tráfego aéreo. Além dos conhecimentos teóricos, o curso também oferece prática de aplicação aérea.

### 2.2.2 Atuação profissional

O piloto agrícola formado pode atuar nas áreas descritas pelo RBAC 137, o que inclui SAE de fomento ou proteção da agricultura em geral (uso comercial) e operações privadas de fomento ou proteção da agricultura em geral (uso não comercial).

A atuação do piloto ocorre em um contexto organizacional, e assim, a organização influencia as decisões dos pilotos diretamente ao estipular procedimentos operacionais padrão e, indiretamente, através de suas normas e cultura [35]. A empresa SAE pode ser de porte grande, podendo ter diversas aeronaves, e atender desde um grande produtor rural até diversos pequenos e médios produtores. Por outro lado, a empresa SAE pode ser de pequeno porte, muitas vezes com apenas uma aeronave, a qual muitas vezes é operada pelo proprietário da empresa. Assim, de acordo com a capacidade produtiva, a empresa pode contar com profissionais mais qualificados para atuar juntamente com o piloto (equipe apoio solo,

mecânicos, coordenadores, etc.) ou sobrecarregá-lo com tarefas que vão, além da condução da aeronave, a gestão da equipe apoio solo [36], a atuação no planejamento dos serviços, juntamente com donos de terras, engenheiros agrônomos, bem como outros envolvidos [37], e ainda até mesmo a atuação como vendedor de seus serviços [37].

As características organizacionais são, por vezes, marcadas pela região geográfica na qual a empresa está inserida, principalmente levando em conta as diferenças nos cultivos predominantes. A execução do trabalho fica assim dependente da sazonalidade das operações, ou seja, o piloto deve trabalhar de acordo com a demanda pelos serviços e seguindo o calendário agrícola, que é variável de acordo com o tipo de cultivo predominante. Assim, é normal que no início da safra, com o início das operações, o piloto comece a trabalhar por poucas horas por dia, atendendo a demanda que ainda é pequena. Conforme passam os meses, o trabalho aumenta, e, ao final da safra, o trabalho começa a diminuir gradativamente até terminar completamente [38]. Além disso, durante todo o período de safra o piloto agrícola pode ficar diversos dias sem serviço, em função de condições climáticas desfavoráveis ao voo (ex. chuva e/ou ventos fortes) e/ou a aplicação (ex. a aplicação de determinados defensivos agrícolas depende de faixas de temperaturas específicas), bem como trabalhar por até 12 horas por dia com as condições favoráveis.

As atribuições dos pilotos agrícolas foram definidas inicialmente por Billings [37]. Durante a realização do trabalho, o piloto é, normalmente, o responsável por toda a operação. Antes do início das aplicações, ele deve atuar juntamente com proprietários rurais, engenheiros agrônomos e equipe de apoio solo no planejamento da aplicação. Nessa etapa, ele deve estar atendo às necessidades e restrições impostas por cada profissional, e, apresentar sua opinião acerca de outros fatores relacionados com o voo e a segurança dos envolvidos. Definidas as estratégias para aplicação, o piloto deve controlar as ações da equipe de apoio solo [36].

Feito o carregamento e abastecimento da aeronave o piloto deve decolar de áreas de pouso normalmente improvisadas, no interior das propriedades rurais, reduzindo assim os excessos de deslocamentos que são improdutivos. As áreas de pouso são exclusivas para uso em operações SAE agrícola [1]. Nesses casos, a equipe de apoio solo é deslocada de propriedade em propriedade com os equipamentos de apoio necessários para dar suporte à operação.

Estando em voo, o piloto deve controlar a aeronave, utilizando a mão direita para controle dos ailerons e do profundor (Figura 6), e, em os dois pés para controle do leme para alguns modelos de aeronave. Além desses comandos básicos, o piloto deve acionar esporadicamente os flaps (mão esquerda), comandos de GPS (mão esquerda para comandos no painel e mão direita nos comandos integrados ao manche).

Ao término do período de safra, o piloto pode, por vezes, decidir por atuar em outra região geográfica, com diferentes cultivos, com calendários agrícolas diferentes. Assim, o piloto deve viajar para essa outra região e reiniciar o ciclo do início, ou, começar a trabalhar no meio da safra, quando a demanda é maior, e, as empresas contratam profissionais temporários [39]. Nessas situações, ficando longe de seus familiares durante períodos variáveis, de acordo com a distância estabelecida do local de residência até a região/local de trabalho.

### 2.2.3 Problemas relacionados com o trabalho de piloto agrícola

Os problemas relacionados com o trabalho na aviação agrícola são discutidos desde



Figura 6 - Visão geral da cabine da aeronave EMB-201A.  
Foto: Mateus Zanatta (2014).

os estudos de North & Hightower [40] e de Billings Jr. [37]. Nesses estudos, o trabalho de piloto agrícola é confrontado com diversas situações de perigo, e que podem levar o profissional a desenvolver problemas de saúde, bem como sofrer acidentes. A seguir, são apresentados em sequência cronológica os estudos que abordaram de forma geral, os problemas relacionados com o trabalho de piloto agrícola, sejam relacionados com a saúde dos profissionais ou com a segurança das operações.

Em 1957, North & Hightower [40] definem a aviação agrícola como “uma forma perigosa de voo”, referindo-se ao voo à baixa altura com a presença de obstáculos na trajetória da aeronave. Com o fim da segunda guerra mundial, houve um crescimento anormal das atividades de aplicação aérea de defensivos nos Estados Unidos, em parte pela necessidade de pôr em uso as aeronaves excedentes de treinamento militar [37]. Iniciou-se assim a preocupação com os possíveis problemas relacionados à segurança e saúde ocupacional, inicialmente com a mudança nas características estruturais dos aviões militares antigos adaptados, para projetos mais específicos para o trabalho agrícola [41], [42].

Em 1963, Billings Jr. [37] apontou que os registros de segurança são razoavelmente bons, “considerando os riscos óbvios envolvidos em voar aviões velozes, muito carregados, apenas alguns pés do chão”. Esse mesmo estudo aponta três categorias de problemas: 1) A fadiga, causada pela exposição às vibrações, condições térmicas, ruído ambiental, rajadas de vento e outros fatores de distração; 2) Exposição a elementos tóxicos; e, 3) A apresentação das informações.

Em 1970, Baruch [43] sugere que “as duras condições em que o voo é realizado são muito frequentemente a causa de aumento da fadiga do piloto e esta é, portanto, considerada uma das principais causas dos inúmeros acidentes”. A fadiga é considerada como fator primário (causa raiz) associado as taxas de acidentes, fazendo com que em muitos países o número de horas de voos agrícolas por dia e por mês são limitados por lei para proteger os pilotos da tendência de estender seus recursos físicos [25]. Para Baruch [43], cinco fatores podem aumentar significativamente a fadiga e assim facilitar a ocorrência de acidentes: 1) o trabalho é realizado nas primeiras horas da manhã, o que significa que o piloto tem que levantar muito cedo, tendo como consequência a redução das horas de sono e repouso; 2) os voos são realizados a uma altura muito baixa, com numerosos obstáculos e, por vezes, o piloto tem que voar ofuscado contra o sol; 3) o voo dura várias horas e requer muitas saídas; 4) a pulverização é realizada com materiais tóxicos; e, 5) normalmente os voos são realizados durante os meses mais quentes e em condições meteorológicas difíceis.

Em 1981, Richter et al. [44] citam diversos problemas relacionados com o trabalho do piloto agrícola, já citados em estudos anteriores, o que indica que as ações de melhoria criadas nesse período não foram plenamente efetivas. Os problemas citados incluem a jornada de trabalho excessiva e cansativa, com início nas primeiras horas do dia, as diversas descolagens e pousos, aplicações a baixa altura, balões frequentes, obstáculos, e exposições ao ruído, vibrações, forças gravitacionais, pesticidas e estresse térmico. Diante desses problemas, Richter et al. [44] enumeram algumas medidas de prevenção, que incluem melhorias na aeronave, no ambiente de trabalho e no monitoramento médico. Melhorias nas aeronaves incluem climatização, uso de sistemas para corte de linhas de transmissão de energia e estrutura da cabine resistente à acidentes. Melhorias no ambiente de trabalho incluem a sinalização adequada de linhas de transmissão de energia e outros obstáculos. Para o piloto, são destacadas orientações quanto a ingestão de líquidos e realização de exames periódicos para detectar possível contaminação.

No mesmo período, Mohler [45] apresenta o que chama de “programa de medicina mais sofisticado da aviação civil do mundo”. O programa considera uma espécie de plano de carreira, onde pilotos são selecionados para atuar de 4 a 5 safras apenas, sendo estes após transferidos para outras atividades na aviação. Os profissionais envolvidos são treinados para as técnicas de aplicação e características dos produtos químicos. O treinamento é parte da atividade de trabalho, sendo os pilotos novos destinados à aplicação de químicos menos perigosos e conforme ganham experiência vão progredindo para aplicação segura de químicos mais perigosos. Os voos são limitados de 4 a 6 horas por dia, com aviões selados para evitar a contaminação dos tripulantes, e, ainda assim, usando equipamentos de proteção. As aplicações são registradas em um livro de controle para controle da exposição, que é preenchido também por um médico que realiza exames clínicos antes de cada jornada de trabalho. A equipe de solo é treinada para utilização de kits de emergência química. Assim como Baruch [43], Mohler [45] considera que “a fadiga do piloto representa um fator altamente prejudicial e insidioso na aviação agrícola”.

Em 1991, Hall [46] define o voo agrícola como “uma forma particularmente perigosa da aviação”. Em adição aos problemas anteriormente relatados por diversos pesquisadores, Hall [46] cita o uso de aviões monomotores, bem como a operação em áreas de pouso improvisadas. Como resultado de sua pesquisa, aponta cinco principais classes de problemas causadores de acidentes: 1) o piloto, de acordo com a sua saúde, atividade física, atitude e experiência; 2) distrações e pressões, como afastamento da família e aspectos financeiros que

interferem na decisão de voar ou não; 3) aspectos mecânicos, como ergonomia, manutenção e carregamento; 4) obstáculos; e, 5) outros, que incluem, por exemplo, a sorte. Em 1999, Cantor & Silberman [47] relatam que pilotos agrícolas que se deslocam de carro ao final da jornada de trabalho estão suscetíveis de se acidentarem devido ao elevado número de horas de voo, enquanto expostos aos defensivos agrícolas, o que pode ter efeito negativo na função neurológica.

Por mais que o setor tenha se desenvolvido em termos de tecnologia e regulamentação, estudos recentes ainda citam a aviação agrícola como uma profissão perigosa. Por outro lado, Rice *et al.* [15] relatam que dados de incidentes de 2001 e 2002 sugerem declínio. O estudo sugere o fornecimento de equipamentos para proteção e para limpeza e descontaminação, bem como a formação profissional adequada para uso desses equipamentos. Rice *et al.* [15] sugerem ainda que apenas a equipe de apoio solo faça o manuseio dos produtos químicos. Essa atitude pode reduzir as responsabilidades do piloto, mas deve ser acompanhada de formação adequada da equipe de solo [36]. De acordo com de Voogt *et al.* [36], as operações de carga externa são realizadas em um ambiente que permite pouca margem para erro e o desempenho da máquina é limitado pela carga. Assim, essas operações comumente empregam pilotos altamente experientes e são uma das poucas operações em que a equipe de apoio solo pode ajudar o piloto. O papel da equipe de apoio solo em operações de alto risco mostra um paradoxo de segurança já que equipes de terra podem ser a causa ou um fator atenuante nos acidentes [36]. Contudo, o autor sugere que a presença de equipes de terra é, no entanto, o mais promissor para a segurança das operações de helicóptero de alto risco, mas somente se seu treinamento e responsabilidades forem gerenciados com um cuidado similar como entre os pilotos.

Salvos os estudos citados até aqui, a maioria dos estudos sobre aplicação aérea têm concentrado seus esforços nos perigos dos produtos químicos aplicados, tendo como exemplos mais recentes os estudos de Gerry *et al.* [48] e de Minasi *et al.* [49]. Na Tabela 1 são apresentados os estudos publicados nas últimas décadas, que abordaram os problemas relacionados com trabalho na aviação agrícola.

Apesar das várias recomendações, é necessário ainda considerar que a exposição suportada pelos pilotos agrícolas é uma soma de todos os fatores presentes no ambiente de trabalho [50].

Tabela 1 - Estudos primários que abordaram os problemas relacionados com o trabalho de piloto agrícola.

Autor (Ano) [Referência]	Contexto	Características e/ou fatores considerados
Hall (1991) [46]	Explora as atividades e atitudes que precedem o acidente.	Problemas acidentários; organizacionais e psicossociais.
Gordon & Hirsch (1986) [123]	Mostra que a introdução de novos pesticidas exige um monitoramento médico mais desenvolvido e adequado. Apresenta um programa para a prevenção de mortes e ferimentos por acidentes de aeronaves, de acordo com uma matriz de opções para intervenções derivadas da epidemiologia de acidentes rodoviários.	Problemas operacionais, acidentários, físico-ambientais e químico-ambientais.
Richter et al. (1981) [44]	Apresenta melhorias aplicadas em uma concepção de aeronave exclusiva para uso em operações aeroagrícolas.	Problemas químico-ambientais, físico-ambientais, operacionais e acidentários.
Quantick (1979) [124]	Investiga os fatores que são susceptíveis de causar fadiga e reduzir alerta entre os pilotos e, assim, contribuir para o aumento do número de acidentes.	Problemas acidentários, informacionais e naturais.
Baruch (1970) [43]	Análise de 383 acidentes em aeronaves envolvidas em operações de aplicação aérea, com base em relatórios de acidentes.	Problemas químico-ambientais, operacionais, naturais, acidentários e físico-ambientais.
Ryan & Dougherty (1969) [125]	Descrição de um programa para formação e supervisão, considerando os fatores contribuintes na ocorrência de acidentes.	Tipo de aeronave; Experiência do piloto.
Perry (1969) [126]	Descoberta de semelhanças, tendências e padrões em acidentes na aviação agrícola.	Problemas acidentários, operacionais e organizacionais.
Reich & Berner (1968) [127]	Tentativa de evidenciar problemas clínicos de saúde e ambientais verificados na aviação agrícola.	Problemas acidentários, organizacionais e químico-ambientais.
Billings (1963) [37]	Apresentação do perfil dos pilotos envolvidos em quatro acidentes com aeronaves agrícolas, possíveis causas e soluções.	Problemas acidentários, comunicacionais, físico-ambientais, informacionais, naturais, operacionais, organizacionais, psicossociais e químico-ambientais.
North & Hightower (1957) [40]		Problemas acidentários e organizacionais.

Fonte: Adaptado de Zanatta *et al.*[38].

## 2.2.4 Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho

O controle adequado e a monitorização tanto dos riscos como da saúde dos indivíduos empregados na aviação agrícola são um desafio os profissionais de saúde e segurança do trabalho [51]. As empresas SAE devem atender aos requisitos de segurança estabelecidos pela ANAC, e, no caso de contratação de pilotos para execução do trabalho, deve atender também aos requisitos de SST do MTE.

A maior preocupação na aviação agrícola é, sem dúvida, a segurança da aeronave e do piloto durante o trabalho de aplicação, vista a taxa de acidentes que é em muitos países maior do que outras formas da aviação, sendo ultrapassada somente pelos voos

esportivos/experimentais [25]. A ANAC estabelece através do RBAC 67 [52], entre outros, os requisitos para concessão de Certificado Médico Aeronáutico (CMA), através de exames de saúde periciais. O CMA certifica os profissionais para exercer funções a bordo de aeronaves estando estes com aptidão psicofísica.

Os requisitos de SST do MTE são estabelecidos por normas regulamentadoras, que determinam as ações necessárias para identificação, avaliação e correção de alguns dos problemas relacionados com o trabalho. Considerando as características do trabalho de piloto agrícola (Seções 2.2.2 e 2.2.3), é recomendado às empresas SAE aeroagrícolas responsáveis pela contratação de funcionários, que atendam no mínimo aos requisitos das seguintes Normas Regulamentadoras do MTE: Instrução Normativa SSST/MTB nº 1, de 11 de abril de 1994 [53], que estabelece o Programa de Proteção Respiratória (PPR); e, NR9 [54], que estabelece a obrigatoriedade de elaboração e implementação Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA). Diante da exposição dos trabalhadores aos riscos químicos e ambientais, é necessário o acompanhamento médico, seguindo a NR7 [55], que estabelece o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO). O PCMSO deverá abordar adequadamente queixas ou sintomas musculoesqueléticos e achados sugestivos de sobrecarga física e cognitiva apresentadas pelos trabalhadores, relacionando-as às condições de trabalho previamente identificadas. Caso comprovada a exposição a qualquer agente insalubre a NR15 [56] assegura ao trabalhador, adicional salarial, até que este agente seja eliminado ou neutralizado.

Mais importantes do que a realização de exames complementares são a pesquisa e a valorização de sinais e sintomas dolorosos de sobrecarga de estruturas musculoesqueléticas, neurovegetativas, psíquicas e o exame físico criterioso, visando à detecção precoce de casos associados à exposição aos fatores de risco. O MTE [57], recomenda o monitoramento clínico por meio da aplicação de instrumentos padronizados de pesquisas de sintomas referidos. Com relação aos efeitos da exposição humana às vibrações mecânicas, desde 2013 o MTE estabeleceu os critérios e procedimentos para a avaliação da exposição ocupacional.

### 2.3 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

Nesta seção, são esclarecidos os procedimentos de coleta de dados sobre vibrações ocupacionais e os limites de exposição estabelecidos nas principais normas nacional e internacional. Além disso, são apresentados os fatores que podem contribuir para o aumento

da exposição, bem como outros fatores que podem contribuir em conjunto com a exposição às vibrações para degradar as condições de saúde dos pilotos agrícolas.

### 2.3.1 Normas para avaliação da exposição diária

Como resultado da associação entre a exposição à VCI e problemas de saúde, principalmente lombalgias, foram criadas normas de segurança para sugerir desde os procedimentos de coleta de dados até os níveis limite, acima dos quais a exposição é considerada particularmente prejudicial para os trabalhadores.

A Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization – ISO*) iniciou o desenvolvimento da norma *ISO 2631* que trata da exposição ocupacional à VCI em 1966 e foi publicada pela primeira vez em 1974. Algumas discordâncias técnicas fizeram com que o Instituto Britânico de Padrões [*British Standards Institution (BSI)*] criasse sua própria norma, a *BS 6841:1987—Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock* [58]. Nos Estados Unidos, tanto o Instituto Nacional Americano de Padrões [*American National Standards Institute (ANSI)*] e a Conferência Governamental Americana de Higienistas Industriais [*American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*] adotaram a *ISO 2631* tanto para medição quanto para definir valores limite de exposição.

No Brasil, desde 2013, a exposição humana à VCI deve ser avaliada utilizando o método definido na Norma de Higiene Ocupacional (NHO) nº 09, em atenção às normas internacionais *ISO 2631-1:1997—Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration. Part 1—General Requirements*[3] e *ISO 8041:2005—Human response to vibration—Measuring instrumentation* [59]. A NHO 09, assim como a *ISO 2631-1:1997*, descreve os procedimentos adequados para coleta dos dados, bem como a interpretação da exposição, que é dependente da frequência, da amplitude e do período de tempo de exposição.

### 2.3.2 Metodologia para avaliação dos dados

A exposição humana à VCI deve ser avaliada utilizando os métodos definidos nas normas *ISO 2631-1:1997* ou NHO 09. Este estudo adota a norma *ISO 2631-1:1997* [3], fazendo as devidas correspondências com a norma NHO 09 [60].

A exposição ocupacional à VCI é medida com base nos movimentos provenientes de máquinas e/ou veículos do ambiente de trabalho para o corpo humano, transmitido através do

assento para uma pessoa sentada ou do piso para uma pessoa em pé [3]. Assim, ao avaliar a VCI, a aceleração deve ser medida na interface com o trabalhador, ou seja, na superfície do assento para uma pessoa sentada ou debaixo dos pés de uma pessoa em pé. A vibração é medida com o auxílio de um acelerômetro, que deve ser colocado em uma almofada de assento, que é de preferência fixada ao chão ou assentada com fita adesiva ou uma alça para assegurar que o acelerômetro permaneça na posição desejada e seja capaz de resistir a todas as alterações de posição do trabalhador. No caso de deslocamentos, a almofada contendo o acelerômetro deve ser carregada pelo trabalhador, e posicionada para cada alteração na postura (sentando-se sobre ela quando em postura sentada ou colocando-a debaixo dos pés quando em postura em pé).

A ISO provê três métodos para avaliar a exposição à VCI, descritos nas normas ISO2631-1 e ISO2631-5: 1) A magnitude de vibração em valores quadráticos médios [*Root Mean Square (RMS)*]; 2) A magnitude de vibração em valores de quarta potência de dose de vibração diária [*fourth power Vibration Dose Value (VDV)*]; e, 3) O valor máximo de vibração transitória [*Maximum Transient Vibration Value (MTVV)*]. Esses três valores em frequência ponderada devem ser medidos simultaneamente em todas as três direções (eixos cartesianos “X”, “Y” e “Z”), sendo que a direção “Z” é sempre ao longo do eixo principal do corpo (normal ao plano do chão), a direção “X” está alinhada com a movimento para frente e para trás e a direção “Y” com um movimento de lado-a-lado.

Na avaliação de exposição à VCI, ponderações de frequência são diferentes para as

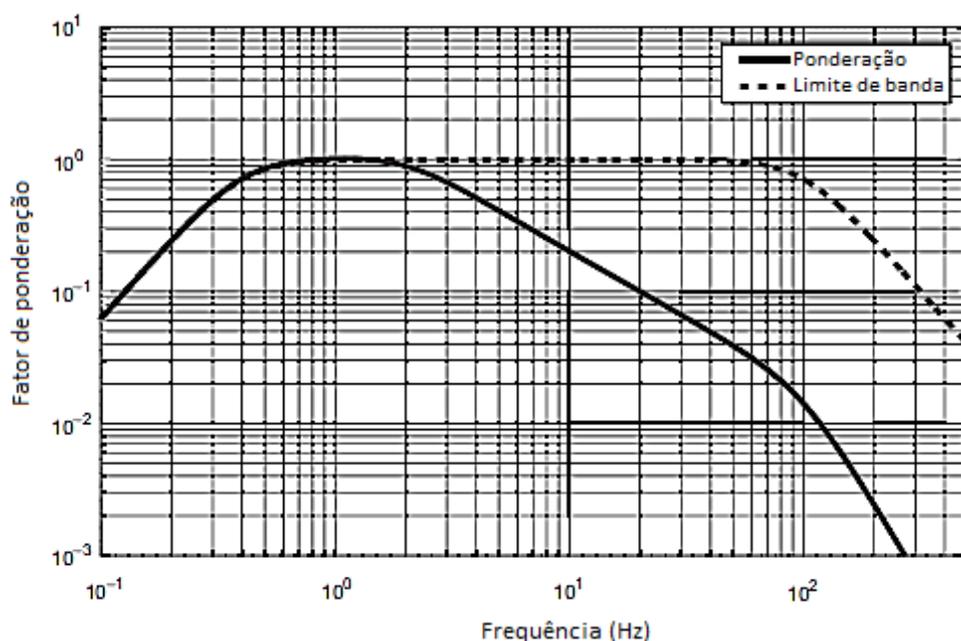


Figura 7 -  $W_d$  para VCI, eixos X e Y, para pessoa sentada, em pé ou deitada.  
Fonte: ISO2631-1 e ISO8041.

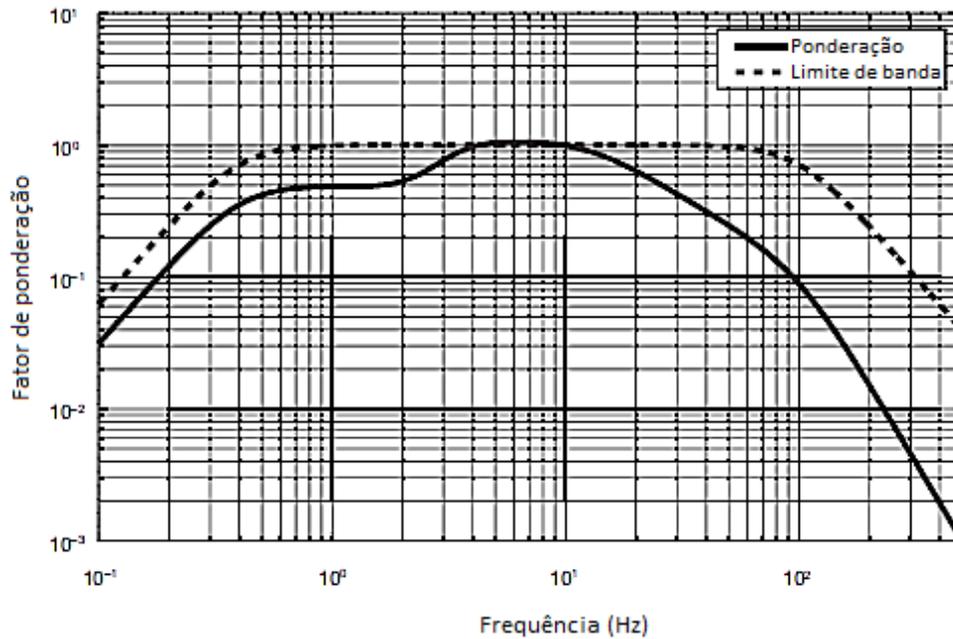


Figura 8 -  $W_d$  para VCI, eixo Z, para pessoa sentada, em pé ou deitada.  
 Fonte: ISO2631-1 e ISO8041.

direções “X”, “Y” e “Z”. No contexto da avaliação de risco para a saúde, quando se mede a VCI em pé ou sentado, requer-se o uso de um fator de ponderação conhecido como  $W_d$  (Figura 7) nas direções “X” e “Y”, e um fator de ponderação conhecido como  $W_k$  (Figura 8) para a aceleração da direção “Z”.

Com base nos sinais de aceleração ponderada em frequência, a exposição de vibração diária é determinada pelo cálculo da exposição para cada um dos três eixos separadamente e, em seguida, seleciona-se o maior dos três valores. Isto necessita de um fator adicional,  $K_i$ , que deve ser aplicado aos valores de vibração medidos. Para as direções “X” e “Y” o fator é de 1,4, enquanto para a direção “Z”, o fator é de 1,0. O máximo desses três valores representa a Exposição Diária às Vibrações {*Daily Vibration Exposure*  $[A(8)]$ }:  

$$A_x(8) = A_{wx} \cdot 1,4 \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_y(8) = A_{wy} \cdot 1,4 \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_z(8) = A_{wz} \cdot 1,0 \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A(8) = \max\{A_x(8), A_y(8), A_z(8)\}$$

Esse valor é adequado para presença de uma direção dominante. Caso contrário, deve ser usado o Vetor Soma –  $a_v$ , também conhecido como Valor Total da Vibração (VTV):

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2}$$

Se o trabalhador está exposto a mais de uma fonte de vibração, a exposição à vibração parcial  $A_{j,i}(8)$ , para cada direção  $j$  e operação  $i$  devem ser calculados antes:

$$A_{x,i}(8) = a_{wx,i} \times 1,4 \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_{y,i}(8) = a_{wy,i} \times 1,4 \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

$$A_{z,i}(8) = a_{wz,i} \times 1,0 \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}}$$

As exposições parciais de vibração são então adicionadas a cada um dos três eixos separadamente, e a  $A(8)$  é encontrada no máximo das três somas:

$$\left. \begin{aligned} A_x(8) &= \sqrt{A_{x,1}^2(8) + A_{x,2}^2(8) + \dots + A_{x,n}^2(8)} \\ A_y(8) &= \sqrt{A_{y,1}^2(8) + A_{y,2}^2(8) + \dots + A_{y,n}^2(8)} \\ A_z(8) &= \sqrt{A_{z,1}^2(8) + A_{z,2}^2(8) + \dots + A_{z,n}^2(8)} \end{aligned} \right\} A(8) = \max\{A_x(8), A_y(8), A_z(8)\}$$

Frequência (Hz)

Valores *RMS* aplicam-se bem para vibrações suaves, livre de choques ou outras alterações súbitas ou picos na aceleração. Caso contrário, como por exemplo, na condução de um veículo sobre superfícies irregulares, como em estradas improvisadas, caso esse das áreas de pouso usadas na aviação agrícola, valores  $A(8)$  podem não ser adequados. Nesse caso, os valores *VDV* foram desenvolvidos para considerar efeitos momentâneos, como as possíveis mudanças bruscas na aceleração, visto que é um valor cumulativo, que aumenta com o tempo de medição. É então importante, para qualquer medição de *VDV*, saber o período de tempo

decorrido durante a medição. Devido à quarta potência, valores transitórios e picos têm um peso maior na integração.

Se o tempo de medição ( $T_{meas}$ ) é mais curto do que o tempo de exposição estimado ( $T_{exp}$ ), o valor  $VDV$  medido deve ser expandido para o tempo de exposição real:

$$VDV_{exp,x} = VDV_x \cdot 1,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{T_{exp}}{T_{meas}}}$$

$$VDV_{exp,y} = VDV_y \cdot 1,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{T_{exp}}{T_{meas}}}$$

$$VDV_{exp,z} = VDV_z \cdot 1,0 \cdot \sqrt[4]{\frac{T_{exp}}{T_{meas}}}$$

Além disso, se uma pessoa está exposta a mais do que uma fonte de vibração, o total  $VDV$  deve ser calculado a partir dos valores de doses parciais de vibração para cada eixo. O maior dos três valores individuais  $VDV$  resulta na exposição  $VDV$  diária {*daily fourth power Vibration Dose Value [VDV(8)]*}:

$$\left. \begin{aligned} VDV_x &= \sqrt[4]{VDV_{x,1}^4 + VDV_{x,2}^4 + \dots + VDV_{x,n}^4} \\ VDV_y &= \sqrt[4]{VDV_{y,1}^4 + VDV_{y,2}^4 + \dots + VDV_{y,n}^4} \\ VDV_z &= \sqrt[4]{VDV_{z,1}^4 + VDV_{z,2}^4 + \dots + VDV_{z,n}^4} \end{aligned} \right\} VDV(8) = \max\{VDV_x, VDV_y, VDV_z\}$$

Outra magnitude útil em investigações de vibração humana com valores transitórios são valores  $RMS$  em execução, ou  $MTVV$ . Esses têm um tempo curto de integração (1s) e, portanto, estão bem adaptados para indicar a magnitude de eventos de curta duração.

A norma ISO 2631-1:1997 fornece algumas orientações sobre o uso dos valores  $RMS$ ,  $VDV$  e  $MTVV$ . Valores  $VDV$  devem ser considerados em adição aos valores  $RMS$  quando:

$$Fator\ de\ Crista\ (FC) = \frac{Peak}{RMS} > 9; \text{ ou,}$$

$$\frac{MTVV}{RMS \times T^{1/4}} > 1,75$$

Valores *MTVV* devem ser considerados em adição aos valores *RMS* quando:

$$\frac{MTVV}{RMS} > 1,5$$

Se uma dessas condições é dada, ela indica que a história de exposição teve picos de vibração significativamente acima do nível de vibração médio geral.

Para NHO 09 os parâmetros básicos para a avaliação da exposição à VCI são a Aceleração Resultante de Exposição Normalizada (AREN) e o Valor da Dose de Vibração Resultante (VDVR). Estes valores correspondem respectivamente aos valores *RMS* VTV e ao *VDV(8)* da ISO 2631-1:1997 e devem ser utilizados em todas as situações, independentemente do valor de FC.

### 2.3.3 Limites de exposição diária

A avaliação do nível de exposição pode ser efetuada através de uma estimativa baseada nas informações relativas ao nível de emissão dos equipamentos de trabalho utilizados fornecidas pelos fabricantes destes materiais e da observação das práticas de trabalho específicas, ou por medição [18].

A avaliação da exposição diária à VCI deve ser baseada em valores de exposição específicos que requerem uma ação por parte do empregador. Os valores iniciais conhecidos como Nível de Ação [*Exposure Action Value (EAV)*] [60] requerem acompanhamento médico, enquanto os valores finais, conhecidos como Limite de Exposição [*Exposure Limit Value (ELV)*] [60] exigem modificação do trabalho. Níveis de ação e Limites de exposição são definidos por diversas normas, como por exemplo, a NHO 09 empregada como referência no Brasil e a Diretiva 2002/44/CE do parlamento europeu e do conselho de 25 de Junho de 2002 (Diretiva 2002/44/CE) [18], esta última utilizada como referência na maioria dos países da Europa.

A Diretiva 2002/44/CE estabelece que os trabalhadores não podem, em caso algum, serem expostos a valores acima do *ELV*. O limite de exposição apontado pela Diretiva 2002/44/CE considera o valor de  $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$  ou  $VDV(8) = 21 \text{ m/s}^{1,75}$ , enquanto o limite de exposição adotado pela NHO 09, mais restritivo, corresponde ao valor  $A(8) = 1,10 \text{ m/s}^2$  ou  $VDV(8) = 21 \text{ m/s}^{1,75}$ . Ambas consideram o valor de ação  $A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$  ou  $VDV(8) = 9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ . Para a NHO 09 os limites devem ser comparados apenas ao vetor soma, considerando

assim a exposição das três direções “X”, “Y” e “Z” ao invés apenas da direção cuja exposição é dominante.

Assim, sempre que sejam excedidos os valores de exposição estabelecidos, a entidade patronal deve estabelecer e implementar um programa de medidas técnicas e/ou organizacionais destinadas a reduzir ao mínimo a exposição a vibrações mecânicas e os riscos que dela resultam, tomando em consideração[18]: 1) Métodos de trabalho alternativos, de modo que permitam reduzir a exposição a vibrações mecânicas; 2) A escolha de equipamento de trabalho adequado, bem concebido do ponto de vista ergonômico e que, tendo em conta o trabalho a efetuar, produza o mínimo de vibrações possível; 3) A instalação de equipamento auxiliar destinado a reduzir o risco de lesões provocadas pelas vibrações, por exemplo assentos que amortecem eficazmente as VCIs; 4) Programas adequados de manutenção do equipamento de trabalho, do local de trabalho e das instalações existentes no local de trabalho; 5) Concepção e disposição dos locais e postos de trabalho; 6) Informação e formação adequadas aos trabalhadores para que utilizem corretamente e de forma segura o equipamento de trabalho, de forma a reduzir ao mínimo a sua exposição a vibrações mecânicas; 7) Limitação da duração e da intensidade da exposição; 8) Horário de trabalho apropriado, com períodos de repouso adequados; 9) Fornecimento aos trabalhadores expostos de vestuário que os proteja do frio e da umidade.

#### 2.3.4 Sistema de avaliação baseado em pontos de exposição

Um método simples para determinar a exposição diária à VCI é a utilização de um sistema baseado em pontos, os quais correspondem aos valores de *EAV* e *ELV* apresentados na Figura 9.

Valores localizados na região cinza escuro estão acima do *ELV*, enquanto os valores localizados na região branca estão abaixo do *EAV*. O restante dos valores, situados na região cinza claro, estão dentro do *EAV*.

O sistema é particularmente útil porque facilita a tomada de decisão por parte de profissionais que não são familiarizados com as unidades de medida e equações mais complexas da VCI. Se o trabalhador está exposto a diversas fontes de vibração, o número total de pontos de exposição é simplesmente a soma dos pontos de exposição para as fontes.

Para vibrações de corpo inteiro, pontos de exposição são calculados para cada um dos três eixos, separadamente, como se segue:

Aceleração * k (m/s <sup>2</sup> )	2,0	50	100	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000	2400
	1,9	45	90	180	360	540	720	905	1100	1450	1800	2150
	1,8	41	81	160	325	485	650	810	970	1300	1600	1950
	1,7	36	72	145	290	435	580	725	865	1150	1450	1750
	1,6	32	64	130	255	385	510	640	770	1000	1300	1550
	1,5	28	56	115	255	340	450	565	675	900	1150	1350
	1,4	25	49	98	195	295	390	490	590	785	980	1200
	1,3	21	42	85	170	255	340	425	505	675	845	1000
	1,2	18	36	72	145	215	290	360	430	575	720	885
	1,1	15	30	61	120	180	240	305	365	485	605	725
	1,0	13	25	50	100	150	200	250	300	400	500	600
	0,9	10	20	41	81	120	160	205	245	325	405	485
	0,8	8	16	32	64	96	130	160	190	255	320	385
	0,7	6	12	25	49	74	98	125	145	195	245	295
	0,6	5	9	18	36	54	72	90	110	145	180	215
	0,5	3	6	13	25	38	50	63	75	100	125	150
0,4	2	4	8	16	24	32	40	48	64	80	96	
0,3	1	2	5	9	14	18	23	27	36	45	54	
0,2	1	1	2	4	6	8	10	12	16	20	24	
		1/4	1/2	1	2	3	4	5	6	8	10	12
		Tempo de exposição diária (horas)										

Figura 9 - Pontos de exposição em função da aceleração e do tempo.

$$P_{E,j} = \left( \frac{k_j a_{wj}}{0,5 \text{ m/s}^2} \right)^2 \frac{T_{exp}}{T_0} 100$$

Onde  $k_j$  é o fator de ponderação para as direções “X”, “Y” ou “Z”;  $a_{wj}$  é a magnitude da vibração em *RMS* para as direções “X”, “Y” ou “Z”;  $T_{exp}$  é o tempo de exposição em horas; e  $T_0$  é o período de referência de 8 horas. A magnitude de vibração 0,5 m/s<sup>2</sup> corresponde ao *EAV* da *VCI*, de tal forma que para a conversão desse valor para *PE* é igual a 100 pontos, enquanto o *ELV* de 1,15 m/s<sup>2</sup> é igual a 529 pontos. A conversão direta de  $A(8)$  para *PE* pode ser feita através da equação:

$$P_E = A(8)^2 \frac{100}{(0,5 \text{ m/s}^2)^2}$$

Os procedimentos de avaliação devem levar em conta a situação específica em que o trabalhador está inserido. O entendimento da situação real de trabalho é o primeiro passo para escolha dos procedimentos adequados, bem como da seleção de valores para comparação com os limites estabelecidos em norma.

### 2.3.5 Fatores relacionados com a magnitude de Vibração de Corpo Inteiro

Os dados aqui apresentados foram coletados de estudos primários sobre a exposição à VCI e publicados nos últimos 10 anos. Foram extraídos dos estudos primários os dados referentes à exposição ocupacional diária, coletados em condições reais de trabalho, de acordo com a metodologia proposta na ISO 2631-1:1997 (Tabela 2). Os principais veículos, os quais foi caracterizada a exposição dos respectivos condutores, incluem caçambas de mineradoras [5], [6], [62], tratores agrícolas [4], [63], [64], empilhadeiras [12], [65], [66], ônibus [67]–[70], trens [71]–[73] e carregadeiras [62], [63], [74], [75], também tendo sido caracterizada em tratores florestais [76], [77], helicópteros [78], veículos de tração 4x4 [4], guindastes [79], pulverizadores [63] e outros equipamentos usados para construção e manutenção de rodovias [8] e ferrovias [7].

Dos veículos utilizados nos estudos primários, caminhão de entregas[80], tratores agrícolas[64] trens[73] e helicópteros[78] apresentaram a vibração no eixo “Z” como

Tabela 2 - Exposição diária à VCI projetada para um período de 8h em diferentes veículos.

<b>Veículo</b>	<b>A(8)</b>	<b>Av</b>	<b>VDV(8)</b>
Caçamba de mineradora[5]		0,27 - <b>0,74</b>	7,90 - <b>15,30</b>
Caçamba de mineradora[83]	<b>0,56 - 0,99</b>	<b>1,12 - 1,61</b>	<b>12,38 - 24,67</b>
Caçamba de mineradora[6]	<b>0,44 - 0,82</b>		8,70 - <b>16,4</b>
Carregadeira[75]	0,31 - <b>0,74</b>	<b>0,70 - 1,27</b>	5,80 - <b>12,70</b>
Carregadeira (Compacta)[63]		<b>1,73</b>	
Carregadeira (Compacta)[8]			<b>9,56 - 47,52</b>
Caminhão (pequeno/entregas)[80]	<b>0,57 - 0,76</b>	<b>0,97* - 1,12*</b>	<b>14,60 - 17,20</b>
Empilhadeira[65]	0,39 - 0,71	<b>1,06* - 1,14*</b>	<b>13,60 - 19,00</b>
Empilhadeira[12]	0,32 - <b>0,73</b>		
Helicóptero[78]	0,32 - <b>0,51</b>	0,40* - <b>0,59*</b>	
Ônibus[67]	0,35 - <b>0,75</b>	<b>0,82* - 1,39*</b>	8,00 - <b>16,90</b>
Ônibus[69]	0,46 - <b>0,51</b>	<b>0,92* - 0,99*</b>	<b>10,80 - 12,70</b>
Ônibus[70]	0,36 - <b>0,51</b>	<b>0,78* - 0,87*</b>	<b>8,90 - 10,30</b>
Ônibus[68]	0,32 - 0,34	0,41 - 0,42	6,6 - 7,5
Pulverizador[63]		<b>0,96</b>	
Trator agrícola de pequeno porte[4]		<b>0,67 - 0,89</b>	
Trator agrícola de grande porte[4]		<b>0,55 - 0,89</b>	
Trator agrícola[63]		<b>0,87 - 3,26</b>	
Trator agrícola[64]	0,04 - <b>1,78</b>		
Trator florestal[76]	<b>0,72 - 1,12</b>	<b>1,23* - 1,80*</b>	
Trator florestal[82]		0,26 - <b>3,08</b>	1,20 - <b>17,8</b>
Trem[71]	0,09 - 0,50	0,13 - <b>1,44</b>	
Trem[72]	0,18 - 0,72	0,23 - <b>1,12</b>	
Veículo 4x4[4]		0,43 - 0,50	
Veículos para neve[128]		<b>0,50 - 3,50</b>	

Estudos recuperados nas plataformas *PUBMED*, *CDC NIOSH* e *SCIENCE DIRECT*, publicados no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2015, contendo o termo Vibração de Corpo Inteiro (*Whole-body Vibration*) no título, resumo e/ou palavras-chave dos registros. Inclusão realizada pelo autor, considerando apenas estudos de campo que compararam o efeito de diferentes fatores na exposição ocupacional diária à VCI. \*Valores obtidos através de cálculo com base nos valores de cada eixo individual fornecido pelo estudo original. Valores apresentados em negrito estão acima do *EAV* (Diretiva 2002/44/EC para valores *A(8)* e *NHO 09* para valores *Av*.

dominante. Por outro lado, trens[71], [72] quadriciclos[81] e carregadeiras[75] não apresentaram eixo dominante, tendo a vibração sido mensurada e comparada através do vetor soma. No estudo de Jonsson *et al.*[68], não foi verificada nenhuma situação em que a exposição ficou acima do *EAV* da Diretiva 2002/44/EC. A recomendação de Jonsson *et al.*[68] é de que os efeitos na saúde sejam avaliados com base em dados de VTV, assim como é definido na brasileira NHO 09.

Johanning *et al.*[71] sugerem que, para exposição de maquinistas, as magnitudes maiores nas direções X e Y pode ser explicada pelas características dos bancos utilizados, que, em sua maior parte, não reduzem, mas sim ampliam a vibração que vem do chão, particularmente nessas direções. Para as carregadeiras, o eixo dominante depende da atividade realizada, sendo que em algumas situações, o banco também aumentou a magnitude de vibração[75]. No estudo de Blood *et al.*[75] as escavadeiras apresentaram maior magnitude de vibração nas etapas de escavação e despejo para os eixos “X” e “Y”, bem como para o vetor soma, enquanto que no deslocamento a magnitude foi maior para o eixo “Z” e quando lavrando a magnitude foi distribuída entre os três eixos. Na Tabela 4, estão sumarizadas as características de cada veículo, o qual foi investigada a exposição ocupacional à VCI, ou seja, os fatores que podem influenciar na magnitude da exposição.

Tratores florestais [82], carregadeiras compactas [8] e caçambas de mineradoras [5], [6], [83] apresentaram o  $FC > 9$ , tendo a exposição diária à VCI sido mensurada e comparada

Tabela 3 - Sumário dos fatores associados à VCI em estudos anteriores.

<b>Veículo/equipamento</b>	<b>Condição de teste</b>
<b>Avião (hélices)</b>	
Caçamba de mineradora	Irregularidade da superfície[5]*; Tamanho/capacidade do veículo[5]*[62]*; Etapa do trabalho[62]; Velocidade de deslocamento[62]; Idade do veículo[62]*.
Caminhão	Irregularidade da superfície[80]*; Configuração do veículo[80].
Carregadeira	Configuração do veículo[75]*; Etapa do trabalho[75]*; Velocidade de deslocamento[8].
Empilhadeira	Irregularidade da superfície[66]*; Configuração do assento[65]*[66]*; Velocidade de deslocamento[66]*.
Helicóptero	Etapa do trabalho/fase do voo[78]*.
Ônibus	Configuração do veículo[67]*[68]; Configuração do assento[70]*[68]; Irregularidade da superfície[67]*[69]*[70]*; Índice de massa corporal[70].
Trator agrícola	Tamanho/capacidade do veículo[4]*; Irregularidade de superfície[4]*; Velocidade de deslocamento[4]*; Etapa do trabalho[63] [64].
Trator florestal	Irregularidade de superfície[82]*; Etapa do trabalho[76]*[82]*[77]; Configuração do veículo[82]*; Atitude do condutor[82]*.
Trem	Configuração do veículo[72]; Velocidade de deslocamento[72] [73].
Veículo 4x4	Irregularidade da superfície[4]*; Velocidade de deslocamento[4]*.

Estudos recuperados nas plataformas *PUBMED*, *CDC NIOSH* e *SCIENCE DIRECT*, publicados no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2015, contendo o termo Vibração de Corpo Inteiro (*Whole-body Vibration*) no título, resumo e/ou palavras-chave dos registros. Inclusão realizada pelo autor, considerando apenas estudos de campo que compararam o efeito de diferentes fatores na exposição ocupacional diária à VCI. (\*) apresentou diferença significativa.

através de valores VDV. Os choques são comuns nesses veículos, dadas as características do terreno, normalmente acidentado, fora de estradas ou sem manutenção frequente. Além disso, Blood *et al.*[75] verificaram que a exposição de carregadeiras é maior quando o pneu é equipado com correntes com formato do tipo escada, quando comparada ao pneu equipado com corrente com formato do tipo cesta ou sem equipamento acoplado. Além desses veículos, caminhões [80], ônibus [67] [69] [70], empilhadeiras [65] e trens [73] também apresentaram  $FC > 9$ , indicando a presença de elevados picos de aceleração mesmo em pavimentos regulares.

O efeito da irregularidade das estradas de rodagem se apresentou significativo para motoristas de caminhões de mineradoras [5], tratoristas [4], motoristas de ônibus [67], [69], [70], motoristas de caminhões de entregas [80], motoristas de veículos 4x4 [4] e condutores de empilhadeiras [66] (Figura 10).

Esse efeito foi testado com diferentes tipos de pavimento, como por exemplo nos estudos de Blood *et al.* [70] e Thamsuwan *et al.* [67], que testaram o efeito da condução de ônibus em ruas da cidade com e sem lombadas redutoras de velocidade, em rodovias novas e deterioradas. Wolfgang & Burgess-Limerick [5] testaram o efeito da irregularidade de superfície em caçambas de mineradora no trajeto em estradas sem manutenção, com manutenção e na combinação entre os dois tipos. Da mesma forma, Motmans [66], testou o efeito da condução de empilhadeiras em trechos com concreto desnivelado e trechos com concreto novo. Park *et al.* [4] testaram esse efeito em tratores agrícolas durante o trabalho em

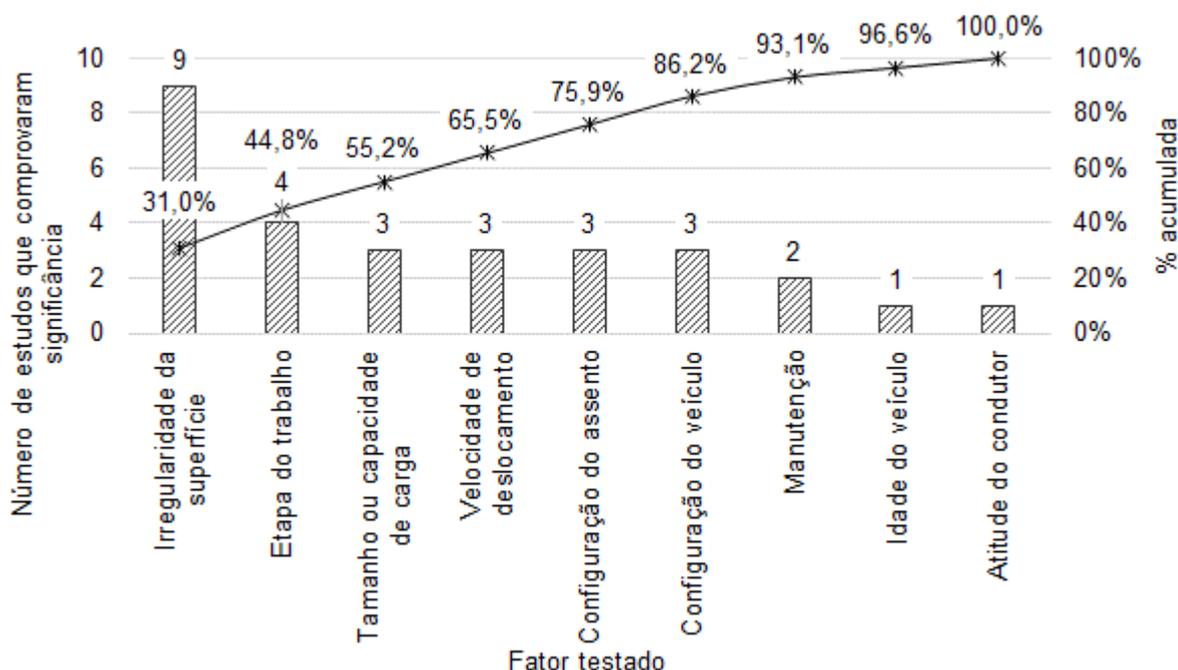


Figura 10 - Fatores significativos na exposição à VCI apresentados em estudos técnicos e científicos.

campo agrícola e no deslocamento em estrada asfaltada. Os autores testaram também as diferenças na condução de veículos 4x4 (quatro por quatro) em estradas e autoestradas. Todos os estudos compararam a exposição com base em informações qualitativas da irregularidade da superfície. Apenas os estudos com ônibus [67] e com caminhões [80] compararam a exposição de diferentes veículos com base no deslocamento em trajetos padronizados com velocidades controladas para cada parte.

No estudo de Lewis & Johnson [69], os motoristas de ônibus tiveram o valor mínimo de exposição diária ( $0,46 \text{ m/s}^2$ ), medido durante o deslocamento em trechos com lombadas reductoras de velocidade, enquanto o máximo ( $0,51 \text{ m/s}^2$ ) foi constatado durante o deslocamento em rodovias. Isso sugere que a velocidade de deslocamento também contribui para o aumento da exposição. Contudo, a velocidade de deslocamento foi significativa apenas para a condução de empilhadeiras [66], veículos 4x4 [4] e tratores agrícolas [4].

A etapa do trabalho foi considerada significativa nos estudos de Blood *et al.* [75], que testou a exposição de condutores de carregadeiras dirigindo, arando, escavando e despejando materiais. As diferentes etapas do trabalho com tratores florestais [76], [82] também apresentaram efeito significativo na exposição. Jack *et al.* [77] também testaram o efeito de diferentes etapas na condução de trator florestal, o que compreendeu a condução com carga, condução sem carga, soltando ou pegando a carga. Contudo, o autor apenas comparou os resultados com os valores-limite definidos por norma, não testando o efeito com modelos estatísticos. Da mesma forma, Kåsin [78] testou esse efeito em pilotos de helicóptero, em situações que compreendem pairar em diferentes alturas, voo de cruzeiro em diferentes alturas e velocidades, subindo e descendo em diferentes razões de subida/descida, realizando manobras em diferentes inclinações laterais e apenas ligado em solo. As principais diferenças nas etapas testadas por Kåsin [78] estão relacionadas com a potência do motor do helicóptero, também considerada no estudo de Gaydos [84]. O principal benefício da separação das fases do voo está na possibilidade de se modelar diferentes perfis de exposição [78].

Tamanho e/ou capacidade de carga do veículo foram significativos nos estudos de Wolfgang & Burgess-Limerick [5] e de Mayton [62] para caçambas utilizadas em mineradoras. Park *et al.* [4] testaram o efeito do tamanho de tratores agrícolas (de pequeno porte e de grande porte) na exposição. No estudo de Park *et al.* [4], os tratores de pequeno porte foram mais facilmente afetados pelo terreno, apresentado maior exposição em ambiente de trabalho, enquanto os tratores maiores foram mais afetados pela variação de velocidade.

Outros estudos compararam a exposição sem testar o efeito, como por exemplo para tratores florestais, que apresentaram maior exposição quando descarregados [76].

A configuração do veículo e do assento também apresentaram efeitos significativos. No estudo de Thamsuwan *et al.* [67] a altura do piso do ônibus apresentou diferença significativa na exposição, enquanto o mesmo fator não apresentou diferença significativa no estudo de Jonsson *et al.* [68]. Efeito na configuração do veículo também foi apresentada por Rehn *et al.* [82], para diferentes tipos de tratores florestais. No estudo de Blood *et al.* [75], os dois tipos de configuração de correntes de tração utilizados nos pneus de carregadeiras aumentaram as exposições em relação ao pneu sem correntes, tendo exposição substancialmente maior na configuração de corrente do tipo ‘escada’ em relação à corrente do tipo ‘cesta’.

O tipo e/ou ajuste de assento, interface principal por onde o trabalhador recebe a vibração transmitida pelo veículo, foi investigado como fator capaz de influenciar na magnitude de vibração em condutores de empilhadeira [65], ônibus [68] e equipamentos agrícolas [85]. As condições normalizadas do estudo Blood *et al.* [65] indicaram que assentos atenuam substancialmente a exposição ocupacional à VCI em empilhadeiras, mas que os bancos com suspensão a ar atenuaram mais a exposição de baixa frequência em relação a suspensão mecânica que é mais barata. Por outro lado, Jonsson *et al.* [68], não encontraram diferenças na exposição ocupacional à VCI para condutores de ônibus com diferentes sistemas de suspensão.

A manutenção da aeronave (balanceamento do sistema de propulsão) aparece como fator relacionado à exposição apenas nos estudos de Smith [86], [87], que sugere que o balanceamento das hélices é capaz de reduzir a exposição à VCI na interface com o piloto. A idade do veículo foi considerada apenas no estudo de Mayton *et al.* [62] e a atitude do condutor apenas em Rehn *et al.* [82].

Embora cada fator possa ser importante na redução da exposição, Motmans [66] argumenta que a melhor estratégia de prevenção da exposição à VCI é a melhoria de todos os fatores capazes de influenciar na magnitude da vibração. Assim, a investigação das características do ambiente de trabalho deve ser considerada como primeiro passo para investigação da exposição à VCI.

Dados os problemas relacionados com o trabalho dos pilotos agrícolas (seção 2.2.3), comparados aos fatores significativos apontados nos estudos anteriores (Figura 10), percebe-se semelhanças que devem ser exploradas. A sazonalidade das operações aeroagrícolas cria

condições de pressão pelo cumprimento de prazos, o que pode levar os profissionais a atuarem acima de 12 horas por dia em alguns períodos da safra (efeito do tempo de exposição diário), bem como interferir na realização de manutenções de forma regular (efeito de manutenções irregulares). Outra característica de certos cultivos é a utilização de produtos a granel (como exemplo a aplicação de ureia, comum no cultivo de arroz que tem rendimento menor), o que ocasiona um elevado número de decolagens e pousos podendo ultrapassar 80 ações por dia. Nesta situação peculiar, a exposição pode ser aumentada devido ao importante contato da aeronave com o solo (efeito da irregularidade da superfície). Pilotos agrícolas são expostos à VCI durante praticamente toda a jornada de trabalho, salvo as etapas de inspeção dos sistemas da aeronave no início e final do dia e horário de repouso e almoço (efeito da etapa do trabalho/fase do voo). Durante o restante do dia o piloto permanece no interior da aeronave sentado e com motor em funcionamento.

Nem todos os efeitos testados em estudos primários podem ser testados na aviação agrícola. Como por exemplo, a velocidade de deslocamento, que é um procedimento de operação padrão [*Standard Operation Procedures (SOP)*] e depende da etapa do voo. Considerando que os pilotos devem seguir os *SOP*, de acordo com as especificações descritas no manual de cada aeronave, dificilmente a atitude do piloto pode ser vista como fator de controle para exposição às vibrações. Outra situação semelhante é a configuração de veículos e assentos que, no caso de aeronaves, depende de homologação, sendo normalmente padronizada sem possibilidade de customização.

### 2.3.6 Efeitos da exposição

Efeitos negativos da exposição ocupacional à VCI na saúde são estudados desde a metade do último século, tendo os primeiros sido reunidos por Griffin [17], e apresentados em sua notável obra sobre vibração humana em 1990. Ao total foram reunidos 135 estudos, dedicados principalmente a avaliar a saúde dos profissionais expostos, em sua maioria motoristas de veículos diversos. São citadas principalmente raquialgias, contudo, lesões significativas também são encontradas, como por exemplo, hérnias, rupturas e degeneração de discos intervertebrais entre outras lesões da coluna. Além desses, são citados distúrbios gastrointestinais, ginecológicos, auditivo-vestibulares, cardiovasculares, locomotores, do metabolismo e do sistema nervoso central entre outros menos prováveis.

Em meados da década de 90, Wikström *et al.* [88] realizaram uma revisão de literatura com o objetivo de proporcionar uma base para as regras e diretrizes sobre a

exposição à VCI, especialmente para motoristas profissionais. Em seu estudo, Wikström *et al.* apresentaram 45 estudos epidemiológicos de caso-controle com profissionais expostos à VCI até 1992. Com base nos estudos relatados, Wikström *et al.* [88] afirmam que muitos anos de exposição à VCI pode contribuir para distúrbios e/ou lesões da coluna lombar. Além disso, menciona o efeito combinado da exposição à VCI com posturas inadequadas e tempo prolongado em postura sentada e sem pausas. Outros problemas apresentados incluem sintomas do sistema gastrointestinal e, especialmente entre as mulheres, distúrbios urogenitais.

Bovenzi & Hulshof [89] também realizaram uma revisão, mas com o objetivo mais específico, resultando em uma meta-análise. Foram reunidos os estudos epidemiológicos publicados entre 1986 e 1996, que abordaram os efeitos adversos da VCI no sistema espinhal, utilizado um protocolo para classificação dos estudos. Bovenzi & Hulshof [89] verificaram uma melhoria nos projetos de pesquisa dos estudos em relação com os anteriores à revisão, o que teve reflexo inclusive na qualidade dos dados resultantes. Os resultados da meta-análise estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da meta-análise de estudos epidemiológicos de caso-controle que relacionaram sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral com a exposição à VCI de 1986 a 1996.

<b>Grupo ocupacional</b>	<b>Ref.</b>	<b>Prevalência de lombalgia</b>		<b>RPP</b>
Motorista de empilhadeira	Brendstrup & Biering-Sorensen (1987)	65% casos	52% controles	1,7(0,9-3,1)
	Boshuizen <i>et al.</i> (1992)	57% casos	16% controles	7,3(2,5-22)
	Boshuizen <i>et al.</i> (1992)	41% casos	29% controles	1,6(1,0-2,6)
Tratorista	Boshuizen <i>et al.</i> (1990)	31% casos	19% controles	2,0(1,2-3,4)
	Bovenzi & Betta (1994)	72% casos	37% controles	2,4(1,6-3,7)
Operador de carregadeira	Bongers <i>et al.</i> (1990)	47% casos	39% controles	1,3(0,5-3,2)
Condutor de ônibus	Bovenzi & Zadini (1992)	83% casos	66% controles	3,0(1,8-5,1)
Operador de guindaste	Burdorf <i>et al.</i> (1993)	40% casos	20% controles	3,3(1,5-7,1)
Transportador de containers	Burdorf <i>et al.</i> (1993)	31% casos	20% controles	2,5(1,2-5,4)
Resumo RPP (95% IC)				2,3(1,8-2,9)
Homogeneidade X <sup>2</sup>	11,2			
Homogeneidade GD	8			
Homogeneidade valor <i>p</i>	0,19			
<b>Grupo ocupacional</b>	<b>Ref.</b>	<b>Prevalência de dor ciática</b>		<b>RPP</b>
Motorista empilhadeira	de Boshuizen <i>et al.</i> (1992)	22% casos	10% controles	2,7(0,6-12)
Motorista empilhadeira	de Boshuizen <i>et al.</i> (1992)	12% casos	12% controles	1,0(0,5-2,2)
Condutor de trator	Boshuizen <i>et al.</i> (1990)	19% casos	13% controles	1,6(0,9-3,0)
Condutor de trator	Bovenzi & Betta (1994)	16% casos	4% controles	3,9(1,8-8,7)
Operador de carregadeira	Bongers <i>et al.</i> (1990)	15% casos	17% controles	1,0(0,3-3,1)
Condutor de ônibus	Bovenzi & Zadini (1992)	33% casos	22% controles	1,9(1,2-3,3)
Condutor de metrô	Johanning (1991)	23% casos	7% controles	3,9(1,7-8,6)
Resumo RPP (95% IC)				2,0(1,3-2,9)
Homogeneidade X <sup>2</sup>	10,4			
Homogeneidade GD	6			
Homogeneidade valor <i>p</i>	0,11			
<b>Grupo ocupacional</b>	<b>Ref.</b>	<b>Prevalência hérnia de disco</b>		<b>RPP</b>

Motorista empilhadeira	de Boshuizen <i>et al.</i> (1992)	4% casos	5% controles	0,8(0,2-2,6)
Condutor de trator	Boshuizen <i>et al.</i> (1990)	8% casos	5% controles	2,1(0,8-5,6)
Condutor de trator	Bovenzi & Betta (1994)	7% casos	2% controles	1,8(0,7-4,7)
Condutor de ônibus	Bovenzi & Zadini (1992)	8% casos	7% controles	1,3(0,6-3,0)
Resumo RPP (95% IC)				1,5(0,9-2,4)
Homogeneidade X <sup>2</sup>	1,8			
Homogeneidade GD	3			
Homogeneidade valor <i>p</i>	0,62			

Legenda: RPP=Razão de Probabilidade de Prevalência.

Em seu estudo, Bovenzi & Hulshof [89] observaram que operadores de guindaste, motoristas de ônibus, tratoristas e motoristas da empilhadeira foram os grupos ocupacionais mais frequentemente investigados nos estudos transversais ou de coorte de 1986 a 1996. Os grupos de controle incluídos nesses estudos epidemiológicos consistiram de trabalhadores sedentários como oficiais administrativos ou trabalhadores manuais, tais como pessoal de manutenção. Para a avaliação dos efeitos para a saúde em estudos transversais, os pesquisadores utilizaram predominantemente entrevista médica ou questionários validados, normalmente idênticos ou semelhantes ao Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos (QNSM).

Estudos recentes publicados a partir de 2005 (Tabela 5), apresentaram em sua maioria resultados da prevalência de lombalgia nos últimos 12 meses em diversos grupos ocupacionais, que incluem motoristas profissionais de caminhões de entregas [90], ônibus [91], veículos blindados [13], taxistas [92], motoristas industriais [92], tratoristas [92] e pilotos de helicóptero [92]. A prevalência de lombalgia nos últimos 12 meses para os condutores de veículos automotores varia de 43,3% para tratoristas [92] até mais de 80% para pilotos de helicóptero [92] e condutores de veículos blindados [13]. Além da lombalgia, são investigadas a prevalência de incapacidade para o trabalho nos últimos 12 meses [14], dores no pescoço [93] e nos membros superiores [93].

Muito embora as altas prevalências de sintomas relacionados ao trabalho, não foram encontradas diferenças significativas nas alterações nas vértebras, diagnosticadas por imagem, entre pessoas expostas e não expostas à VCI [94]. O autor justifica que a diferença de exposição testada é pequena em relação aos estudos anteriores, e assim, pode ser que intensidades maiores de VCI possam ter efeito sobre alterações nas vértebras [94].

Em algumas das situações apresentadas nos estudos primários, não foi possível comprovar que somente a exposição à VCI é capaz de influenciar na prevalência de sintomas musculoesqueléticos. Assim, alguns autores apontam para o estudo sobre o efeito conjunto de diversos problemas relacionados com o trabalho e a prevalência de sintomas musculoesqueléticos. Como exemplo, pilotos de helicóptero que, embora os níveis de vibração sejam relativamente baixos [78], relatam uma alta incidência de dor lombar[92]. É possível que as posturas adotadas pelos pilotos de helicóptero aumentem o risco de dor lombar, quando combinadas com a exposição à VCI [78]. Outro exemplo inclui motoristas de entregas (*delivery*) que, além da exposição à VCI, adotam posturas de torção de tronco e pescoço e executam levantamento e transporte de cargas com frequência [80], [90]. Milosavljevic *et al.* [81] argumentam que, além da exposição a níveis muito elevados de VCI durante o uso diário de quadriciclos, a combinação com uma postura desfavorável e tarefas de trabalho fisicamente exigentes é provavelmente um fator de risco significativo para o desenvolvimento da lombalgia ocupacional.

Tabela 5 - Estudos epidemiológicos que relacionaram sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral com a exposição a VCI de 2005 a 2015.

<b>Grupo ocupacional</b>	<b>Sintoma/dor</b>	<b>Prevalência</b>
Engenheiros de ferrovia	Lombalgia	75,0% casos; 41,0% controles[71]
Fazendeiros (condução de quadriciclos)	Lombalgia	67,0% casos[81]
	Cervicalgia	42,0% casos[81]
	Dorsalgia	25,0% casos[81]
Motoristas de caminhão (entregas)	Lombalgia	50,0% casos[90]
Mototistas de empilhadeiras	Lombalgia	65,2% casos; 34,8% controles[12]
Motoristas de ônibus	Lombalgia	59,0% casos[91]
Motoristas de veículos blindados com esteiras	Lombalgia	81,7% casos[13]
Motoristas de veículos blindados com pneus	Lombalgia	67,0% casos[13]
Motoristas em geral	Lombalgia	60,9% casos[14]
Motoristas industriais	Lombalgia	44,1% casos[92]
Pilotos de helicóptero	Lombalgia	80,6% casos[92]
Taxistas	Lombalgia	63,3% casos[92]
		51,0% casos; 33,0% controles[107]
Tratoristas		43,3% casos[92]

Estudos recuperados nas plataformas *PUBMED*, *CDC NIOSH* e *SCIENCE DIRECT*, publicados no período de janeiro de 2005 a dezembro de 2015, contendo o termo *Whole-body Vibration* no título, resumo e/ou palavras-chave dos registros. Inclusão realizada pelo autor, considerando apenas estudos epidemiológicos que testaram a VCI como uma das possíveis causas da doença investigada.

## 2.4 A COLUNA VERTEBRAL

Nessa seção a cinesiologia e biomecânica da coluna vertebral humana são apresentadas para melhor compreensão dos elementos do sistema musculoesquelético, cujos sintomas são normalmente relacionados à exposição à VCI, bem como a importância da saúde e integridade desse sistema para o bem-estar humano.

### 2.4.1 Biomecânica e cinesiologia relacionadas com a coluna vertebral

A cinesiologia é o estudo da estrutura e função do sistema esquelético e humano, enquanto a biomecânica é definida como ciência que investiga o movimento sob aspectos mecânicos, suas causas e efeitos nos organismos vivos.

A coluna vertebral é a parte mais complexa do sistema locomotor humano [95], e mais do que uma entidade puramente esquelética do ponto de vista prático, seu funcionamento depende de músculos, nervos e vasos anexos [96]. As funções principais da coluna vertebral são: proteger a medula espinal; apoiar a cabeça, pescoço e membros superiores; transferir cargas de cabeça e tronco até a pélvis; e, permitir uma variedade de movimentos [95]. A coluna vertebral é composta de 24 vértebras, distribuídas em quatro regiões: 1) cervical; 2) torácica; 3) lombar; e 4) sacral (Figura 11).

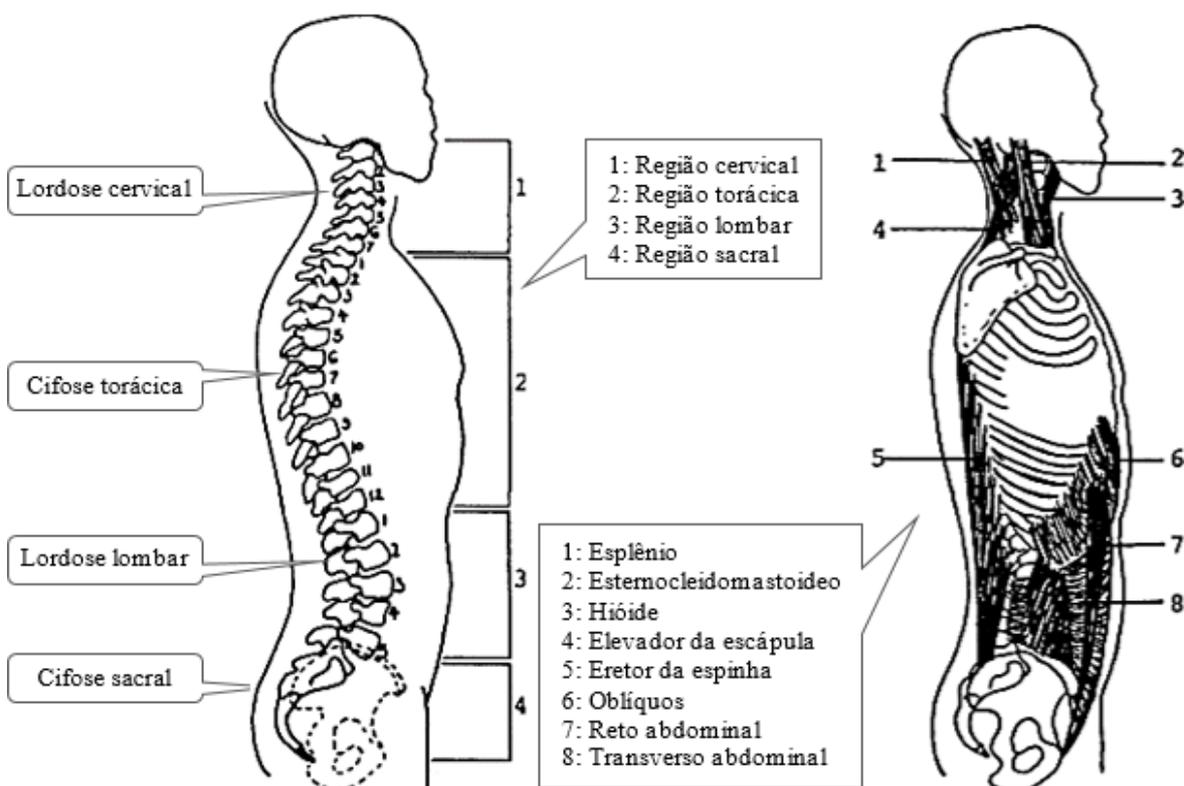


Figura 11 - Sistema musculoesquelético da coluna vertebral.  
Fonte: Adaptado de Özkaya *et al.* [95].

A coluna apresenta quatro curvaturas fisiológicas: 1) Lordose cervical (convexidade voltada anteriormente); 2) Cifose torácica (convexidade voltada posteriormente); 3) Lordose lombar (convexidade voltada anteriormente); e, 4) Cifose sacral (convexidade voltada posteriormente).

As articulações da coluna vertebral consistem em uma série de anfiartroses (cartilaginosas, de movimento limitado) entre os corpos vertebrais e outra série de diartroses (sinoviais, de movimento amplo) entre os arcos vertebrais. Um disco fibrocartilaginoso é interposto entre cada par de vértebras, tendo como função sustentar cargas transmitidas a partir de segmentos acima, eliminar contato osso-osso e reduzir os efeitos das forças de impacto evitando o contato direto entre as estruturas ósseas. As articulações de cada vértebra com a adjacente permitem o movimento em três planos.

Os grupos musculares oferecem o movimento controlado. Os músculos situados anteriormente com relação ao processo transversal compõem a musculatura anterior da coluna vertebral, e, aqueles situados posteriormente, compõem a musculatura posterior. A coluna vertebral é dotada de músculos posteriores em toda a sua extensão, mas só existem músculos anteriores nas regiões cervical e lombar [96].

As funções de cada grupo muscular são descritas por Özkaya *et al.* [95]: A porção anterior da coluna contém os músculos abdominais (reto abdominal, transversal abdominal, oblíquos externos e internos), responsáveis pela força necessária para manter a flexão do tronco e a posição adequada dos órgãos internos; As três camadas de músculos posteriores do tronco têm a função de proporcionar o movimento extensão do tronco e suportar a coluna vertebral contra os efeitos da gravidade; O músculo quadrado lombar é importante na flexão do tronco lateral, e na estabilização da pelve e da coluna lombar; A flexão lateral do tronco é resultado da ação dos músculos abdominais e posterior; e, o movimento de rotação do tronco é controlado pela ação simultânea dos músculos anteriores e posteriores.

#### 2.4.2 Disfunções associadas ao trabalho

De acordo com o Centro de controle e Prevenção de Doenças [*Centers of Disease Control and Prevention (CDC)*] os Distúrbios Osteomusculares Relacionados com o Trabalho (DORT) são lesões ou distúrbios dos músculos, nervos, tendões, cartilagens, articulações e discos da coluna vertebral em que o trabalho contribui significativamente para a condição e/ou a condição é agravada devido às condições de trabalho.

Os DORT incluem principalmente manifestações dolorosas localizadas na região da coluna vertebral, genericamente denominadas como raquialgias ou radiculalgias [57]. Esses distúrbios são normalmente relatados por dor e/ou desconforto por parte dos trabalhadores acometidos [97]. Na prática, há três regiões afetadas [57]: 1) a cervical (de C1 a C7/T1), a dorsal (de C7/T1 a T12/L1) e lombar (de T12/L1 a L5/S1). Contudo, a maioria dos distúrbios são relacionados à região lombar da coluna (lombalgias), seguida da região cervical (cervicalgias, ciática e lumbago com ciática).

As cervicalgias caracterizam-se pela presença de dor espontânea ou à palpação e/ou edema em região cervical, sem história de comprometimento de discos cervicais. Ciática e lumbago com ciática caracterizam-se por dor na região lombar, que pode se irradiar para os membros inferiores e evoluir para um quadro persistente de dor isolada em membros inferiores [57]. As cervicalgias são comuns em diversas faixas etárias de ambos os sexos, sendo a segunda maior causa de dor na coluna vertebral, perdendo apenas para a dor lombar [98]. Acomete uma média de 12% a 34% da população adulta por alguma fase da vida, tendo maior incidência no sexo feminino, e, trazendo prejuízos nas suas atividades de vida diária [99]. Os casos descritos como ocupacionais são associados a atividades que envolvem contração estática ou imobilização por tempo prolongado de segmentos corporais como cabeça, pescoço ou ombros, tensão crônica, esforços excessivos, elevação e abdução de braços acima da altura dos ombros, empregando força, e exposição à VCI [57].

Lombalgias podem ser definidas como qualquer distúrbio osteomuscular não traumático que afeta a região inferior das costas, incluindo toda a dor de costas, independentemente do diagnóstico, e que não é secundária a outra doença como por exemplo o câncer, ou a outros tipos de lesão como por exemplo acidentes com veículos [100]. Inclui ainda problemas de discos lombares (deslocamento e ruptura), bem como dor ciática; mas exclui problemas de coluna cervical, como dores ou torção do pescoço [100]. Além disso, a lombalgia é uma das principais causas de incapacidade para o trabalho, interferindo também na qualidade de vida dos trabalhadores afetados [101]–[103]. Segundo o Ministério da Saúde do Brasil [57], a lombalgia ocupa lugar de destaque entre as causas de concessão de auxílio-doença previdenciário e de aposentadoria por invalidez. A prevalência pontual de lombalgias entre os trabalhadores de forma geral varia de 12% a 33%, a prevalência anual de 22% a 65% e a prevalência acumulada de 11% a 84% [104]. No ambiente de trabalho, distúrbios musculoesqueléticos podem estar associados à fatores de risco, que incluem os movimentos compensatórios excessivos e/ou prolongados, contínuos ou repetitivos [97]. Como exemplos

de fatores de risco, têm-se o manuseio incorreto de cargas com excesso de peso e/ou assimétricas e má postura causada pelos equipamentos utilizados e/ou pela tarefa [105].

Ambas, lombalgia e cervicalgia são reconhecidas e listadas como DORT pela Portaria nº 1339, de 18 de Novembro de 1999 e pela Classificação Internacional de Doenças. Deve-se considerar que o efeito combinado de vários fatores de risco eleva as chances de adquirir uma raquialgia, seguindo o conceito de causalidade múltipla [105].

### 2.4.3 Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos

O QNSM é uma ferramenta de coleta de dados epidemiológicos mais utilizada nos estudos primários na área ocupacional, como exemplos, os artigos de Rozali *et al.* [13] e Chen *et al.* [107]. A ferramenta original proposta por Kuorinka *et al.* [108] consiste de um questionário padronizado para a análise de sintomas musculoesqueléticos em um contexto ergonômico ou de saúde ocupacional. As perguntas forçam a escolha de variantes e podem ser auto administradas ou utilizadas em entrevistas, concentrando-se em sintomas mais frequentemente encontrados no ambiente profissional. A justificativa de Kuorinka *et al.* [108] para o uso do questionário está na necessidade da análise e registro dos sintomas musculoesqueléticos, de forma que permita comparar os resultados de diferentes estudos.

O questionário (Figura 12) foi concebido para responder: ‘Ocorrem problemas musculoesqueléticos em uma determinada população?’ E, em caso afirmativo, ‘em que partes do corpo eles são localizados?’. Na referida figura há um desenho dividindo o corpo humano em 9 partes, em que os trabalhadores devem marcar ‘sim ou ‘não’ para três situações envolvendo essas 9 partes: 1) você teve algum problema nos últimos 7 dias? 2) você teve algum problema nos últimos 12 meses? E, 3) você teve que deixar de trabalhar algum dia nos últimos 12 meses devido ao problema? O questionário é aplicado após a explicação dos objetivos da pesquisa, juntamente com questões adicionais para caracterização do sujeito, que incluem questões sobre: o sexo, a idade, a lateralidade (destro, sinistro ou ambidestro) [109].

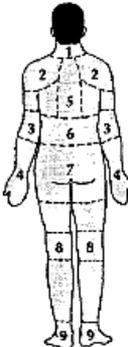
		<b>Questionário Nórdico dos sintomas músculo-esquelético</b>		
		Marque um (x) na resposta apropriada. Marque apenas um (x) para cada questão. <b>Não</b> , indica conforto, saúde — <b>Sim</b> , indica incômodos, desconfortos, dores nessa parte do corpo.		
		<b>ATENÇÃO:</b> O desenho ao lado representa apenas uma posição aproximada das partes do corpo. Assinale a parte que mais se aproxima do seu problema		
Partes do corpo com problemas	Você teve algum problema nos últimos 7 dias?	Você teve algum problema nos últimos 12 meses?	Você teve que deixar de trabalhar algum dia nos últimos 12 meses devido ao problema?	
1 - Pescoço	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
2 - Ombros	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - ombro direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - ombro esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois ombros	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - ombro direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - ombro esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois ombros	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
3 - Cotovelos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois cotovelos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois cotovelos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
4 - Punhos e mãos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão direita 3 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão esquerda 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois punho/mão	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão direita 3 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão esquerda 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois punho/mão		
5 - Coluna dorsal	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
6 - Coluna lombar	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
7 - Quadril ou coxas	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
8 - Joelhos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
9 - Tornozelo ou pés	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	

Figura 12 - Questionário Nórdico dos Sintomas Musculoesqueléticos.  
 Fonte: Kuorinka *et al.* [108] *apud* Iida [109].

## 2.5 ÁREAS DE POUSO PARA USO AEROAGRÍCOLA

A magnitude da vibração pode ser aumentada e função de diversas condições do ambiente de trabalho, conforme apresentado na seção 0. Fatores como o tipo de aeronave podem ser testados apenas com a medição da VCI nos diferentes modelos. Diferentes etapas do trabalho podem ser testadas apenas com a segmentação de medições de ciclo completo com auxílio de *software*. Por outro lado, a irregularidade da superfície, que é o principal fator relacionado ao aumento da magnitude de vibração necessita de equipamentos adicionais e métodos específicos para sua mensuração. Nessa seção, são apresentados os equipamentos e procedimentos de medição de irregularidade de superfície. Além disso, são apresentadas outras características das áreas de pouso para uso aeroagrícola que podem limitar as ações de melhoria.

### 2.5.1 Problemas relacionados com as áreas de pouso

Diante de diversos estudos que testaram o efeito da irregularidade de superfície na magnitude das vibrações, é importante a caracterização das áreas utilizadas para pousos e decolagens na aviação agrícola. Essas áreas são caracterizadas pelo RBAC 137 como ‘área de pouso para uso aeroagrícola’, devendo ser de uso temporário e restrito à atividade aeroagrícola.

As áreas de pouso, são normalmente inseridas em áreas de sobra localizadas no interior das propriedades rurais, normalmente delimitadas pela posição de canais, rodovias ou redes de transmissão de energia. São construídas em locais estratégicos para redução dos deslocamentos da aeronave para abastecimento e carregamento.

Por vezes, as áreas de pouso são construídas pelos proprietários rurais, considerando apenas seus próprios critérios e interesses, desconsiderando assim outros aspectos importantes para as operações. Muitas vezes, as áreas de pouso são cercadas de obstáculos. Na Figura 13 são apresentadas duas situações comuns: a presença de desníveis na cabeceira (Esq.) e o cruzamento de linhas de transmissão de energia (Dir.).



Figura 13 - Obstáculos localizados nas áreas de pouso.  
Fotos: Mateus Zanatta (2014).

Outras condições incluem o posicionamento e direcionamento das áreas de pouso ocasional. A Figura 14 apresenta duas situações comuns, a presença de vegetação alta às margens da área de pouso (Esq.) e o sol de cabeceira (Dir.).

Em condições de vento forte, estando a pista direcionada perpendicular ao vento, este dificulta as operações de pouso e decolagem. Com a presença de vegetação alta nas laterais da pista, o vento tende a realizar uma curva, subindo para passar por cima da vegetação e descendo em seguida. Em determinadas circunstâncias o vento pode empurrar o avião para



Figura 14 - Vegetação nas margens da áreas de pouso e sol nascente de cabeceira.  
Fotos: Mateus Zanatta (2014).

baixo, e, estando em procedimento de pouso ou de decolagem, com a aeronave próxima do solo, pode não haver tempo e espaço para corrigir a trajetória antes que a aeronave se choque com a pista. O sol de cabeceira por sua vez, dificulta as operações de pouso decolagem quando a operação é voltada contra o sol. Essa situação impede que o piloto tenha uma boa visualização da pista em função do ofuscamento direto criado quando o sol incide diretamente nos olhos do piloto, ou pelo ofuscamento indireto criado quando o sol incide na carenagem dianteira da aeronave e reflete nos olhos do piloto.

O que seja talvez o problema mais comum, a irregularidade da superfície das pistas de pouso ocasional, que pode potencializar a exposição do piloto às VCI. Esta é ocasionada por falta de manutenção, pela utilização das pistas de pouso ocasional como passagem de máquinas agrícolas e como pastagem para animais. Das situações comuns quanto à irregularidade da superfície das pistas de pouso ocasional são os buracos criados a partir da erosão do solo e a presença de vegetação rasteira que gera desníveis severos (Figura 15).

### 2.5.2 Irregularidade da superfície de áreas de pouso

A avaliação da irregularidade da superfície de áreas de pouso para uso aeroagrícola são avaliadas de acordo com a metodologia de avaliação de pavimentos e faixas de rolagem. Nesse contexto, a rugosidade superficial, é definida pela norma da Sociedade Americana para Testes e Materiais (*American Society of Testing and Materials – ASTM E 867-82*) como desvios de uma superfície de pavimento a partir de uma superfície plana verdadeira com



Figura 15 - Irregularidade de superfície das áreas de pouso.  
Fotos: Mateus Zanatta (2014).

dimensões características que afetam a dinâmica do veículo, qualidade de passeio, cargas dinâmicas e drenagem. O estado da superfície do pavimento é o mais percebido pelo usuário, pois as irregularidades afetam seu conforto. Quando o conforto é prejudicado, significa que o veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos [110]. No contexto desse estudo, é provável que, em certas situações, a saúde dos pilotos também seja afetada se a intensidade da VCI for aumentada, acima dos limites recomendados.

A irregularidade de pavimentos e vias é normalmente quantificada de acordo com o Índice de Rugosidade Internacional (IRI), comumente obtido a partir de perfis longitudinais [110] (Figura 16).

O IRI é uma escala para a rugosidade de um pavimento, que é experimentada por veículos. É uma medida simples de saúde de uma estrada, estando relacionada com a resistência à rolagem (o que influencia na economia de combustível), bem como na redução da manutenção das rodovias. Ele é calculado utilizando um modelo matemático, cuja resposta é acumulada para produzir um índice de rugosidade como unidade de inclinação (m/km). A Figura 17 apresenta as faixas de variação normais para diversos tipos de pavimentos.

### 2.5.3 Equipamentos e métodos para avaliação da irregularidade superficial

Equipamentos e métodos são utilizados para produzir uma sequência de números relacionados com o “perfil verdadeiro” de uma linha imaginária na estrada. É preferível que a medição do perfil seja realizada no sentido longitudinal, que é normalmente o sentido de rodagem. Sayers *et al.* [111] apresentam quatro níveis de classificação para os procedimentos

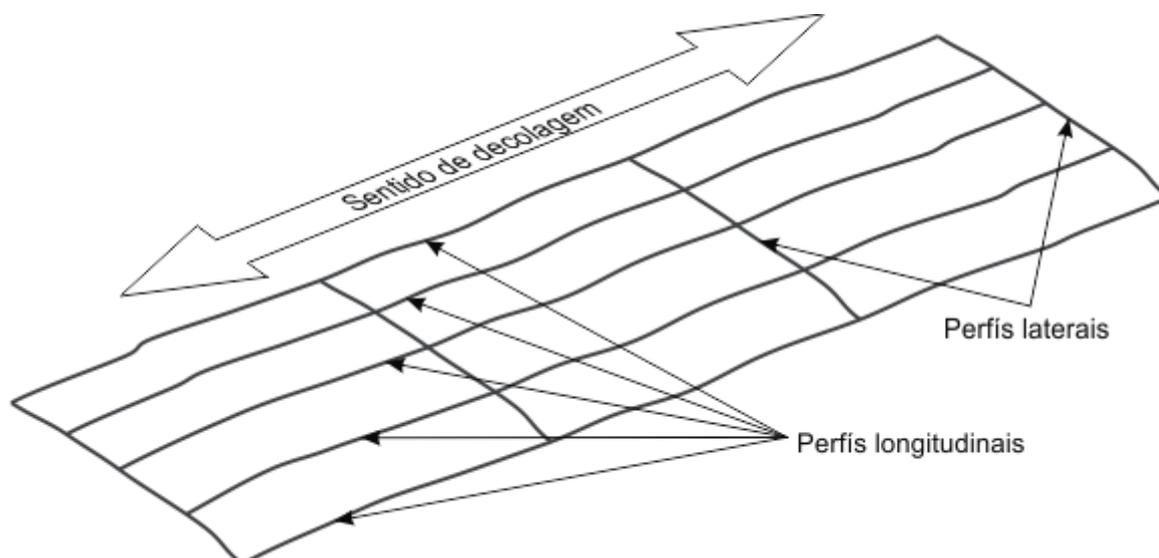


Figura 16 - Representação dos perfis longitudinais de uma área de pouso.

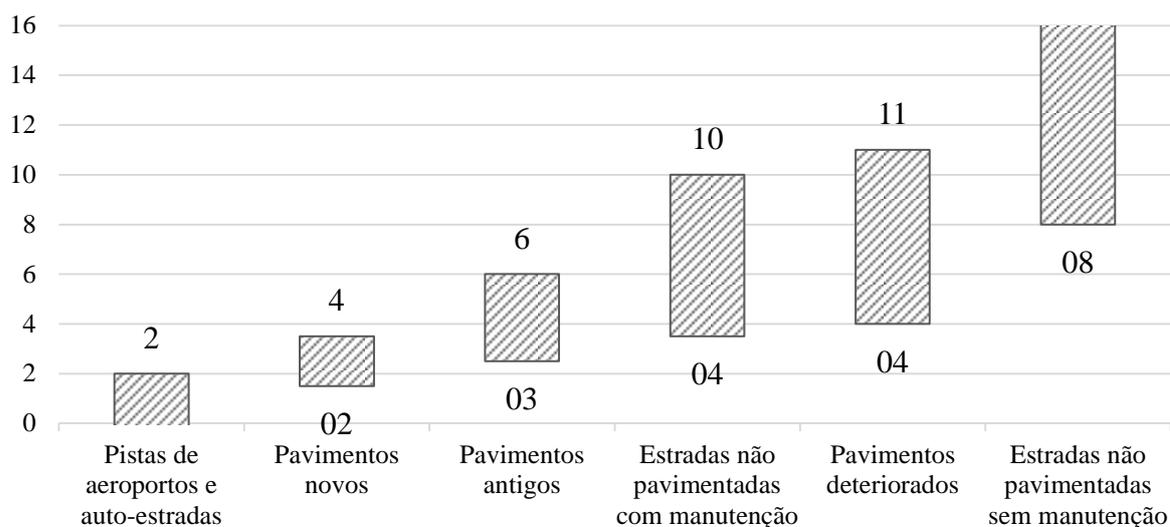


Figura 17 - Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação.  
 Fonte: Sayers and Karamihas [115].

de medição (Classe I, II, III e IV).

### 2.5.3.1 Procedimentos de medição Classe I

Os procedimentos de medição de irregularidade de Classe I são os que geram perfis de precisão através de medição direta. O mais difundido é o de avaliação com ‘nível e mira’. Esse procedimento faz o levantamento topográfico do perfil longitudinal, e, é regulamentado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) através da Norma Rodoviária/Especificação de Serviço nº 173 (DNER-ES 173/86) [112].

O equipamento de medição do tipo ‘nível e mira’ é composto por um nível ótico, uma mira para nivelamento e uma trena de 50m. Para a execução do levantamento, a equipe deve ser composta de dois topógrafos, um porta-mira e um anotador de leituras. Embora a precisão dos procedimentos de Classe I, estes são relativamente lentos e trabalhosos.

### 2.5.3.2 Procedimentos de medição Classe II

Os procedimentos de medição de irregularidade de Classe II incluem outros métodos de medição indireta. O mais utilizado é o do tipo “resposta”, que é regulamentado pelo DNER através da Norma Rodoviária/Procedimento nº 182 (DNER-PRO 182/94) [113]. O sistema de medição é constituído por um instrumento medidor tipo resposta e veículo tipo passeio médio, que se desloca ao longo da via e fornece leituras correspondentes à irregularidade da mesma (Figura 18).

As leituras fornecidas por sistemas do tipo resposta representam o somatório dos deslocamentos verticais retificados (isto é, em valores absolutos) do eixo traseiro do veículo

em relação à carroceria. A terminologia tipo resposta se deve ao fato desses equipamentos medirem mais o efeito da irregularidade nos veículos do que propriamente a irregularidade [110]. Medidores do tipo resposta são utilizados para levantamento de dados em longas extensões.

O levantamento de dados com medidores tipo resposta deve ser realizado a cada 320 metros, sempre a uma velocidade igual a uma das velocidades de calibração do veículo (ex.  $80 \pm 2,0$  km/h) e com a roda direita do veículo do sistema medidor percorrendo a trilha da roda externa. Os procedimentos devem ser realizados à luz do dia, sem chuvas, não sendo aplicáveis às rodovias extremamente deterioradas.

As vantagens do uso de sistemas de medição do tipo resposta são a simplicidade de operação, a alta velocidade de coleta de dados e o custo que é relativamente baixo [114]. As desvantagens para Sayers & Karamihas [115] apontam que, mesmo quando o veículo é padronizado, existem diferenças e, além disso, as propriedades de resposta dos veículos mudam com o tempo. Assim, o sistema do tipo resposta, que depende da dinâmica do veículo hospedeiro, tem dois efeitos indesejáveis [115]: 1) A medição das irregularidades de pista não é estável no tempo; e, 2) A medição da irregularidade feita por esse sistema não é reproduzível por outro.

### 2.5.3.3 Procedimentos de medição Classe III

Os procedimentos de medição de irregularidade de Classe III fornecem o IRI através de uma estimativa, a partir de equações de correlação. O equipamento de medição de irregularidade de Classe III mais comum é o *MERLIN* (Figura 19), acrônimo de *Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation* (Máquina de avaliação da rugosidade

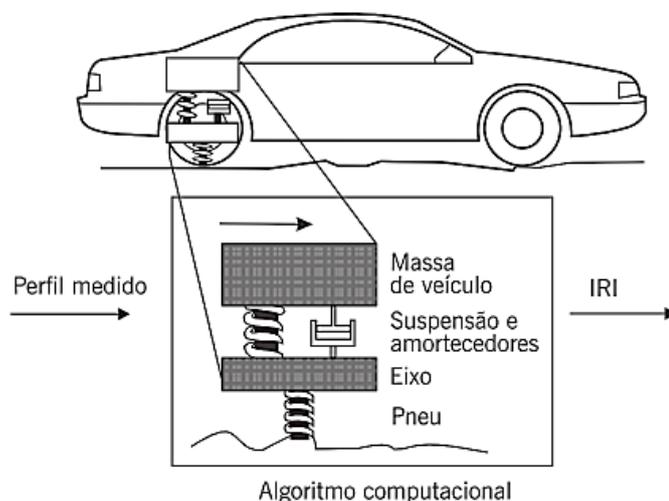


Figura 18 - Princípio de funcionamento de equipamento de medição do tipo resposta.  
Fonte: Gillespie *et al.* [114].

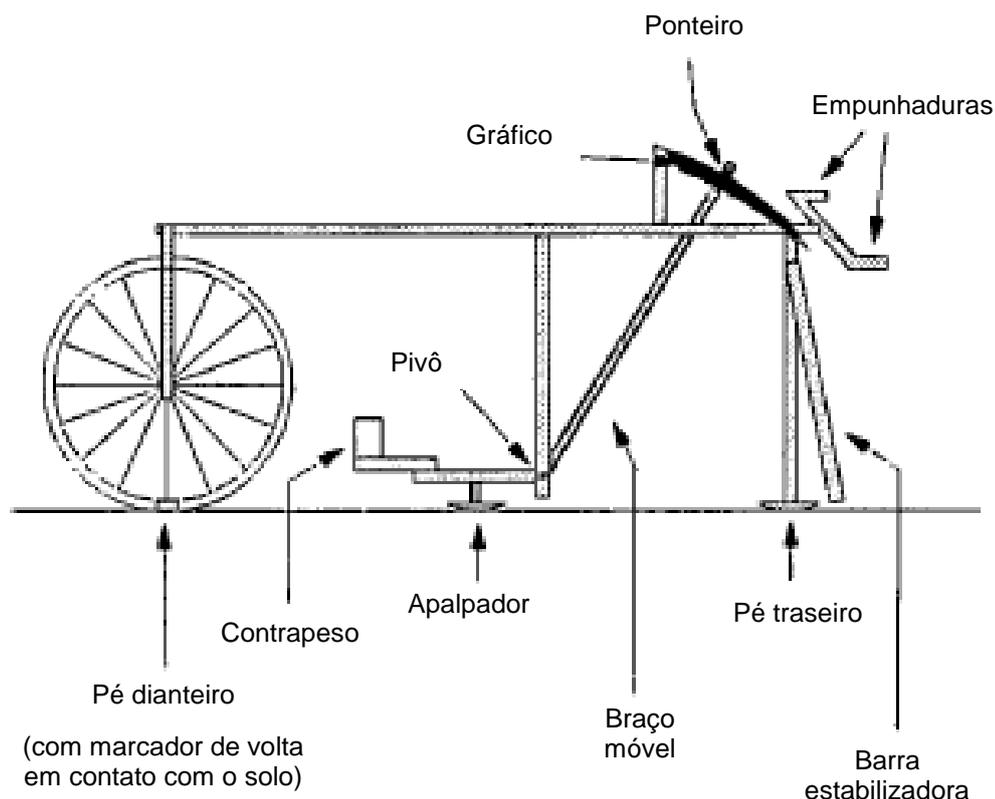


Figura 19 - Equipamento *MERLIN* para medição da irregularidade da estrada de rodagem.  
Fonte: Adaptado de Cundill [116].

usando instrumentação de baixo custo).

O *MERLIN* possui dois apoios afastados em 1,8 m, e um apalpador na metade dessa distância que serve para medir o desvio de meia corda, ou seja, o deslocamento vertical entre a superfície da estrada sob o apalpador e o ponto central de uma linha imaginária que une os dois pontos onde a superfície da estrada está em contato com os dois pés.

O deslocamento faz com que um braço móvel movimente um ponteiro numa relação de 1:10, fazendo com que cada milímetro de deslocamento do apalpador gere um movimento do ponteiro de 10 milímetros<sup>1</sup>. Na parte superior do equipamento é posicionada uma carta que contém um diagrama, e, o ponteiro se move sobre este, indicando a medida do deslocamento, que deve ser registrada. As medições devem ser efetuadas em intervalos sucessivos de 2 metros ao longo da pista (aproximadamente a revolução completa da roda do equipamento), e os resultados (deslocamentos) marcados resultam em um histograma.

<sup>1</sup> Essa relação de braços é mais adequada para levantamentos em pavimentos novos ou pouco deteriorados. Por outro lado, pode-se usar uma relação de 1:5, que faz com que cada milímetro de deslocamento do apalpador gere um movimento do ponteiro de 5 milímetros. Essa relação de braços é mais adequada para levantamentos em pavimentos com a superfície deteriorada [117].

Após o preenchimento, é feito o descarte de 5% dos menores valores marcados e 5% dos maiores. A largura delimitada pelas amostras restantes é utilizada como base para calcular o IRI (mm/km) com a equação de correlação:

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times D \rightarrow 2,4 < IRI < 15,9$$

A simplicidade do projeto do *MERLIN* possibilita a sua construção em qualquer lugar do mundo sem necessitar de grandes recursos financeiros, apresentando-se como um equipamento de simples manuseio e tecnologia de fácil abstração e entendimento. Por outro lado, seu uso é um tanto trabalhoso, porque exige que o operador se desloque à pé por todo o percurso, empurrando o equipamento de medição, e, parando a cada 2 metros para realizar as leituras. O equipamento oferece uma boa exatidão das medidas na faixa que compreende IRI entre 2,4 e 15,9 m/km. Devido à intensidade de trabalho para a coleta de dados, o *MERLIN* não é adequado para avaliação de trechos longos, sendo ótimo para trechos de 400 metros (2 m de intervalo de medição \* 200 amostras).

#### 2.5.3.4 Procedimentos de medição Classe IV

Os procedimentos de medição de irregularidade de Classe IV não utilizam equipamentos de medição. Esses procedimentos são realizados por avaliação subjetiva da serventia por um painel de avaliadores, tendo em vista a correlação da serventia com a irregularidade.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico desta tese é resultado de uma revisão de literatura realizada a partir do tema proposto (Seção 1.1), e que foi aprofundado no decorrer do processo de pesquisa.

Pode-se constatar que a profissão de piloto agrícola é diferente de outras classes de piloto, principalmente no que diz respeito a quantidade de horas de voo, mesmo diante de um trabalho tipicamente sazonal. Além disso, o trabalho é executado normalmente em áreas de pouso improvisadas no interior das propriedades rurais. Portanto, é importante o estudo destas condições de trabalho sobre a saúde do piloto.

A revisão de literatura mostrou que o efeito das vibrações mecânicas sobre o corpo humano tem sido explorado desde meados do século 20, com crescimento notável a partir da

década de 90. Os estudos apontaram altas prevalências de distúrbios musculoesqueléticos em profissionais expostos à VCI, principalmente a lombalgia, que é normalmente atribuída a exposição ocupacional à VCI.

No contexto da aviação agrícola, a vibração mecânica também tem se mostrado presente em estudos sobre SST; contudo, a exposição às vibrações não é explorada, tampouco os efeitos desta. Assim, a proposta de tese que trata de uma análise aprofundada dos fatores que influenciam na magnitude das VCI, bem como os efeitos dessas vibrações e de outras características do trabalho de piloto agrícola relacionados com a prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral se faz pertinente.

### 3 METODOLOGIA

Nessa seção são apresentados os procedimentos de coleta e análise dos dados necessários para responder às questões de pesquisa apresentadas na seção 1.2. Os equipamentos utilizados e os procedimentos realizados para coleta dos dados são descritos em três etapas distintas (Figura 20), que buscam coletar e analisar dados referentes à: 1) Condição de irregularidade de superfície das áreas de pouso para uso aeroagrícola; 2) A exposição diária à VCI; e, 3) A prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral.

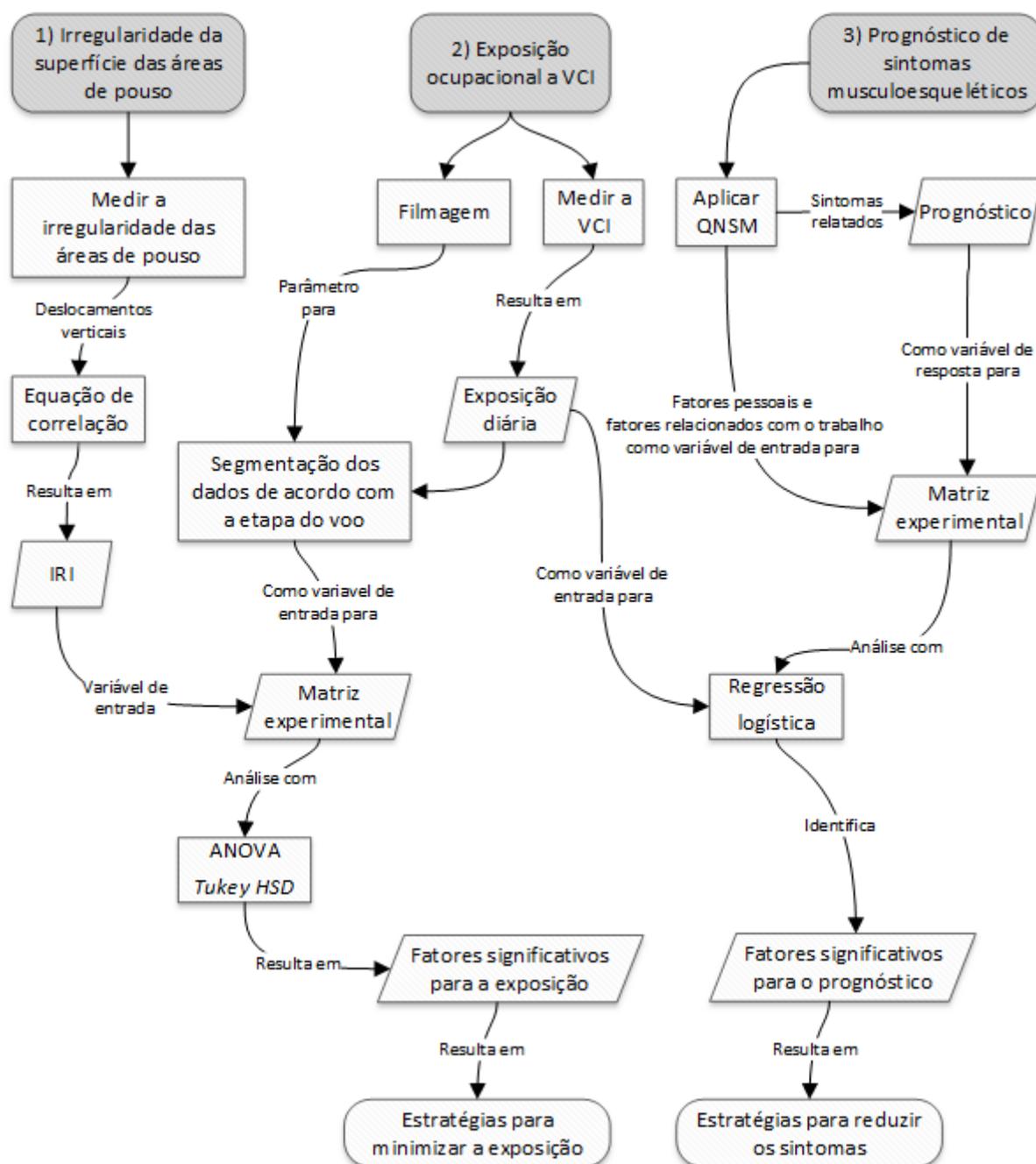


Figura 20 - Mapa conceitual da estrutura metodológica da tese.

### 3.1 IRREGULARIDADE DA SUPERFÍCIE DAS ÁREAS DE POUSO

#### 3.1.1 Coleta de dados

As medições da irregularidade da superfície das áreas de pouso para uso aeroagrícola foram realizadas com auxílio de um *MERLIN* [116], [117]. Os registros de irregularidade foram feitos a partir do deslocamento vertical entre a superfície da pista ( $D$ ), sob um apalpador e o ponto central de uma linha imaginária que une os dois pontos onde a superfície da estrada está em contato com os dois pés, a uma distância de 1,8 metros. Foram realizadas 200 medições sucessivas ao longo de cada área de pouso, uma a cada 2 metros no sentido longitudinal, de acordo com as recomendações de uso do *MERLIN* (Seção 2.5.3.3). Quanto mais irregular a superfície, maior a variabilidade dos deslocamentos [117].

#### 3.1.2 Análise dos dados

Os dados resultantes da coleta de dados foram transformados para o IRI através da equação de correlação (ver seção 2.5.3.3). Cada área de pouso foi então classificada como de baixa irregularidade ou de alta irregularidade, de acordo com o resultado do IRI. Áreas de pouso com baixa irregularidade foram assim classificadas quando  $3,5 < \text{IRI} < 8$ , característico de estradas não pavimentadas com manutenção (Figura 17 – seção 2.5.2). Áreas de pouso com alta irregularidade foram assim classificadas quando  $\text{IRI} > 8$ , característico de estradas não pavimentadas sem manutenção.

### 3.2 EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

#### 3.2.1 Coleta de dados

Foram utilizadas quatro aeronaves para coleta de dados: 1) aeronave EMBRAER EMB-201A – “Ipanema” (Figura 21); 2) aeronave EMBRAER EMB-202 – “Ipanemão” (Figura 22); 3) aeronave CESSNA A188B – “Ag Truck” (Figura 23); e, aeronave AIR TRACTOR AT402B (Figura 24).

As aeronaves da série 200 da EMBRAER usados nesse estudo (EMB-201A e EMB-202) são de fabricação nacional, enquanto as aeronaves da CESSNA e da AIR TRACTOR são importadas. Das aeronaves nacionais, a aeronave EMB-201A e a aeronave EMB-202



Figura 21 - Aeronave EMB-201A usada na coleta de dados.  
Foto: Mateus Zanatta (2013).

representam respectivamente  $\approx 20\%$  e  $\approx 32\%$  de todas aeronaves agrícolas registradas no Brasil até o final de 2013.

As duas aeronaves nacionais são equipadas com mesmo motor, um LYCOMING IO-540-K1J5D, movido à Gasolina de Aviação (AVGAS), com potência máxima contínua de 300 HP à 2700 RPM. Estas aeronaves operam com velocidade máxima de voo agrícola de 130mph, com peso máximo de decolagem de 1800 kg. As aeronaves EMB-201A e EMB-202 utilizadas diferem quanto ao sistema propulsor, tendo 1 hélice com 2 pás e 1 hélice com 3 pás respectivamente. Além disso, a aeronave EMB-202 conta com tanque de produtos aumentado,



Figura 22 - Aeronave EMB-202 usada na coleta de dados.  
Foto: Mateus Zanatta (2013).



Figura 23 - Aeronave A188B usada na coleta de dados.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

com capacidade de 750 kg ou 950 litros, em relação ao modelo EMB-201A com capacidade de 750 kg ou 680 litros. Ambas as aeronaves utilizadas operam com trem-de-pouso de estrutura tubular de metal, com amortecedores a base de elastômeros, e pneus com 22” de diâmetro, 8.5” de largura, roda com 10” de diâmetro (22x8.5-10).

Das aeronaves importadas, a aeronave A188B e a aeronave AT402B representam respectivamente  $\approx 14\%$  e  $\approx 11\%$  de todas aeronaves agrícolas registradas no Brasil até o final de 2013. A aeronave A188B é equipada com motor Continental IO-520-D, com sistema de hélice com 2 pás, movido a AVGAS, com potência máxima contínua de 293 HP à 3400 RPM.



Figura 24 - Aeronave AT402B usada na coleta de dados.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

A aeronave opera com velocidade máxima de voo agrícola de 121mph, com peso máximo de decolagem de 1814 kg. A aeronave opera com trem-de-pouso do tipo lâmina e pneus 22x8-8. Por sua vez, a aeronave AT402 é a única das aeronaves testadas equipada com motor à reação (turboélice) PRATT & WHITNEY – PT6, com sistema de hélice com 3 pás, movido a Querosene de Aviação, com potência máxima de 680 SHP à 2200 RPM. A aeronave opera com velocidade máxima de voo agrícola 225 km/h, com peso máximo de decolagem de 4159 kg. A aeronave opera com trem-de-pouso do tipo lâmina e pneus 29x11-10. As quatro aeronaves foram operadas por 4 pilotos, que concordaram em participar assinando um termo de consentimento. Nenhuma informação pessoal foi coletada dos profissionais envolvidos.

A coleta dos dados foi realizada com um aparelho *Brüel & Kjør Human Vibration Analyzer Type 4447*, de acordo com as recomendações da norma ISO 2631-1:1997. A aceleração foi medida na interface piloto/assento através do posicionamento de um *seat pad Brüel & Kjør* modelo 4515-B-002 contendo um acelerômetro triaxial *Brüel & Kjør* modelo 4524-B-001 (Figura 25).

O tempo decorrido para as medições foi de 23 minutos a 62 minutos, variando de acordo com a duração dos ciclos de trabalho. Estes tempos permitiram gerar projeções diárias da exposição. Foram utilizados os seguintes parâmetros para coleta dos dados: critério para valor da vibração em termos de aceleração (RMS) =  $0,5 \text{ m/s}^2$ ; período projetado (especificado pelo usuário) = 8 horas; unidade =  $\text{m/s}^2$ ; faixa de frequência = 0,25 Hz – 900 Hz; faixa de operação =  $0,1 \text{ m/s}^2 - 320 \text{ m/s}^2 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$ ; e, intervalo entre medições = 1 segundo. Todos os procedimentos de medição foram realizados após um procedimento de calibração do

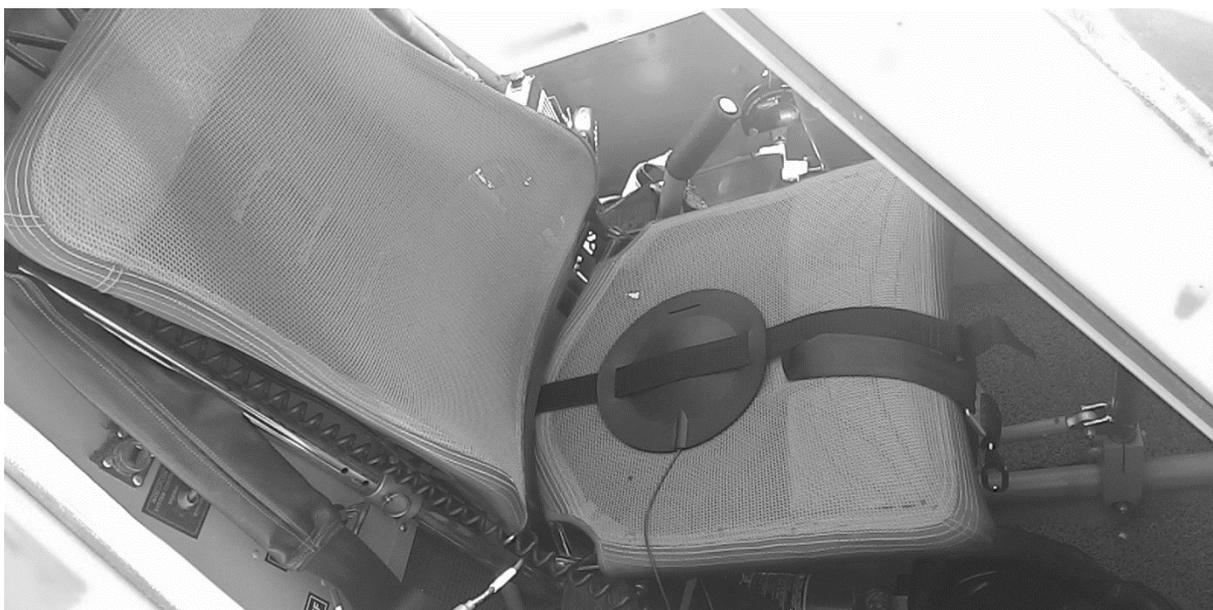


Figura 25 - *Seat pad Brüel & Kjør* – 4515-B-002 montado no assento da aeronave AT402B.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

acelerômetro, com auxílio de um calibrador *Briuel & Kjaer* modelo 4294, frequência de 159,2Hz. Cada procedimento de medição foi cronometrado com o objetivo de, posteriormente, separar os dados em blocos de acordo com a respectiva etapa do trabalho. As segmentações do ciclo de trabalho, bem como os cálculos de dose diária, foram realizadas com auxílio do software *Briuel & Kjaer BZ-5623 4447 Vibration Explorer*, versão 2.0.0.

As medições de exposição à VCI foram realizadas durante operações *in loco* de proteção às lavouras do extremo sul do Brasil. As amostras foram coletadas durante 12 dias, contemplando as diferentes situações que ocorrem durante o calendário agrícola, e, de acordo com a disponibilidade das aeronaves. Para cada aeronave, foram coletadas quatro amostras, operando em pistas com baixa rugosidade superficial e mais quatro amostras em pistas com alta rugosidade superficial.

### 3.2.2 Análise dos dados

Os dados referentes à exposição diária à VCI para cada uma das quatro aeronaves foram representadas pela média e Desvio Padrão (DP). Esses dados servirão como variável de predição para caracterização da prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral (Seção 3.3).

Além da representação da exposição diária para cada aeronave, os dados foram segmentados para caracterizar a exposição em diferentes situações de trabalho. Nessa etapa, foram testados os efeitos de diferentes aeronaves, condições de pista e etapas do trabalho sobre a exposição dos pilotos agrícolas à VCI. Para isso, foi delineado um experimento fatorial cruzado, no qual foram controladas três variáveis: A) as etapas do trabalho (carregamento do *hopper*, decolagem, aplicação da carga nas lavouras e pouso); B) as aeronaves (EMB-201A, EMB-202, A188B e AT402); e, C) a irregularidade das pistas operacionais (rugosidade superficial baixa e rugosidade superficial alta), totalizando 32 tratamentos. Para cada tratamento foram realizadas três repetições, totalizando 96 ensaios. A sequência na coleta de dados teve que atender à demanda de cada aeronave, para cada área plantada, restrita a condições climáticas favoráveis ao voo e à aplicação na lavoura, tornando assim aleatória a sequência dos ensaios.

As informações foram obtidas durante operações reais. Além dos parâmetros controláveis, foram considerados diversos fatores de ruído que não foram controlados nesse estudo, mas que podem ser capazes de influenciar a variabilidade. São exemplos de fatores de ruído a velocidade e direção do vento, temperatura, pressão atmosférica, desnível de terreno,

etc. Além desses, um possível fator de confusão foi a utilização de sistema propulsor das aeronaves, com hélice de 2 pás para as aeronaves EMB-201A e A188B e hélice com 3 pás nas aeronaves EMB-202 e AT402.

A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio dos softwares Excel versão 2013 e *Statistical Package for Social Sciences (SPSS)* versão 18 para Windows. Para a comparação das médias dos tratamentos e interações desses, procedeu-se o cálculo da Análise de Variância (ANOVA). Para os fatores que apresentaram diferenças entre as médias significativas, procederam-se as comparações múltiplas de médias através do teste de *Tukey*. Para todos os testes realizados, utilizou-se o nível de significância de 5%, isto é, diferenças significativas estarão denotadas por  $p < 0,05$ .

### 3.3 PREVALÊNCIA DE SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS

#### 3.3.1 Coleta de dados

Usando o princípio da heterogeneidade, o pesquisador visam a maximização do alcance da pesquisa na medida em que vários tipos de pessoas poderão com ela se identificar. O procedimento de coleta de dados com seleção de participantes do tipo bola de neve (*snowball sampling*) [118], [119] pode gerar amostras heterogêneas, sem que essa heterogeneidade seja controlada pelo pesquisador. Esta técnica de amostragem utiliza cadeias de referência, onde os participantes iniciais indicam novos participantes que, por sua vez, indicam novos participantes e assim sucessivamente.

Os participantes iniciais foram contatados através de dois eventos do Seminário Nacional de Aviação Agrícola (SNAA) e de um Curso de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – Agrícola (CPAA-AG). Na sequência da coleta de dados, foram contatados novos participantes, através das redes de amizade dos participantes iniciais (colegas de curso de formação, antigos colegas quando em atuação em outras empresas, conhecidos, etc.) como exemplificado na Figura 26.

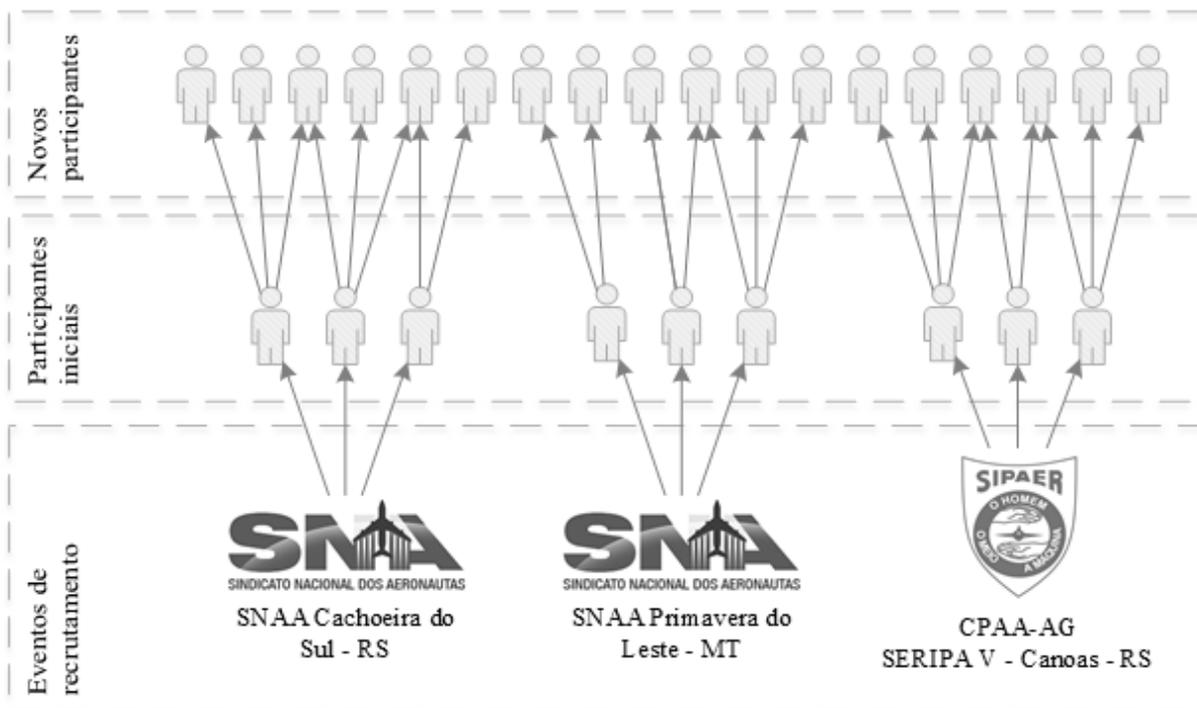


Figura 26 - Procedimento de recrutamento *snowball sampling*.

Os dados foram coletados através de uma entrevista estruturada, aplicada pessoalmente. Na primeira etapa da entrevista, foi apresentado o Termo de Compromisso Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice I), composto de informações sobre o uso e divulgação dos dados, confidencialidade, segurança das informações, contato com os pesquisadores e instituição de ensino.

A primeira seção solicita as características pessoais do participante, adaptado do modelo utilizado na pesquisa de Bovenzi *et al.* [120], incluindo as questões de 1 a 8 apresentadas na Tabela 6.

A segunda seção questiona sobre o histórico ocupacional, baseado em características do trabalho capazes de influenciar na saúde dos pilotos agrícolas [38], [39], incluindo as questões de 9 a 14 apresentadas na Tabela 6. Para correlacionar a exposição à VCI com a prevalência 12 meses de sintomas musculoesqueléticos, foram atribuídos os valores de exposição diária à VCI coletados, de acordo com as aeronaves predominantemente voadas nos últimos 12 meses.

A terceira seção do questionário é focada nos problemas de saúde que foram investigados usando uma adaptação do QNSM [108], incluindo as questões de 15 a 19 apresentadas na Tabela 6. Os trabalhadores foram questionados sobre a ocorrência de desconforto e/ou dores nos ombros na coluna cervical, na coluna dorsal e na coluna lombar,

Tabela 6 - Roteiro de entrevista.

#	Questão	Tipo de resposta	Resposta
1	Qual sua idade?	Contínua	20...99
2	Qual o seu gênero?	Categórica	Masculino; Feminino
3	Qual a sua altura em centímetros?	Contínua	140 ... 220
4	Qual seu peso em quilos?	Contínua	40 ... 120
5	Qual sua lateralidade?	Categórica	Destro; Canhoto; Ambidestro
6	Você pratica atividade física regular?	Categórica	Sim; Não
7	Você fuma?	Categórica	Sim; Não
8	Você consome bebidas alcoólicas?	Categórica	Sim; Não
9	Quais os cultivos predominantes os quais você aplicou defensivos nos últimos 12 meses?	Múltipla escolha	Soja; Arroz; Feijão; Milho; Pastagem; Algodão; Cana-de-açúcar; Banana; Cítricos; Tubérculos; outros
10	Em que região do Brasil você voou nos últimos 12 meses?	Múltipla escolha	Sul; Sudeste; Centro-oeste; Norte; Nordeste
11	Quantas horas você voou nos últimos 12 meses?	Contínua	1 ... 2000
12	Em quais dos últimos 12 meses você trabalhou com aplicação aérea de defensivos?	Múltipla escolha	Janeiro ... dezembro
13	Quais as aeronaves predominantemente voadas nos últimos 12 meses?	Múltipla escolha	Embraer EMB-201A; Embraer EMB-202; CESSNA AgTruck; AirTractor AT-402; outro
14	Como você descreve a qualidade da superfície maioria das pistas utilizadas para as operações dos últimos 12 meses?	Categórica	Boa (Manutenção frequente); ruim (Manutenção precária)
15	Nos últimos 12 meses você sentiu algum desconforto ou dor?	Múltipla escolha	Sim, na coluna lombar; Sim, na coluna dorsal; Sim, na coluna cervical; Sim, nos ombros; Não, nenhum desconforto ou dor
16	Nos últimos 12 meses você teve que realizar algum tipo de tratamento para aliviar o desconforto ou dor? Ex. tratamento médico, fisioterápico, fitoterápico, etc.	Múltipla escolha	Sim, para as dores/desconforto na coluna lombar; Sim, para as dores/desconforto na coluna dorsal; Sim, para as dores/desconforto na coluna cervical; Sim, para as dores/desconforto nos ombros; Não, nenhum tratamento
17	Nos últimos 12 meses você teve que ficar afastado do trabalho em função de dores ou desconforto? Quantos dias?	Contínua	0 ... 365
18	Suas dores, desconforto são anteriores à profissão de piloto agrícola?	Categórica	Sim; Não
19	Você já sofreu algum acidente com lesões e/ou dores nas regiões da coluna? Quantos?	Contínua	0 ... 99

no período que compreende os últimos 12 meses (prevalência de 12 meses). Os trabalhadores que relataram sintomas musculoesqueléticos foram solicitados a responder a questões adicionais relativas a cuidados médicos e possíveis afastamentos em função dos sintomas nos últimos 12 meses.

### 3.3.2 Critérios de inclusão

O convite para o estudo limitou-se a participação de pilotos agrícolas atuantes no Brasil, bem como aos pilotos que trabalharam no mínimo um ano na profissão. O

entrevistador limitou as respostas ao apresentar as primeiras perguntas como filtro (ex. Atualmente você está trabalhando como piloto agrícola?). Assim, foram desconsiderados, os pilotos agrícolas que não atuaram no último ano, ou seja, que não estiveram expostos às condições de trabalho estudadas.

### 3.3.3 Riscos e benefícios

Dada a natureza da entrevista, na busca por respostas quanto à atividade profissional e dados pessoais, pode ser possível que os pilotos agrícolas respondentes sintam certa invasão de privacidade e exposição, e assim, tenham receio no preenchimento de tais dados. Ainda, diante de constante pressão por órgãos regulamentadores e opinião pública (ex. Intimidação criada em situações com acidentes aéreos, onde a causa normalmente é associada a fatores humanos, ou seja, a culpa é entendida como erro do profissional, nem sempre refletindo na realidade dos fatos), os pilotos agrícolas respondentes podem se sentir ameaçados pelo medo em caso de ‘vazamento de informações’. Para prevenir tais situações, na primeira etapa da entrevista foi apresentado o TCLE, de forma a esclarecer que a coleta de dados é segura, sendo os dados sigilosos e de acesso restrito aos pesquisadores. Deixou-se claro ainda que os resultados serão divulgados sem que seja possível identificar qualquer um dos sujeitos da pesquisa.

O benefício dessa pesquisa foi promover o conhecimento da situação atual de trabalho dos pilotos agrícolas, permitindo assim direcionar pesquisas futuras para resolução de problemas ligados à saúde ocupacional.

### 3.3.4 Análise dos dados

A probabilidade de ocorrência dos sintomas foi determinada com um modelo logístico, composto por uma variável dependente dicotômica:  $D = Sintoma$ , que representa a probabilidade de chance do piloto ser acometido por dores e/ou desconforto na coluna vertebral. A resposta esperada é do tipo binária (0 e 1), onde o piloto é acometido pelo sintoma (1) ou não (0).

Foram testadas 8 variáveis independentes:  $X_1 = Idade$ , que é contínua e representa a idade do piloto agrícola na data da coleta de dados;  $X_2 = Safras$ , que é contínua e representa a quantidade de safras/anos trabalhados como piloto agrícola até a data da coleta de dados;  $X_3 = IMC$ , que é contínua e representa o Índice de Massa Corporal – IMC, calculado com

base nas respostas dos pilotos agrícolas sobre estatura expressa em metros e massa expressa em quilos através da equação  $IMC = massa/estatura^2$ ;  $X_4 = Tabaco$ , que é categórica, codificada como 1 quando o piloto agrícola é fumante declarado e 0 quando não;  $X_5 = Alcool$ , que é categórica, codificada como 1 quando o piloto agrícola declara consumir bebidas alcóolicas regularmente e 0 quando não;  $X_6 = AF$ , que é categórica, codificada como 1 quando o piloto agrícola declara praticar atividades físicas regularmente e 0 quando não;  $X_7 = Horas$ , que é contínua e representa a quantidade de horas trabalhadas como piloto agrícola nos doze meses anteriores à data da coleta de dados; e,  $X_8 = VCI$ , que é contínua e representa a exposição diária média à VCI, expressa em VDV VTV, de acordo com as aeronaves de trabalho utilizadas nos últimos doze meses, conforme apresentado na seção 4.2.1.

A probabilidade pode ser denotada pela declaração condicional de probabilidade:

$$P(D = 1|X_1, X_2, \dots, X_k) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}}$$

Por conveniência de notação, denota-se a declaração de probabilidade  $P(D = 1|X_1, X_2, \dots, X_k)$  simplesmente como  $P(\mathbf{X})$  onde  $\mathbf{X}$  representa uma notação curta do conjunto de variáveis  $X_1$  até  $X_k$ [121]:

$$P(\mathbf{X}) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}}$$

Os termos  $\alpha$  e  $\beta_i$  neste modelo representam parâmetros desconhecidos que serão estimados com base nos dados obtidos nos  $X$ s e  $D$  (prognóstico do sintoma) para o grupo de pilotos agrícolas (participantes da pesquisa). Assim, ao saber os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta_i$  e tendo determinado os valores de  $X_1$  a  $X_k$  para um determinado indivíduo não acometido, pode-se usar esta equação para ligar esses valores e obter a probabilidade de que essa pessoa desenvolva a doença sobre algum intervalo de tempo de acompanhamento definido [121].

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentadas as contribuições deste estudo, resultado dos experimentos para avaliar a irregularidade da superfície das áreas de pouso (Seção 4.1), para avaliar a exposição dos pilotos agrícolas à VCI (Seção 0) e para avaliar a prevalência de lesões musculoesqueléticas (Seção 4.3).

Para cada uma das seções que seguem, são realizadas breves considerações a respeito dos resultados, confrontados frente aos estudos técnicos e científicos anteriores, destacando as reais contribuições do presente estudo.

### 4.1 IRREGULARIDADE DA SUPERFÍCIE DAS ÁREAS DE POUSO

As áreas de pouso para uso aeroagrícola são caracterizadas na seção 2.5. Nessa seção, são apresentados os dados de irregularidade de superfície, obtidos através de medição com um MERLIN. Foram realizadas 200 medições para cada área de pouso, uma a cada 2 metros, totalizando 400 metros de pista, distância aproximada de decolagem e pouso para a maioria das aeronaves utilizadas nesse estudo.

Cada área de pouso está representada por um conjunto de três caracteres, sendo assim, de conhecimento apenas dos pesquisadores. Isso garante o anonimato dos colaboradores, que permitiram realizar a coleta de dados em suas propriedades. Além disso, as áreas de pouso foram caracterizadas por uma fotografias, obtidas na mesma data da coleta de dados, que permite visualizar o tipo de terreno e desníveis grosseiros. Além disso, é apresentado um perfil da seção de teste, onde estão representados cada deslocamento medido pelo *MERLIN*.

#### 4.1.1 Seção de teste nº1 – área de pouso QU6

A área de pouso QU6 não é pavimentada, com uma superfície arenosa (Figura 27). A largura da pista permite ao piloto desviar de obstáculos maiores que podem ocasionar acelerações de alta magnitude.

A primeira parte da seção até aproximadamente 50 metros, apresenta alta variabilidade no desnível medido (Figura 28). Esse desnível é normal nessa parte da área de pouso devido às manobras da aeronave e veículos terrestre usados para o carregamento. No restante da área de pouso a variabilidade é menor, com desníveis inferiores a 10 mm. Como efeito de condições boas de superfície, a área de pouso obteve como resultado um IRI = 6,25 m/km, e assim, foi classificada como de manutenção frequente (IRI < 10 m/km).



Figura 27 - Vista panorâmica da seção de teste nº1 – área de pouso QU6.  
Foto: Mateus Zanatta (2016).

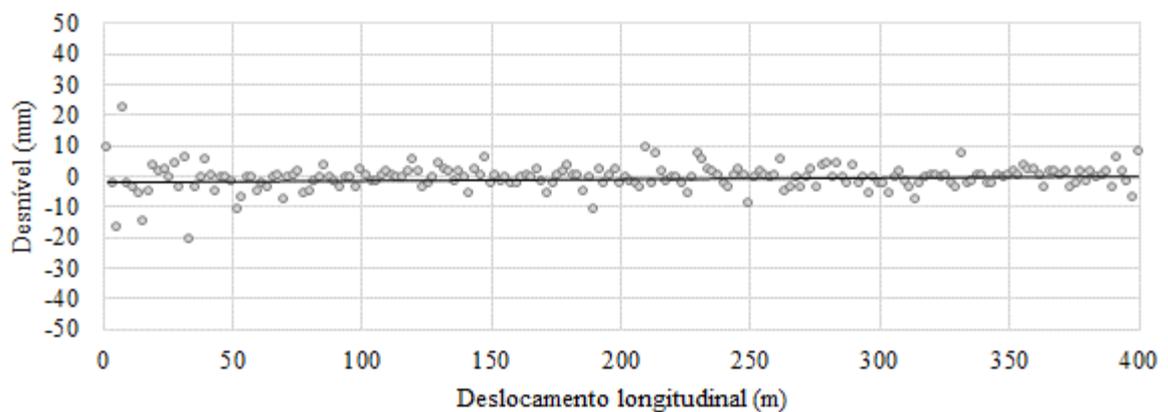


Figura 28 - Perfil da seção de teste nº1 – área de pouso QU6.

#### 4.1.2 Seção de teste nº2 – área de pouso 2PA

A área de pouso 2PA não é pavimentada, com uma superfície de terra compactada parcialmente coberta por grama (Figura 29). A área de pouso é estreita, com obstáculos em ambas as laterais, que se estendem por todo o comprimento da pista.

Os desníveis medidos são maiores nas transições de terra para grama, que aumenta a variabilidade (Figura 30). Como efeito dessas condições, a área de pouso obteve como resultado um IRI = 10,48 m/km, sendo classificada como área de pouso sem manutenção frequente (IRI > 10 m/km).

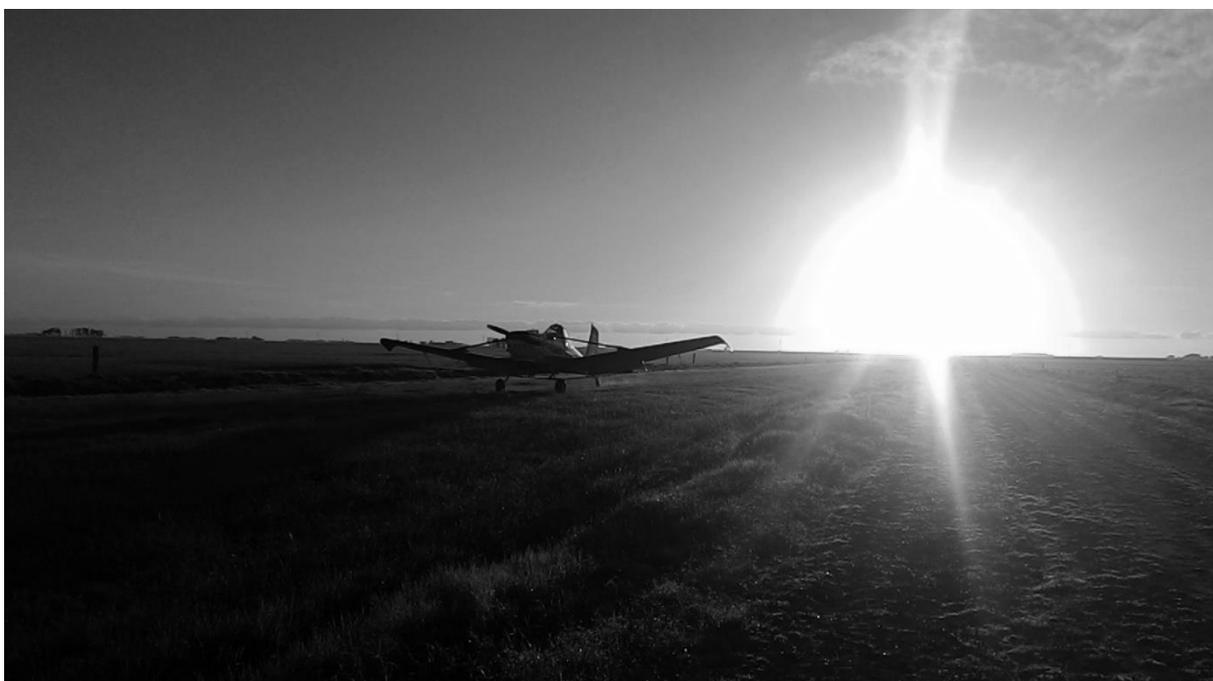


Figura 29 - Vista panorâmica da seção de teste nº2 – área de pouso 2PA.  
Foto: Mateus Zanatta (2016).

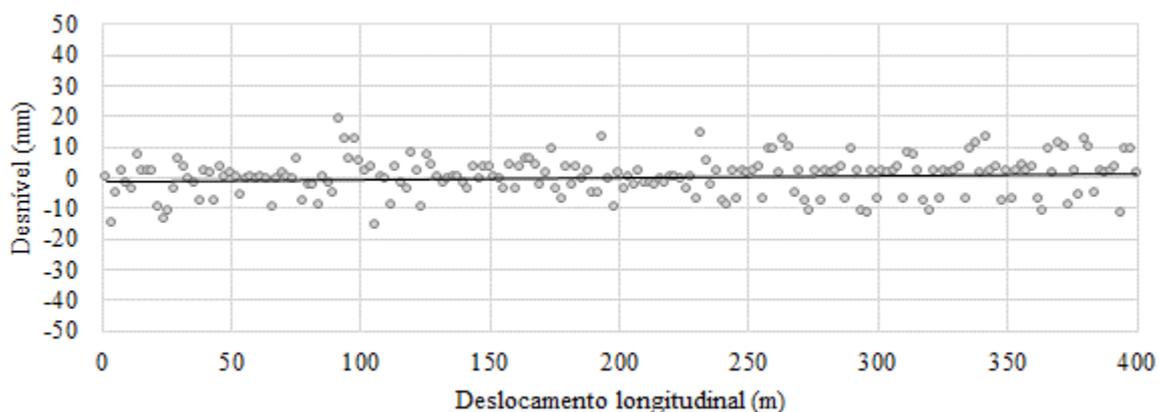


Figura 30 - Perfil da seção de teste nº2 – área de pouso 2PA.

#### 4.1.3 Seção de teste nº3 – área de pouso CAC

A área de pouso CAC é pavimentada, com uma superfície asfaltada (Figura 31). A área de pouso é larga, com área de escape nas duas laterais e ambas as cabeceiras.

Os desníveis medidos são baixos e constantes (Figura 32). Como efeito dessas condições, a área de pouso obteve como resultado um IRI = 0,59 m/km, conseqüentemente foi classificada como área de pouso com manutenção frequente (IRI < 10 m/km).



Figura 31 - Vista panorâmica da seção de teste nº3 – área de pouso CAC.  
Foto: Mateus Zanatta (2016).

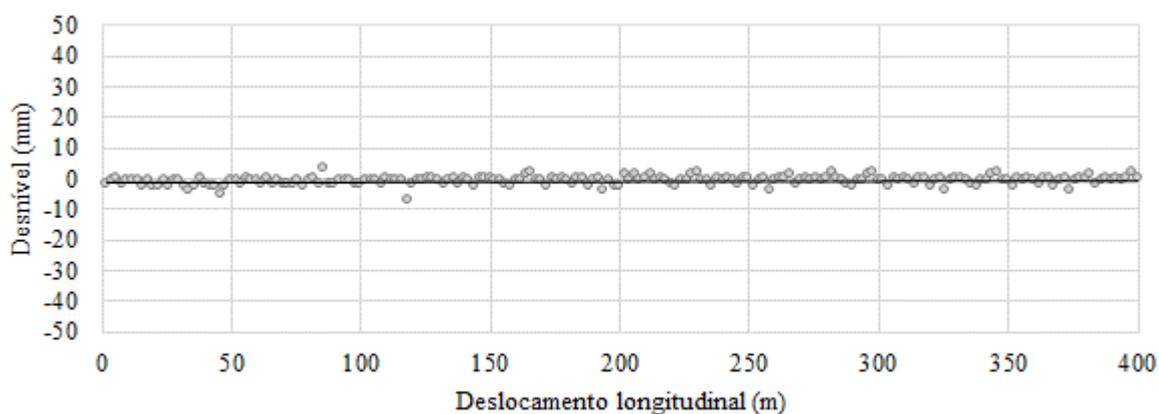


Figura 32 - Perfil da seção de teste nº3 – área de pouso CAC.

#### 4.1.4 Seção de teste nº4 – área de pouso QU5

A área de pouso QU5 não é pavimentada, com uma superfície arenosa (Figura 33). A largura da pista permite ao piloto desviar de obstáculos maiores que podem ocasionar acelerações de alta magnitude.

Como efeito de uso frequente após períodos de chuvas, a área de pouso apresenta alta variabilidade nos desníveis medidos por toda a sua extensão (Figura 34). Como efeito, a área de pouso obteve como resultado um IRI = 12,82 m/km, portanto classificada como área de pouso sem manutenção frequente (IRI > 10 m/km).



Figura 33 - Vista panorâmica da seção de teste nº4 – área de pouso QU5.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

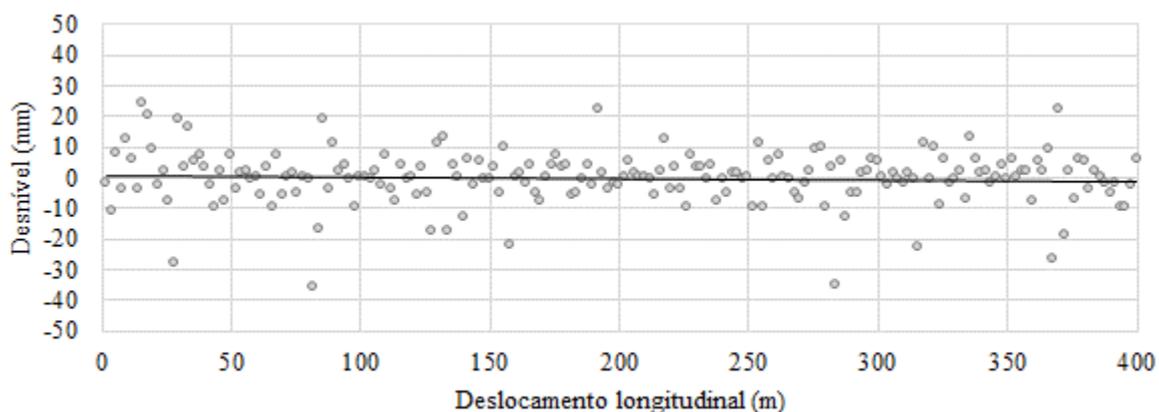


Figura 34 - Perfil da seção de teste nº4 – área de pouso QU5.

#### 4.1.5 Seção de teste nº5 – área de pouso SJ1

A área de pouso SJ1 não é pavimentada, com uma superfície arenosa, parcialmente coberta por grama (Figura 35). A pista é larga, apresenta obstáculos em ambos os lados da pista, sem área de escape.

Como efeito de uso frequente por outros veículos e com a passagem de rebanhos, a área de pouso apresenta grande variabilidade nos desníveis por toda a sua extensão, sendo os maiores nas regiões de transição de areia para grama (Figura 36). Como efeito, a área de pouso obteve como resultado um  $IRI = 11,3 \text{ m/km}$ , resultando em uma classificação como área de pouso sem manutenção frequente ( $IRI > 10 \text{ m/km}$ ).



Figura 35 - Vista panorâmica da seção de teste nº5 – área de pouso SJ1.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

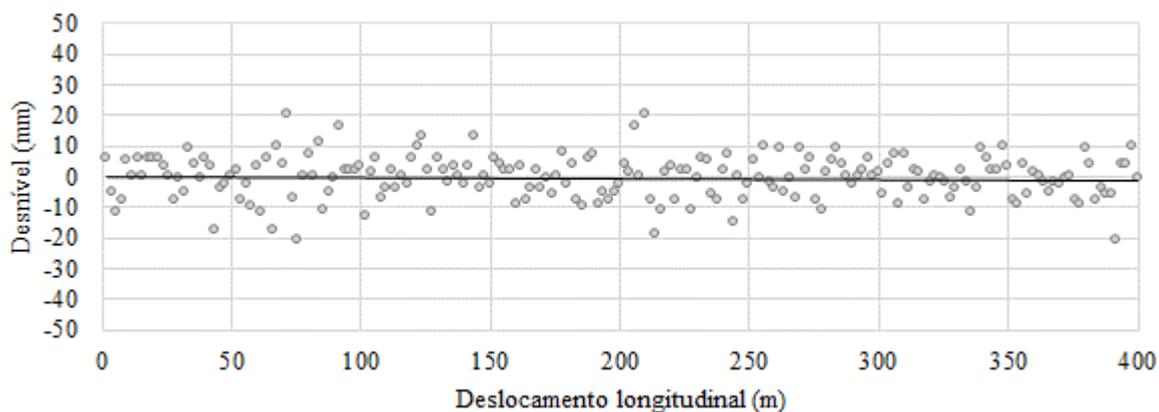


Figura 36 - Perfil da seção de teste nº5 – área de pouso SJ1.

#### 4.1.6 Seção de teste nº6 – área de pouso P35

A área de pouso P35 não é pavimentada, com superfície de terra compactada (Figura 37). A pista é estreita, limitada pelo crescimento de vegetação rasteira nas laterais que podem ocasionar acelerações de altas magnitudes.

A área de pouso apresenta desníveis por vezes severos, sendo os maiores nas regiões de transição de areia para grama (Figura 38). Como efeito, a área de pouso obteve como resultado um IRI = 10, 47 m/km, portanto foi classificada como área de pouso sem manutenção frequente (IRI > 10 m/km).



Figura 37 - Vista panorâmica da seção de teste nº6 – área de pouso P35.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

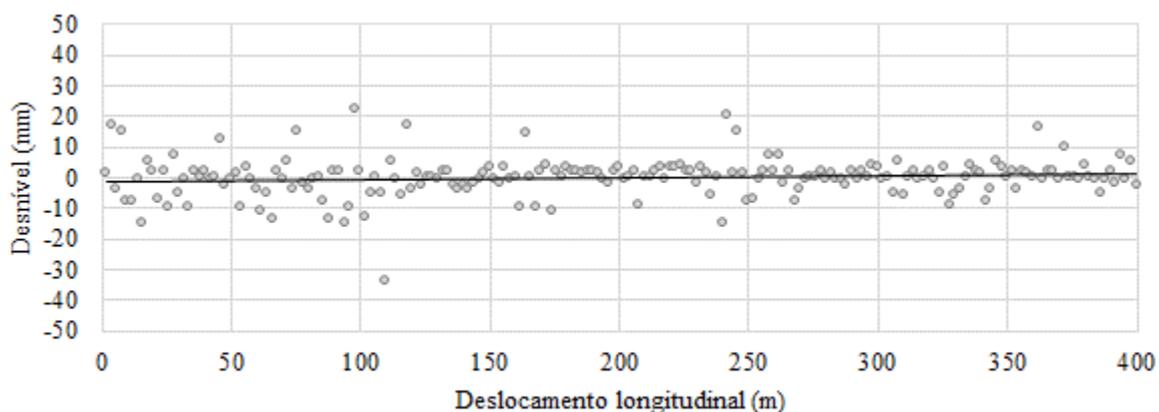


Figura 38 - Perfil da seção de teste nº6 – área de pouso P35.

#### 4.1.7 Seção de teste nº7 – área de pouso GER

A área de pouso GER não é pavimentada, com superfície de terra compactada (Figura 39). A pista é larga, contudo, a área mais lisa é limitada pelo crescimento de vegetação rasteira nas laterais.

A área de pouso apresenta desníveis severos nos primeiros 50 metros e dos 250 até os 350 metros (Figura 40). Apesar disso, em sua maior parte a pista apresentou baixa variabilidade dos desníveis, obtendo como resultado um IRI = 9,52 m/km, e assim, foi classificada como área de pouso com manutenção frequente (IRI < 10 m/km).



Figura 39 - Vista panorâmica da seção de teste nº7 – área de pouso GER.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

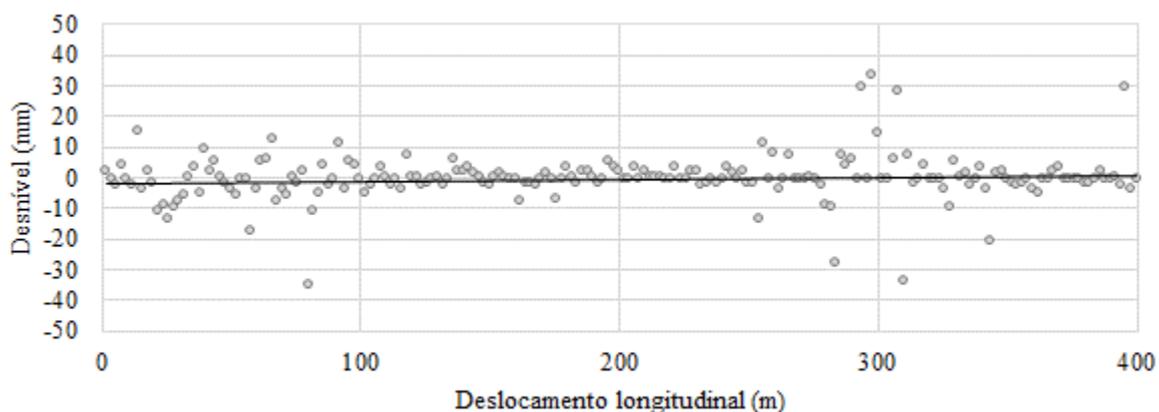


Figura 40 - Perfil da seção de teste nº7 – área de pouso GER.

#### 4.1.8 Seção de teste nº8 – área de pouso SCH

A área de pouso SCH não é pavimentada, com superfície arenosa (Figura 41). A pista é larga, com superfície regular apesar do crescimento de vegetação rasteira nas laterais. IRI = 5,76 m/km.

A área de pouso apresenta baixa variabilidade dos desníveis medidos (Figura 42), e obteve como resultado um IRI = 5,76 m/km, sendo classificada como área de pouso com manutenção frequente (IRI < 10 m/km).



Figura 41 - Vista panorâmica da seção de teste nº8 – área de pouso SCH.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

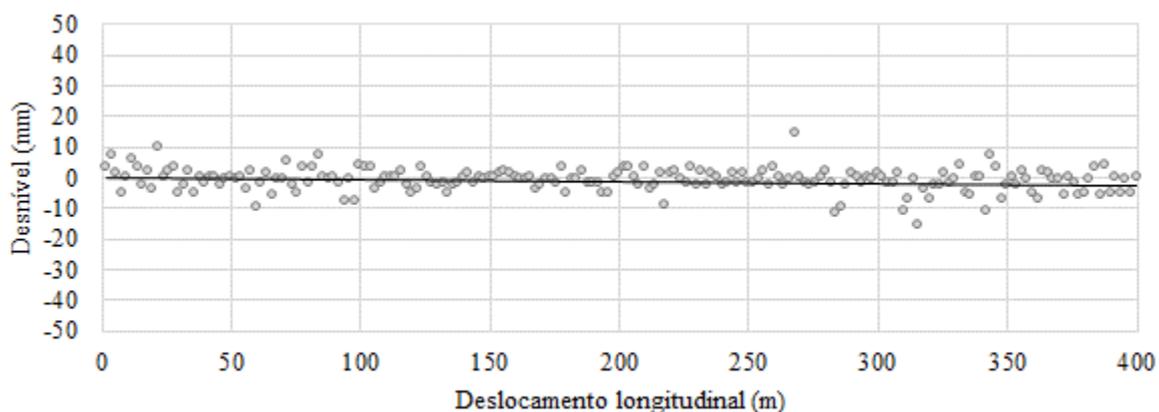


Figura 42 - Perfil da seção de teste nº8 – área de pouso SCH.

#### 4.1.9 Seção de teste nº9 – área de pouso PAL

A área de pouso PAL não é pavimentada, contudo, foi construída para uso frequente de aeronaves agrícolas maiores (Figura 43). A pista é larga, com superfície regular apesar de pequenos desníveis em uma das cabeceiras.

A área de pouso apresenta baixa variabilidade dos desníveis medidos (Figura 44), e obteve como resultado um IRI = 5,66 m/km, o menor entre as áreas de pouso não pavimentadas; assim, foi classificada como área de pouso com manutenção frequente (IRI < 10 m/km).



Figura 43 - Vista panorâmica da seção de teste nº9 – área de pouso PAL.  
Foto: Mateus Zanatta (2015).

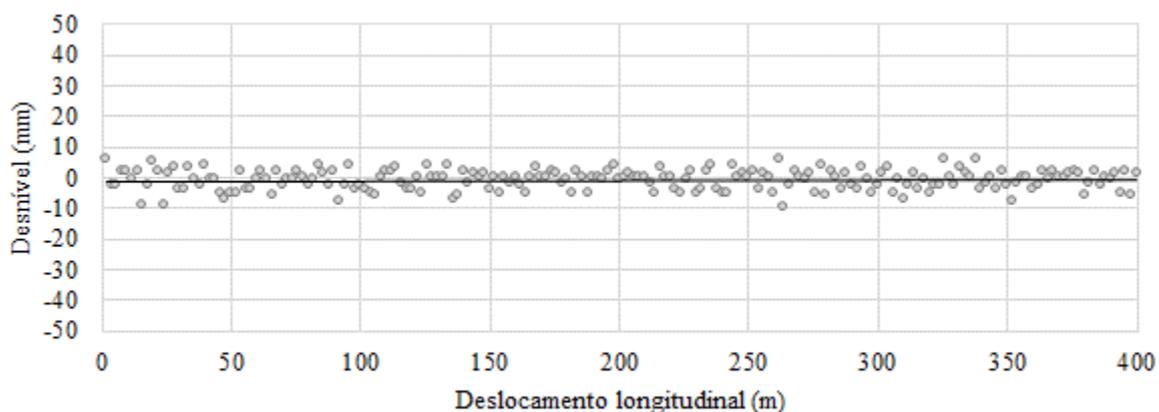


Figura 44 - Perfil da seção de teste nº9 – área de pouso PAL.

#### 4.1.10 Considerações a respeito das áreas de pouso

Sabe-se que as condições de rodagem podem influenciar na exposição a VCI, tendo sido esse efeito considerado em diversos estudos anteriores que buscaram caracterizar a exposição ocupacional em diversos tipos de veículos, como por exemplo ônibus [67], [70], [91], caminhões [5] e escavadeiras compactas [8]. No presente estudo, foi possível identificar diferentes condições de rodagem, que podem favorecer no aumento da magnitude das vibrações mecânicas durante as etapas de decolagem e pouso. Além disso, as variações climáticas que ocorrem no decorrer do calendário agrícola, bem como o uso das áreas de pouso para outras finalidades, como por exemplo, a passagem de veículos terrestres e de rebanhos, prejudica as condições de rodagem ao longo desse período. Por outro lado, a conscientização por parte das empresas prestadoras de serviço e dos pilotos agrícolas sobre o efeito dessas condições na saúde e segurança pode favorecer a melhoria dessas condições de trabalho, podendo haver a negação de serviço diante de condições impróprias para o voo.

Nos estudos anteriores as diferentes condições da faixa de rodagem são subjetivas, dependentes da interpretação individual e pessoal dos pesquisadores ou dos participantes da pesquisa. No estudo de Okunribido *et al.* [91] e Zhao & Schindler [8] as diferenças das faixas de rodagem foram determinadas de acordo com o tipo de pavimento, sendo em ruas urbanas e asfalto quando testando a exposição a VCI em ônibus [91] e em terra compactada e cascalho quando operando escavadeiras compactas [8]. Blood *et al.* [70] e Thamsuwan *et al.* [67] em seus estudos com motoristas de ônibus realizaram os testes em rotas padronizadas, incluindo ruas da cidade, autoestradas lisas e rugosas, e segmentos de rua com lombadas redutoras de velocidade. Já o estudo de Wolfgang & Burgess-Limerick [5] considerou a manutenção ou a falta dessa nas estradas provisórias usadas por motoristas de caminhão. A principal contribuição do presente estudo quanto as áreas de pouso é a determinação de uma forma prática e rápida de medição da rugosidade superficial das mesmas, para comparação objetiva de acordo com índices internacionais. A metodologia de coleta de dados utilizada pode ser caracterizada com de baixo custo e precisa, podendo auxiliar no controle da manutenção das áreas de pouso, e repercutir assim na saúde e segurança dos pilotos agrícolas.

## 4.2 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

Nessa seção a exposição dos pilotos agrícolas à VCI é caracterizada. São realizadas medições da exposição diária de acordo com as normas vigentes, e, com base nos dados, são testados fatores relacionados com o trabalho que podem estar associados com o aumento da magnitude das vibrações. Por fim, são feitas as devidas considerações a respeito dos resultados.

### 4.2.1 Exposição diária

Foram coletados dados de exposição à VCI, que foram projetados para dose diária e estão sumarizados no Apêndice II. Foram coletados simultaneamente dados referentes a  $A(8)$ ,  $RMS$  VTV,  $VDV$  Max,  $VDV$  VTV e FC Max. Os dados foram coletados para as aeronaves EMB-201A (n=8), EMB-202 (n=16), A188B (n=8) e AT402B (n=6) totalizando 38 amostras.

Para todas as 38 amostras o valor do FC ficou acima do limite estabelecido pela ISO 2631-1:1997 para uso de valores baseados na magnitude de vibração  $RMS$  ( $FC > 9$ ), e assim, deve-se utilizar dados da projeção diária de valores  $VDV$ . Vista a ausência de um eixo dominante, deve-se utilizar o vetor soma VTV. Assim, a exposição foi avaliada em termos de  $VDV$  VTV.

Não foi encontrado efeito significativo a um nível de significância de 95%, e assim, não se pode afirmar que existam diferenças na exposição dos pilotos agrícolas que atuam profissionalmente com as quatro aeronaves testadas. Em virtude da ausência de efeito significativo, não foram realizados testes *post-hoc*. Visto o  $R^2$  baixo, entende-se que a variância não pode ser explicada apenas pelo fator aeronave.

### 4.2.2 Fatores relacionados com a exposição

A compreensão dos efeitos de cada uma das variáveis associadas à exposição ocupacional à VCI, bem como das possíveis interações entre elas, é necessária, a fim de

Tabela 7 - Tabela ANOVA testando as aeronaves para variável de resposta expressa em  $VDV$  VTV.

<b>Origem</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Modelo corrigido	144,591 <sup>a</sup>	3	48,197	2,719	,060
Interceptação	9204,634	1	9204,634	519,262	,000
Aeronaves	144,591	3	48,197	2,719	,060
Erro	602,697	34	17,726		
Total	11689,205	38			
Total corrigido	747,289	37			

Nota: a)  $R^2 = 0,193$  ( $R^2$  ajustado = 0,122).

determinar a eficácia das medidas destinadas a reduzi-las. Nesse estudo, foram testadas três variáveis de predição, consideradas prováveis de estar associadas à intensidade das vibrações: 1) a etapa do trabalho (Carregamento, decolagem, aplicação e pouso; A=4); 2) a aeronave utilizada (EMB-201A, EMB-202, A188B e AT402B; A=4); e, 3) a rugosidade superficial da pista operacional IRI<8 e IRI>8; C=2). Foram coletadas 4 amostras para cada uma das 32 situações diferentes, totalizando 128 ensaios ( $A*B*C*n$ ;  $4*4*2*4=128$ ), os quais estão sumarizados no Apêndice III.

Para 29 das 128 amostras o valor do FC ficou acima do limite estabelecido pela ISO 2631-1:1997 para uso de valores baseados na magnitude de vibração *RMS* ( $FC>9$ ), e assim, a matriz experimental (Tabela 8) é composta de valores da projeção diária de valores *VDV*(8). Vista a ausência de um eixo dominante, foram utilizados os VTV.

A ANOVA (Tabela 9) encontrou efeito significativo com nível de significância de 5%, para os fatores etapa do trabalho (A), aeronave (B) e IRI (C). Além disso, obteve-se efeito significativo para as interações AB (etapa e aeronave) e BC (aeronave e IRI). Tendo em vista os efeitos AB e BC, entende-se que o efeito da etapa do voo e do IRI das áreas de pouso na exposição à VCI dependem da aeronave utilizada. Nessa situação, deve-se evitar interpretar os efeitos principais para não conduzir a conclusões errôneas. Assim, foram realizados testes específicos para cada aeronave testada (B), para verificar o efeito das etapas

Tabela 8 - Matriz experimental para variável de resposta expressa em  $VDV(8)$  VTV.

Aeronave (B)	EMB-201A		EMB-202		A188B		AT402B	
Etapa (A)	IRI (C)		IRI (C)		IRI (C)		IRI (C)	
	> 8 m/km	< 8 m/km						
<b>Carregamento</b>	6,113	3,646	6,936	4,362	4,410	2,865	1,590	4,850
	5,250	1,890	4,783	4,064	4,616	2,366	1,279	2,022
	4,149	4,357	3,781	3,164	2,310	1,991	2,995	1,912
	3,823	3,355	3,738	2,451	2,935	2,703	0,800	1,445
<b>Decolagem</b>	34,350	24,438	26,081	26,199	22,925	18,676	18,741	18,870
	25,903	17,616	27,831	24,742	22,439	19,419	19,265	18,959
	28,157	21,463	25,942	25,610	24,396	19,268	21,021	21,838
	28,154	27,034	31,153	24,969	24,442	17,591	20,179	23,426
<b>Aplicação</b>	18,707	8,619	7,713	6,539	7,494	9,405	11,860	14,207
	13,574	7,511	7,480	7,612	9,581	11,278	10,325	16,256
	14,343	8,254	8,424	7,292	10,265	9,278	11,351	14,482
	14,980	8,722	7,532	9,197	9,366	10,169	11,105	17,047
<b>Pouso</b>	42,737	18,749	30,343	32,481	28,656	26,511	25,530	21,416
	23,706	20,141	27,393	33,027	28,930	21,342	27,125	28,808
	23,036	24,678	33,556	28,870	29,885	26,352	29,486	24,417
	63,072	18,798	25,780	31,697	19,539	23,519	28,098	29,435

Nota: Valores projetados para um período de exposição de oito horas.

Tabela 9 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A), aeronave (B) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV.

<b>Origem</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Modelo corrigido	13935,835 <sup>a</sup>	31	449,543	29,147	,000
Interceptação	34200,049	1	34200,049	2217,403	,000
A	12488,746	3	4162,915	269,908	,000
B	184,013	3	61,338	3,977	,010
C	177,296	1	177,296	11,495	,001
AB	336,407	9	37,379	2,423	,016
AC	95,443	3	31,814	2,063	,110
BC	393,307	3	131,102	8,500	,000
ABC	260,623	9	28,958	1,878	,064
Erro	1480,653	96	15,423		
Total	49616,538	128			
Total corrigido	15416,489	127			

Nota: a)  $R^2 = 0,904$  ( $R^2$  ajustado = 0,873).

do voo (A) e IRI (C). Para os efeitos significativos, foram realizadas comparações múltiplas de médias com o teste de Diferença Honestamente Significativa de *Tukey* (*Tukey's Honest Significant Difference test – Tukey's HSD test*).

Para a aeronave EMB-201A a ANOVA (Tabela 10) identificou efeito significativo para a etapa de voo (A) e para o IRI (C). Para o fator C, com apenas dois níveis, não foram realizados testes adicionais. De acordo com o IRI, o piloto agrícola é exposto a níveis diferentes de VCI, sendo maior quando  $IRI > 8$ . Para o fator A, foi realizada uma comparação múltipla de médias (Tabela 11) através do teste de *Tukey HSD*. Foram identificados dois grupos homogêneos para as quatro etapas de voo (Tabela 12).

As etapas 1 (carregamento) e 3 (aplicação dos defensivos) não apresentaram diferença significativa. Nessas etapas o piloto agrícola está exposto a menor intensidade de VCI, abaixo do *EAV* estabelecido pela Directiva 2002/44/EC e NHO 09. As etapas 2 (decolagem) e 4 (pouso) também não apresentaram diferença significativa. Nessas etapas o piloto agrícola está exposto a maior intensidade de VCI, acima do *EAV* estabelecido pela

Tabela 10 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa de voo (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-201A.

<b>Origem</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Modelo corrigido	4191,664 <sup>a</sup>	7	598,809	11,834	,000
Interceptação	10129,092	1	10129,092	200,173	,000
A	3385,190	3	1128,397	22,300	,000
C	534,506	1	534,506	10,563	,003
AC	271,969	3	90,656	1,792	,176
Erro	1214,443	24	50,602		
Total	15535,200	32			
Total corrigido	5406,107	31			

Nota: a)  $R^2 = 0,775$  ( $R^2$  ajustado = 0,710).

Directiva 2002/44/EC e NHO 09.

Tabela 11 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-201A através do teste de *Tukey HSD*.

(I) Etapa	(J) Etapa	I-J	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
1,00	2,00	-21,8165*	3,55675	,000	-31,6282	-12,0048
	3,00	-7,7659	3,55675	,157	-17,5775	2,0458
	4,00	-25,2918*	3,55675	,000	-35,1034	-15,4801
2,00	1,00	21,8165*	3,55675	,000	12,0048	31,6282
	3,00	14,0506*	3,55675	,003	4,2390	23,8623
	4,00	-3,4753	3,55675	,764	-13,2869	6,3364
3,00	1,00	7,7659	3,55675	,157	-2,0458	17,5775
	2,00	-14,0506*	3,55675	,003	-23,8623	-4,2390
	4,00	-17,5259*	3,55675	,000	-27,3375	-7,7142
4,00	1,00	25,2918*	3,55675	,000	15,4801	35,1034
	2,00	3,4753	3,55675	,764	-6,3364	13,2869
	3,00	17,5259*	3,55675	,000	7,7142	27,3375

Nota: Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 50,602. \*A diferença média é significativa no nível 0,05.

Tabela 12 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave EMB-201A.

Etapa	N	Subconjunto	
		1	2
1,00	8	4,0729	
3,00	8	11,8388	
2,00	8		25,8894
4,00	8		29,3646
Sig.		,157	,764

Nota: São exibidas as médias para os grupos em subconjuntos homogêneos. Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 50,602. Usa o Tamanho de Amostra de Média Harmônica = 8,000. Alfa = 0,05.

Para a aeronave EMB-202 a ANOVA (Tabela 13) identificou efeito significativo apenas para a etapa de voo (A). Não há diferença significativa na exposição do piloto agrícola à VCI quando atuando em áreas de pouso com IRI diferentes. Para o fator A, foi realizada uma comparação múltipla de médias (Tabela 14) através do teste de *Tukey HSD*. Foram identificados quatro grupos homogêneos para as quatro etapas de voo (Tabela 15). A etapa 4 (pouso) é a que expõe o piloto agrícola a níveis mais elevados de VCI, seguida da etapa 2 (decolagem), ambas acima do *EAV* estabelecido pela Directiva 2002/44/EC e NHO 09. A etapa 1 (carregamento) é a que expõe o piloto agrícola a menor magnitude de VCI, seguida da etapa 3 (aplicação dos defensivos), ambas abaixo do *EAV* estabelecido pela Directiva 2002/44/EC e NHO 09.

Tabela 13 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-202.

Origem	SQ	GL	MQ	F	Sig.
Modelo corrigido	4197,837 <sup>a</sup>	7	599,691	185,129	,000
Interceptação	9478,648	1	9478,648	2926,124	,000
A	4173,047	3	1391,016	429,416	,000
C	1,197	1	1,197	,370	,549
AC	23,593	3	7,864	2,428	,090
Erro	77,744	24	3,239		
Total	13754,229	32			
Total corrigido	4275,581	31			

Nota: a)  $R^2 = 0,982$  ( $R^2$  ajustado = 0,977).

Tabela 14 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave EMB-202 através do teste de Tukey HSD.

(I) Etapa	(J) Etapa	I-J	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
1,00	2,00	-22,4060*	,89991	,000	-24,8885	-19,9235
	3,00	-3,5638*	,89991	,003	-6,0462	-1,0813
	4,00	-26,2335*	,89991	,000	-28,7160	-23,7510
2,00	1,00	22,4060*	,89991	,000	19,9235	24,8885
	3,00	18,8423*	,89991	,000	16,3598	21,3247
	4,00	-3,8275*	,89991	,001	-6,3100	-1,3450
3,00	1,00	3,5638*	,89991	,003	1,0813	6,0462
	2,00	-18,8423*	,89991	,000	-21,3247	-16,3598
	4,00	-22,6698*	,89991	,000	-25,1522	-20,1873
4,00	1,00	26,2335*	,89991	,000	23,7510	28,7160
	2,00	3,8275*	,89991	,001	1,3450	6,3100
	3,00	22,6698*	,89991	,000	20,1873	25,1522

Nota: Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 3,239. \*A diferença média é significativa no nível 0,05.

Tabela 15 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave EMB-202.

Etapa	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1,00	8	4,1599			
3,00	8		7,7236		
2,00	8			26,5659	
4,00	8				30,3934
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Nota: São exibidas as médias para os grupos em subconjuntos homogêneos. Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 3,239. Usa o Tamanho de Amostra de Média Harmônica = 8,000. Alfa = 0,05.

Para a aeronave A188B a ANOVA (Tabela 16) identificou efeito significativo para a etapa de voo (A) e para o IRI (C). Para o fator C, com apenas dois níveis, não foram realizados testes adicionais. De acordo com o IRI, o piloto agrícola é exposto a níveis diferentes de VCI, sendo maior quando  $IRI > 8$ . Para o fator A, foi realizada uma comparação múltipla de médias (Tabela 17) através do teste de Tukey HSD. Foram identificados quatro grupos homogêneos para as quatro etapas de voo (Tabela 18). A etapa 4 (pouso) é a que expõe o piloto agrícola a níveis mais elevados de VCI, seguida da etapa 2 (decolagem), ambas acima do EAV estabelecido pela Directiva 2002/44/EC e NHO 09. A etapas 1 (carregamento)

Tabela 16 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave A188B.

Origem	SQ	GDL	MQ	F	Sig.
Modelo corrigido	2639,823 <sup>a</sup>	7	377,118	86,370	,000
Interceptação	7048,466	1	7048,466	1614,285	,000
A	2578,907	3	859,636	196,879	,000
C	27,114	1	27,114	6,210	,020
AC	33,802	3	11,267	2,580	,077
Erro	104,791	24	4,366		
Total	9793,080	32			
Total corrigido	2744,614	31			

Nota: a)  $R^2 = 0,962$  ( $R^2$  ajustado = 0,951).

Tabela 17 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave A188B através do teste de *Tukey HSD*.

(I) Etapa	(J) Etapa	I-J	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
1,00	2,00	-18,1200*	1,04479	,000	-21,0022	-15,2378
	3,00	-6,5800*	1,04479	,000	-9,4622	-3,6978
	4,00	-22,5673*	1,04479	,000	-25,4494	-19,6851
2,00	1,00	18,1200*	1,04479	,000	15,2378	21,0022
	3,00	11,5400*	1,04479	,000	8,6578	14,4222
	4,00	-4,4473*	1,04479	,001	-7,3294	-1,5651
3,00	1,00	6,5800*	1,04479	,000	3,6978	9,4622
	2,00	-11,5400*	1,04479	,000	-14,4222	-8,6578
	4,00	-15,9873*	1,04479	,000	-18,8694	-13,1051
4,00	1,00	22,5673*	1,04479	,000	19,6851	25,4494
	2,00	4,4473*	1,04479	,001	1,5651	7,3294
	3,00	15,9873*	1,04479	,000	13,1051	18,8694

Nota: Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 4,366. \*A diferença média é significativa no nível 0,05.

Tabela 18 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave A188B.

Etapa	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1,00	8	3,0245			
3,00	8		9,6045		
2,00	8			21,1445	
4,00	8				25,5918
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

São exibidas as médias para os grupos em subconjuntos homogêneos. Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 4,366. Usa o Tamanho de Amostra de Média Harmônica = 8,000. Alfa = 0,05.

é a que expõe o piloto agrícola a menor magnitude de VCI, seguida da etapa 3 (aplicação dos defensivos), ambas abaixo do *EAV* estabelecido pela Directiva 2002/44/EC e NHO 09.

Para a aeronave AT402B a ANOVA (Tabela 19) identificou efeito significativo apenas para a etapa de voo (A). Não há diferença significativa na exposição do piloto agrícola à VCI quando atuando em áreas de pouso com IRI diferentes. Para o fator A, foi realizada uma comparação múltipla de médias (Tabela 20) através do teste de *Tukey HSD*. Foram identificados quatro grupos homogêneos para as quatro etapas de voo (Tabela 21). A etapas 4 (pouso) é a que expõe o piloto agrícola a níveis mais elevados de VCI, seguida da etapa 2 (decolagem), ambas acima do *EAV* estabelecido pela Directiva 2002/44/EC e NHO 09. A

Tabela 19 - Tabela ANOVA testando os fatores etapa (A) e IRI (C) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave AT402B.

Origem	SQ	GDL	MQ	F	Sig.
Modelo corrigido	2722,498 <sup>a</sup>	7	388,928	111,554	,000
Interceptação	7727,856	1	7727,856	2216,531	,000
A	2688,010	3	896,003	256,995	,000
C	7,785	1	7,785	2,233	,148
AC	26,703	3	8,901	2,553	,079
Erro	83,675	24	3,486		
Total	10534,029	32			
Total corrigido	2806,173	31			

Nota: a)  $R^2 = 0,970$  ( $R^2$  ajustado = 0,961).

Tabela 20 - Comparações múltiplas de médias das etapas de voo (A) para variável de resposta expressa em VDV(8) VTV em aeronave AT402B através do teste de Tukey HSD.

(I) Etapa	(J) Etapa	I-J	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
1,00	2,00	-18,1758*	,93360	,000	-20,7512	-15,6003
	3,00	-10,8605*	,93360	,000	-13,4359	-8,2851
	4,00	-24,6778*	,93360	,000	-27,2532	-22,1023
2,00	1,00	18,1758*	,93360	,000	15,6003	20,7512
	3,00	7,3153*	,93360	,000	4,7398	9,8907
	4,00	-6,5020*	,93360	,000	-9,0774	-3,9266
3,00	1,00	10,8605*	,93360	,000	8,2851	13,4359
	2,00	-7,3153*	,93360	,000	-9,8907	-4,7398
	4,00	-13,8173*	,93360	,000	-16,3927	-11,2418
4,00	1,00	24,6778*	,93360	,000	22,1023	27,2532
	2,00	6,5020*	,93360	,000	3,9266	9,0774
	3,00	13,8173*	,93360	,000	11,2418	16,3927

Nota: Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 3,486. \*A diferença média é significativa no nível 0,05.

Tabela 21 - Subconjuntos homogêneos de etapas de voo para aeronave AT402B.

Etapa	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1,00	8	2,1116			
3,00	8		12,9721		
2,00	8			20,2874	
4,00	8				26,7894
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Nota: São exibidas as médias para os grupos em subconjuntos homogêneos. Com base em médias observadas. O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 3,486. Usa o Tamanho de Amostra de Média Harmônica = 8,000. Alfa = 0,05.

etapa 1 (carregamento) é a que expõe o piloto agrícola a menor magnitude de VCI, seguida da etapa 3 (aplicação dos defensivos), ambas abaixo do *EAV*.

#### 4.2.3 Considerações a respeito da exposição

Ao considerar a exposição com base em valores *RMS*, todas as aeronaves testadas apresentaram valores acima do *EAV* na maioria das amostras, com média 0,733 m/s<sup>2</sup>, 0,688 m/s<sup>2</sup>, 0,508 m/s<sup>2</sup> e 0,694 m/s<sup>2</sup> para valores VTV nas aeronaves EMB-201A, EMB-202, A188B e AT402B respectivamente. Esses valores ficaram acima do *EAV* estabelecido pela

Directiva 2002/44/EC e NHO 09. O mesmo ocorre para operadores de empilhadeiras[12], com valores  $A(8)$  de  $0,32 \text{ m/s}^2$  a  $0,73 \text{ m/s}^2$  e maquinistas de trens interurbanos [72] com exposição média de  $0,52 \text{ m/s}^2$  para valores  $A(8)$ . Perceba que os valores de magnitude de vibração são apresentados em termos de  $RMS$  VTV para pilotos agrícolas enquanto para operadores de empilhadeiras e maquinistas são apresentados em termos de  $A(8)$ . Isso se deve ao fato de que a exposição de operadores de empilhadeira e maquinistas apresentou o eixo “Z” dominante, enquanto a exposição de pilotos agrícolas não apresentou eixo dominante, sendo determinada pelo vetor soma.

Por outro lado, se for considerada exposição em termos de  $VDV$ , apenas as aeronaves de fabricação nacional apresentaram amostras com valores superiores ao  $EAV$  estabelecido pela Directiva 2002/44/EC e NHO 09 para valores VTV. Em estudos anteriores, não foram evidenciadas situações onde ocorre esse fenômeno, singular na aviação agrícola devido às diferentes etapas do voo, que sujeitam os pilotos a diferentes magnitudes de VCI e variações no eixo dominante.

Diferente da Directiva 2002/44/EC, que admite o uso apenas de valores  $RMS$  quando  $FC < 9$ , a norma brasileira orienta o uso tanto dos valores  $RMS$  quanto dos valores  $VDV$ , ambos em termos de VTV. Assim, na situação atual, todas as aeronaves testadas no presente estudo estariam acima dos limites de ação, necessitando no mínimo a adoção de medidas preventivas [60]. Nenhuma das aeronaves ultrapassou, em nenhuma das situações avaliadas, o  $ELV$ , e assim, não se tornam necessárias medidas corretivas imediatas [60]. Isso se torna mais fácil, conhecendo-se os efeitos na magnitude da vibração nas diferentes situações de trabalho apresentadas nesse estudo.

As diferenças na exposição à VCI em diferentes etapas do voo já foi investigada em estudos primários com pilotos de helicóptero [78], carregadeiras [75] e tratores florestais [76], [82]. No presente estudo, as etapas de voo apresentaram diferença significativa para todas as aeronaves testadas. As maiores magnitudes de VCI foram medidas durante as decolagens e pousos, quando a aeronave está em movimento e em contato com o solo. A aeronave EMB-201A é a única que não apresentou diferença significativa entre as etapas de decolagem e pouso. Isso sugere que a carga da aeronave não influencia na exposição à VCI especificamente nesta aeronave. As outras aeronaves testadas apresentaram diferença significativa entre as etapas de decolagem (com *hopper* carregado) e pouso (com *hopper* descarregado), consistente com estudos primários com tratores florestais [76].

Estudos primários com motoristas de caçambas de mineradora [5], tratoristas [4] e motoristas de ônibus [67], [70] sugerem que diferenças nas condições das pistas de rodagem podem afetar a exposição à VCI. No presente estudo, duas aeronaves (EMB-202 e AT402B) demonstraram certa invulnerabilidade. Estas aeronaves expuseram os pilotos agrícolas à VCI semelhante, mesmo quando operando em áreas de pouso com diferentes condições de rugosidade superficial. As principais características destas aeronaves podem ser investigadas em estudos futuros com objetivo de reproduzir essa invulnerabilidade em outros veículos.

Outras características capazes de influenciar na exposição à VCI, incluem mas não se limitam a idade do veículo [62], projeto de assento/encosto [65], [70], [71], tamanho/capacidade de carga [4], [5] e manutenção [86]. Alguns desses fatores não foram testados neste estudo, e assim, são responsáveis pelo erro experimental.

Considerando que as aeronaves EMB-201A e EMB-202 têm a mesma estrutura, trem-de-pouso e conjunto assento/encosto, a aeronave EMB-201A não apresentou a mesma invulnerabilidade da aeronave EMB-202 para operação em áreas de pouso com IRI diferentes. Esse efeito pode ser explicado pela diferença de idade das duas aeronaves utilizadas neste experimento, como relatado em estudos como caçambas de mineradoras [62]. Contudo, é apenas uma hipótese, e, não foi testada no presente estudo. Outra diferença entre as aeronaves EMB-201A e EMB-202 que pode influenciar na exposição à VCI é a capacidade do *hopper*. O mesmo ocorre entre as aeronaves AT402B e A188B, e, é consistente com alguns estudos primários com tratores agrícolas [4] e caçambas de mineradora [5].

A manutenção das aeronaves não foi considerada nesse estudo. Para minimizar o erro experimental, as amostras foram coletadas apenas em aeronaves que passaram por revisão geral, logo antes da coleta de dados, incluindo balanceamento total do sistema motopropulsor, assim como recomendado por Smith [86]. Sabendo-se desse efeito, deve-se considerar que a exposição medida nesse estudo pode sofrer variações, em função da qualidade da manutenção das aeronaves. Assim, entende-se que para manter os níveis de VCI aceitáveis, é necessário um bom gerenciamento da manutenção, bem como da carga horária diária.

Outro fator responsável pelo erro experimental é a atitude do piloto, relatado em estudo primário com motoristas de caçamba de mineradora [82]. Para minimizar o erro experimental atribuído a esse fator, a coleta de dados foi realizada apenas em empresas que utilizam procedimentos de operação padrão.

### 4.3 SINTOMAS MUSCULOESQUELÉTICOS EM PILOTOS AGRÍCOLAS

Nessa seção os pilotos agrícolas são caracterizados, no que diz respeito às características demográficas, situações de trabalho e prevalências de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral. É testada a associação de diversas características pessoais e outras relacionadas ao trabalho com o prognóstico de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral. Por fim, são feitas as devidas considerações a respeito dos resultados.

#### 4.3.1 Características da população estudada

Os procedimentos de recrutamento permitiram contatar 62 participantes iniciais, sendo 20 no SNAA realizado em Cachoeira do Sul – RS, 35 no SNAA realizado em Primavera do Leste – MT e 7 no CPAA-AG realizado em Canoas – RS. Estes por sua vez, indicaram 33 novos participantes que foram contatados por telefone. Dos 95 pilotos contatados, 46 (48,4%) voaram na região Sul, 38 (40,0%) na região Centro-oeste, 9 (9,5%) na região Sudeste, 5 (5,3%) na região Nordeste e 2 (2,1%) na região Norte. Os percentuais somam mais do que 100% dada a diferença do calendário agrícola, que permite que os pilotos voem em diferentes regiões no mesmo período. De todos os pilotos convidados a participar da pesquisa através de abordagem pessoal, apenas 5 recusaram-se a participar.

Os participantes da pesquisa apresentaram idade média de 37,3 anos ( $\pm 10,3$ ), com Índice de Massa Corporal (IMC) médio de 27,6 kg/m<sup>2</sup> ( $\pm 3,4$ ). Quanto à lateralidade, 87 (91,6%) se declararam destros, 6 (6,3%) canhotos e 2 (2,1%) ambidestros. Atividade física regular foi relatada por apenas 43 (45,6%) dos participantes, o que inclui principalmente caminhadas, musculação e prática de esportes. O consumo alcoólico foi relatado por 75 (78,9%) dos participantes, enquanto o consumo de tabaco por 26 (27,4%).

Das características relacionadas com o trabalho, a atuação média como piloto agrícola foi de 10,7 ( $\pm 9,7$ ) anos/safras. As aeronaves utilizadas incluem três modelos EMBRAER (EMB-201, EMB-201A e EMB-202), dois modelos AIR TRACTOR (AT402B e AT502B), um modelo CESSNA (AgTruck) e um modelo PIPER (PA-25). O modelo mais utilizado pelos participantes recrutados foi o EMB-202 (40 pilotos; 42,1%), seguido do A188B (26 pilotos; 27,4%), EMB-201A (21 pilotos; 22,1%), AT502B (8 pilotos; 8,4%), AT402B e EMB-201 (4 pilotos cada; 4,2% cada) e PA-25 (3 pilotos; 3,2%). Os valores percentuais não somam 100%, visto que alguns pilotos trabalharam com mais do que uma aeronave no ano pesquisado. Dados de exposição à VCI foram coletados de apenas 4 dos 7

modelos de aeronave incluídas nessa etapa da pesquisa (ver seção 4.1.10), e assim, não foram incluídos na análise por regressão logística. Assim, 12 pilotos (12,6%) voaram no último ano aeronaves das quais não são conhecidos dados de exposição à VCI.

Como resultado das características apresentadas, 59 pilotos agrícolas (62,1%) relataram ter sido acometidos por dores ou desconfortos em alguma região da coluna vertebral nos últimos 12 meses, enquanto trabalhando nas operações aeroagrícolas. Destes, 28 (29,5%) relataram ter sido acometidos por dores ou desconforto na coluna cervical, 17 (17,9%) na coluna torácica e 43 (45,3%) na coluna lombar (Figura 45).

#### 4.3.2 Modelo de predição

Considerando o contexto deste estudo, buscou-se identificar que variáveis associadas ao trabalho de piloto agrícola podem contribuir para ocorrência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral.

Com base nos prognósticos de sintomas, relatados pelos pilotos agrícolas durante as entrevistas (Figura 45), foram calculados os termos  $\alpha$  e  $\beta_i$ . Para isso, foi realizada uma análise por regressão logística, com auxílio do *software* IBM SPSS *Statistics* versão 22.

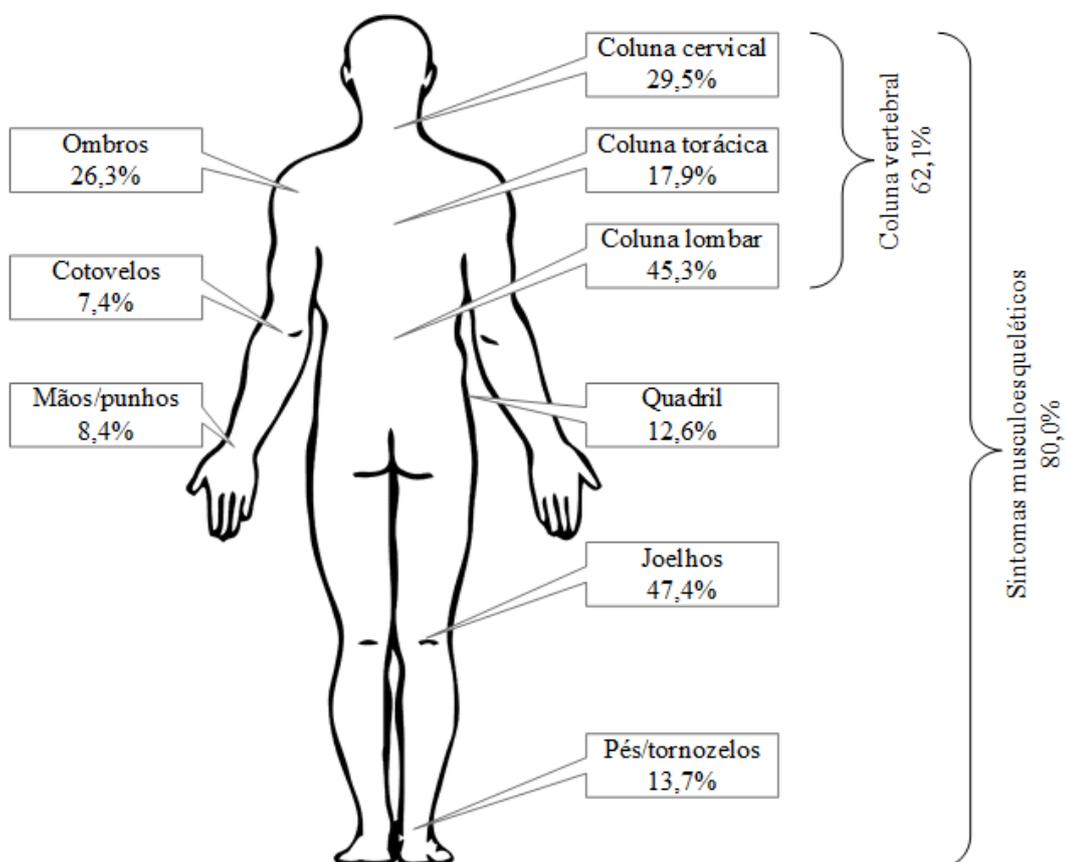


Figura 45 - Gráfico de prevalências de sintomas musculoesqueléticos em pilotos agrícolas.

Foram utilizados 83 (87,4%) dos 95 casos, sendo descartados da análise por regressão dados incompletos, que incluem pilotos agrícolas que atuaram com aeronaves as quais não foram coletados dados sobre a exposição diária à VCI (EMB-201, AT502B e PA-25). Primeiramente, foi utilizado o valor de corte 0,5 para classificação, ou seja, valores menores que 0,5 foram incluídos no grupo 0 e valores iguais ou maiores que 0,5 foram incluídos no grupo 1. Foram preditos corretamente 67,5% dos casos, sendo 34,5% do grupo 0 (Não acometidos) e 85,2% do grupo 1 (Acometidos). Para melhorar a capacidade de predição do modelo, foram testados outros valores para o corte de classificação (Figura 46), sendo o melhor resultado global atribuído ao corte de classificação 0,55, ou seja, são considerados casos acometidos aqueles que apresentam probabilidade superior à 55%. Com corte de classificação de 0,55, o modelo logístico é capaz de prever corretamente 72,3% dos casos, 51,7% do grupo 0 e 83,3% do grupo 1.

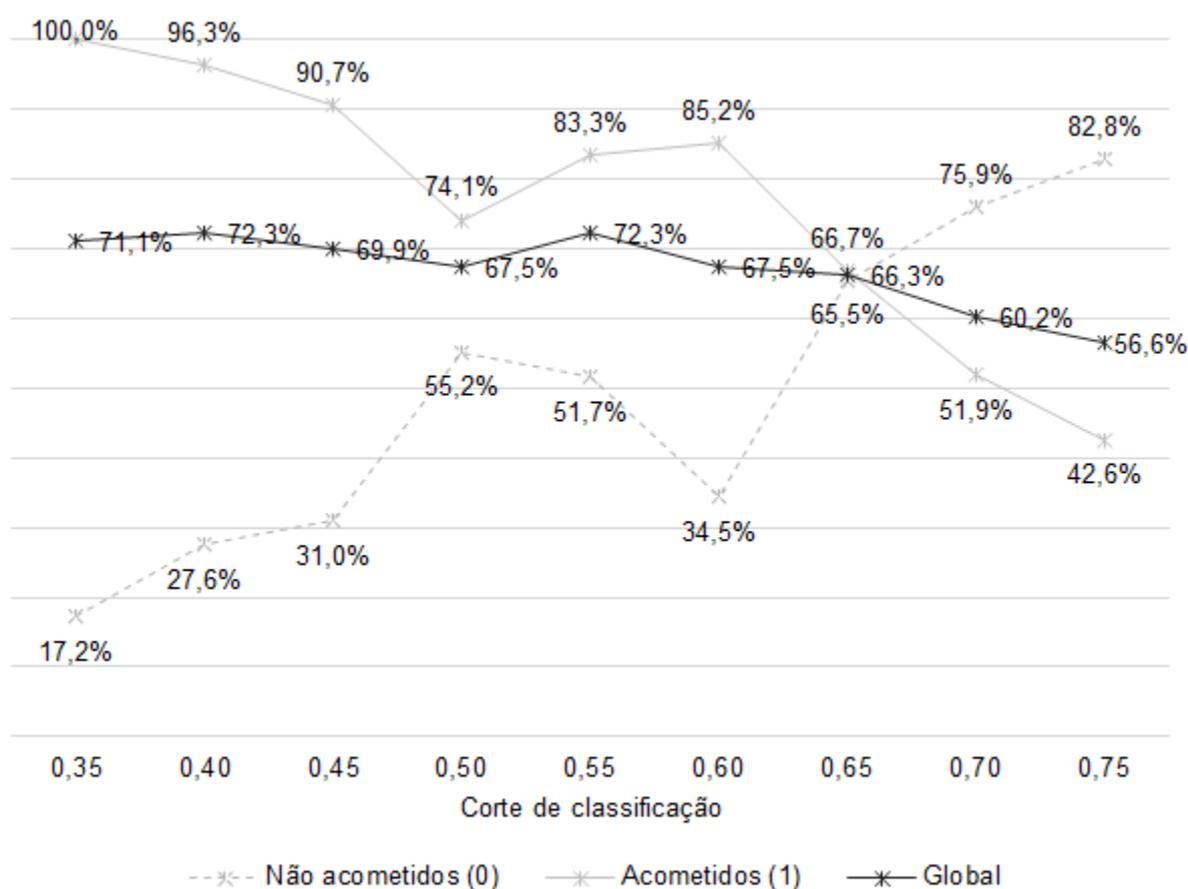


Figura 46 - Capacidade de predição do modelo logístico de acordo com o corte de classificação.

O único fator significativo na prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral foi a exposição à VCI ( $p = 0,015$ ), relacionada nesse caso à aeronave utilizada (Tabela 22). Percebe-se um aumento da razão de chance (*odds ratio*) de ocorrência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral conforme aumenta a exposição diária projetada ( $\beta = 0,281$ ).

Através da declaração condicional de probabilidade (Seção 3.3.4), tendo-se calculado os termos  $\alpha$  e  $\beta_i$ , através do prognóstico ( $D$ ) obtido pelos dados das variáveis testadas ( $X_s$ ) pode-se calcular a probabilidade dos pilotos agrícolas serem acometidos por sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral no período de acompanhamento  $T_0$  a  $T_1$  através da equação<sup>2</sup>:

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(-7,042 - 0,057X_1 + 0,101X_2 + 0,153X_3 - 0,294X_4 + 0,547X_5 + 0,656X_6 - 0,001X_7 + 0,281X_8)}}$$

Usando como exemplo os dados de  $X_1$  a  $X_7$  coletados a partir do participante nº1 (Apêndice IV), e , inserindo esses dados na equação fornecida, pode-se comparar a diferença na razão de chances desse piloto agrícola ser acometido por sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral, quando exposto à diferentes intensidades de VCI. Para isso, são utilizados os dados referentes às quatro aeronaves testadas (Apêndice II – Projeção da exposição diária a VCI em ciclos completos de aplicação aérea de defensivos para as diferentes aeronaves testadas.), substituindo os valores de  $X_8$  na equação. Considerando que este piloto agrícola tivesse voado em aeronave EMB-201A, EMB-202, AT402B ou A188B, cujas exposições médias à VCI em termos de  $VDV$   $VTV$  foram de  $18,886 \text{ m/s}^{1,75}$ ,  $18,114 \text{ m/s}^{1,75}$ ,  $15,693 \text{ m/s}^{1,75}$  e  $13,720 \text{ m/s}^{1,75}$  respectivamente, as probabilidades seriam 50,4%, 45,0%, 34,9%, e 23,6% respectivamente.

Tabela 22 - Variáveis da equação.

	<b>B</b>	<b>S.E.</b>	<b>Wald</b>	<b>GL</b>	<b>Significância</b>	<b>Odds ratio</b>
Idade	-0,057496	0,054	1,127	1	0,288	0,944
Safras	0,100520	0,064	2,460	1	0,117	1,106
IMC	0,152689	0,093	2,716	1	0,099	1,165
Tabaco (1)	-0,293630	0,552	0,283	1	0,595	0,746
Álcool (1)	0,546877	0,654	0,700	1	0,403	1,728
AF	0,656332	0,554	1,402	1	0,236	1,928
Horas	-0,001363	0,001	0,944	1	0,331	0,999
VCI	0,281209	0,116	5,860	1	<b>0,015</b>	1,325
Constante ( $\alpha$ )	-7,042245	3,758	3,513	1	0,061	0,001

Legenda:  $\beta$  = Coeficiente da constante (Intercepção), S.E. = Desvio padrão em torno do coeficiente da constante., Wald = Teste do qui-quadrado *Wald*, GL = Graus de Liberdade.

Com base na equação proposta, e, tendo como base a aeronave utilizada (a qual sabe-se a exposição média à VCI) é possível estabelecer a relação entre a quantidade de horas trabalhadas e a razão de chances de ser acometido por uma raquialgia. Na Figura 47 são apresentadas as razões de chances para acometimento de raquialgias em função das horas trabalhadas por dia, para um piloto cujos fatores pessoais e laborais se assemelham às médias da população estudada (Seção 4.3.1).

Com base no gráfico apresentado, os gestores responsáveis das empresas de aviação agrícola podem estabelecer a carga horária diária dos pilotos agrícolas com base na aeronave utilizada. O gráfico pode ser utilizado também como referência para compra de aeronaves, sendo o risco de raquialgia um importante fator para a produtividade, já que um piloto saudável pode contribuir para um trabalho mais seguro e efetivo.

#### 4.3.3 Considerações a respeito dos sintomas

Assim como no estudo McBride *et al.* [122], o foco está no efeito da exposição à

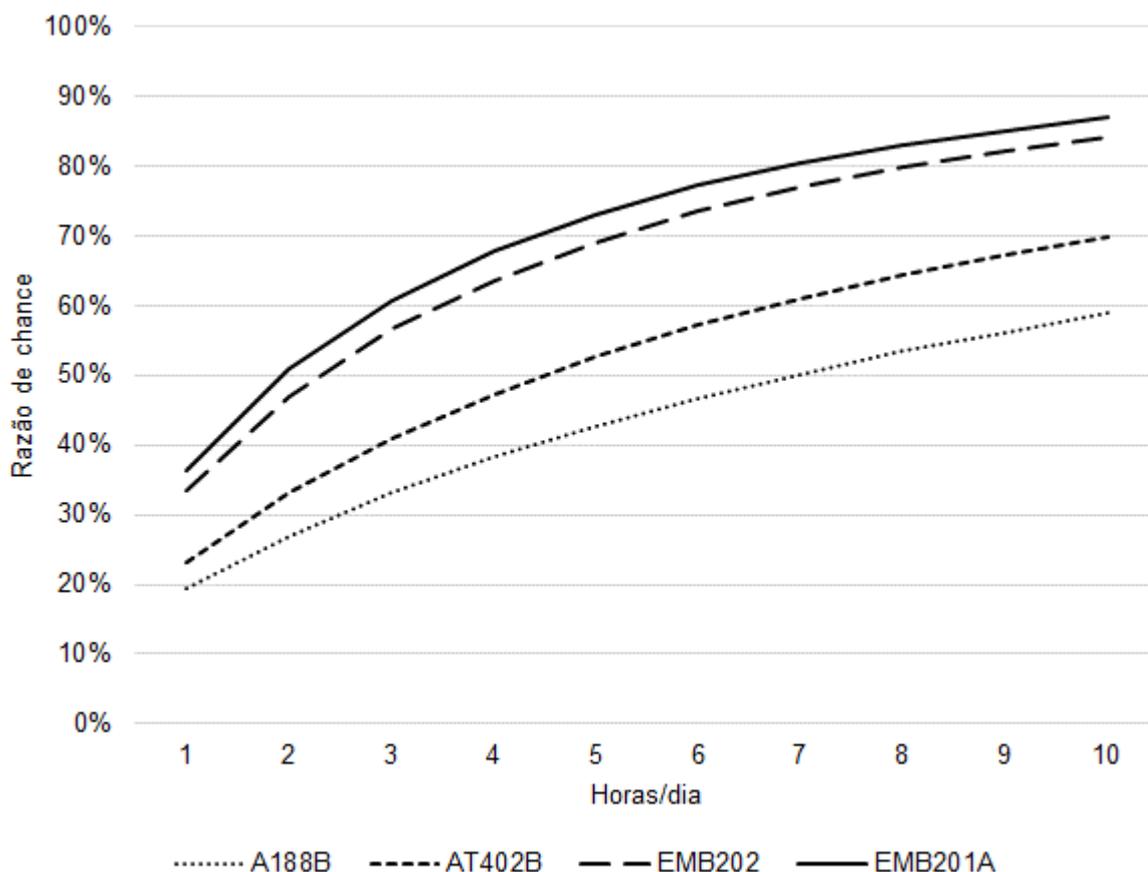


Figura 47 - Razão de chances de prognóstico de raquialgia em função das horas de voo diárias.

Nota: Considera um piloto com 37 anos de idade, IMC = 27,6 kg/m<sup>2</sup>, não fumante, que não pratica atividade física regular, com 11 safras de experiência e que voa 450 horas por safra.

VCI no prognóstico de algias na coluna vertebral. Outros estudos têm apresentado dados sobre prevalências de sintomas em regiões anatômicas mais específicas, principalmente na região lombar da coluna vertebral. No presente estudo, observou-se que 45,3% dos pilotos agrícolas apresentaram algias na coluna lombar no período de 1 ano anterior às entrevistas (prevalência 12 meses), 29,5% na coluna cervical e 17,9% na coluna torácica. De todos os pilotos agrícolas entrevistados, 62,1% apresentaram algias em alguma região da coluna vertebral.

A prevalência de lombalgia em pilotos agrícolas (45,3% dos casos) está abaixo da apresentada para outros profissionais, investigada em estudos anteriores. Exemplos incluem, mas não se limitam aos condutores de quadriciclos (67% dos casos) [81], motoristas de caminhões de entrega (50% dos casos) [90], motoristas de empilhadeiras (65,2% dos casos) [12], motoristas de ônibus (59% dos casos) [91] e taxistas (63,3% casos) [92]. Deve-se, contudo, considerar as diferenças das situações de trabalho a que esses profissionais estão expostos, em relação aos pilotos agrícolas. Isso porque a origem das algias da coluna vertebral, como por exemplo a lombalgia, é multifatorial [120], e assim, a compreensão de outros fatores relacionados com o trabalho em estudo, é fundamental.

Neste sentido, é importante salientar que o trabalho de piloto agrícola é sazonal, além de ter demanda variável durante a safra, e assim, a exposição às vibrações, bem como outros problemas relacionados com o trabalho mudam em função desta demanda. Sabe-se que a média de horas voadas no período de 12 meses é de 466,2 h  $\pm$  186,1, que é bem abaixo de outros profissionais citados, que geralmente trabalham no mínimo 200 horas por mês. Dessa forma, não é surpreendente que as horas de voo nos últimos 12 meses ( $X_7$ ) não tenham apresentado efeito significativo no modelo de predição.

No presente estudo, foram testados 8 fatores: idade ( $X_1$ ), experiência profissional ( $X_2$ ), IMC ( $X_3$ ), consumo de tabaco ( $X_4$ ), consumo de álcool ( $X_5$ ), atividade física regular ( $X_6$ ), horas de voo nos 12 meses ( $X_7$ ), e, exposição diária à VCI ( $X_8$ ). Esses fatores foram responsáveis pela predição das algias da coluna vertebral em 72,3% dos casos para pilotos agrícolas. Apesar disso, apenas a exposição à VCI apresentou efeito significativo para o prognóstico de dor na coluna vertebral de pilotos agrícolas.

Essa exposição também se apresentou significativa no estudo de Rozali *et al.* [13], contudo, os autores relatam o efeito significativo também para postura sentada com flexão das costas. Por outro lado, Kâsin *et al.* [78], relatam exposição ocupacional de pilotos de helicóptero a VCI abaixo do *EAV*, e, mesmo assim, eles apresentaram alta prevalência de

lombalgias. Nesse caso, Kåsin *et al.* [78] concluíram da possibilidade de as posturas adotadas pelos pilotos de helicóptero aumentarem o risco de dor lombar, quando combinadas com a exposição a VCI. Estudos das posturas adotadas pelos pilotos agrícolas não foram encontradas na literatura, contudo, em vista dos relatos de estudos anteriores, é possível que também influenciem de forma significativa no prognóstico de algias na coluna vertebral.

Outro exemplo inclui motoristas de entregas (*delivery*) que, além da exposição à VCI, adotam posturas de torção de tronco e pescoço e executam levantamento e transporte de cargas com frequência [80], [90]. Milosavljevic *et al.* [81] argumentam que, além da exposição a níveis muito elevados de VCI durante o uso diário de quadriciclos, a combinação com uma postura desfavorável e tarefas de trabalho fisicamente exigentes é provavelmente um fator de risco significativo para o desenvolvimento da lombalgia ocupacional.

Sabe-se que em função da sazonalidade das operações, em determinados períodos da safra, os pilotos chegam a voar por até 12 horas por dia sob pressão por prazos de produção, seja por parte dos clientes, seja por parte dos empregadores. Nesse tipo de situação, a exposição às vibrações é maior do que o relatado nesse estudo (Seção 4.2.1), já que foi considerada a projeção para uma exposição diária de 8 horas apenas. De acordo com os limites estabelecidos pelas normas vigentes, é de se esperar que situações de exposição diária superior a 8 horas pode levar ao prognóstico de algias da coluna vertebral, visto que o *EAV* é ultrapassado na maioria das situações.

Além da caracterização da população de pilotos agrícolas brasileiros, seja das características pessoais e laborais como do prognóstico de dores, uma contribuição de importância desse estudo é a possibilidade de se calcular a probabilidade de os pilotos agrícolas serem acometidos por sintomas musculoesqueléticos de acordo com as oito variáveis testadas. Profissionais de saúde e segurança do trabalho, bem como gestores de segurança operacional podem valer-se da equação fornecida para gerenciar o tempo de exposição dos pilotos de acordo com suas características pessoais e laborais. Considere que a exposição diária pode ser reduzida com a redução das horas de voo, e, assim, pode-se estabelecer o tempo máximo de voo diário para cada piloto, para que a razão de chances não ultrapasse 50%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa tese foram levantadas informações sobre a exposição dos pilotos agrícolas à VCI, bem como sobre a prevalência de sintomas musculoesqueléticos da coluna vertebral. No que concerne ao estado da arte, não foram encontrados estudos anteriores dedicados ao conhecimento das condições de saúde dos pilotos agrícolas, especificamente ao prognóstico de algias da coluna vertebral. Contudo, com a abrangência de estudos com outras classes trabalhadoras, foi possível estabelecer os requisitos necessários para condução da pesquisa exploratória, tanto no que diz respeito à coleta quanto à análise dos dados.

Da primeira etapa de coleta de dados, direcionada às condições da superfície das áreas de pouso, foi possível identificar perfis de rugosidade variáveis, caracterizando-as como de manutenção frequente ou não. Além do efeito significativo da manutenção das áreas de pouso na exposição ocupacional à VCI, é possível que se direcione estudos para avaliar o efeito dessas condições na degradação das aeronaves, bem como na ocorrência de incidentes e acidentes. Além disso, a metodologia de coleta de dados de rugosidade superficial pode ser utilizada para comparações objetivas quando testando a exposição ocupacional à VCI, mesmo que, com estudos para diferentes veículos.

Da exposição ocupacional à VCI, o conhecimento dos fatores significativos, etapa do voo e rugosidade da superfície das áreas de pouso, podem auxiliar na gestão da saúde ocupacional. Sabendo-se da exposição para cada etapa, e a variação decorrente das condições de manutenção das áreas de pouso para cada aeronave testada, é possível projetar um perfil de exposição para cada aplicação aérea de defensivos agrícolas conhecendo os tempos necessários para tal. Isso pode ajudar a reduzir os sintomas relacionados à coluna vertebral, normalmente relatados por pilotos agrícolas.

O resultado apresentado é único no que diz respeito à saúde ocupacional dos pilotos agrícolas, prejudicada pela exposição prolongada à VCI, e, em intensidades que por vezes são superiores aos limites de ação estabelecidos pelas normas regulamentadoras. Sabendo-se que a exposição à VCI é significativa para o prognóstico de algias da coluna vertebral, é possível que se controle a prevalência com ações de controle da exposição às vibrações, que pode ser feita tanto no controle do tempo de voo, quanto na melhoria das aeronaves e áreas de pouso.

De forma complementar, foi possível identificar diversas lacunas de pesquisa, não priorizadas no presente estudo. Como por exemplo, os sintomas relatados em outras regiões anatômicas, como por exemplo joelhos que se mostrou superior que a coluna lombar (prevalência de 47,4% para joelhos e 45,3% para coluna lombar), e ombros (prevalência de

26,3%). Esses sintomas podem estar relacionados às posturas adotadas, bem como a força realizada e a exposição às vibrações de mãos e braços. Além dos efeitos na saúde, a VCI pode estar relacionada com o desempenho dos pilotos, que pode ser caracterizada pelo aumento da fadiga, fator normalmente relacionado com acidentes. Outro dado marcante na pesquisa foi o consumo de álcool relatado pelos participantes (78,9%) em contraste com a prática de atividades físicas (45,6%). Esses dados podem estar relacionados a fatores psicossociais, como a falta de opções de repouso e lazer, já que os profissionais, em sua maioria, são afastados do ambiente familiar durante o período de trabalho. As mudanças de ambiente causadas pela sazonalidade das operações podem ser desgastantes, e criar dificuldades para se manter uma rotina de atividades físicas e outras práticas saudáveis.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANAC, “Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 137 - RBAC 137 - Certificação e requisitos operacionais: Operações Aeroagrícolas.” Agência Nacional de Aviação Civil, 2012.
- [2] MAPA, “Dia Nacional da Aviação Agrícola - 19 de agosto,” *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*, 2013. [Online]. Available: <http://www.agricultura.gov.br>. [Accessed: 03-Nov-2014].
- [3] ISO, “ISO 2631-1:1997—Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration. Part 1—General Requirements,” International Standards Organisation, Geneva, Switzerland, 1997.
- [4] M.-S. Park, T. Fukuda, T. Kim, and S. Maeda, “Health Risk Evaluation of Whole-body Vibration by ISO 2631-5 and ISO 2631-1 for Operators of Agricultural Tractors and Recreational Vehicles,” *Ind. Health*, vol. 51, no. 3, pp. 364–370, 2013.
- [5] R. Wolfgang and R. Burgess-Limerick, “Whole-body vibration exposure of haul truck drivers at a surface coal mine.,” *Appl. Ergon.*, vol. 45, no. 6, pp. 1–5, Dec. 2014.
- [6] M. P. H. Smets, T. R. Eger, and S. G. Grenier, “Whole-body vibration experienced by haulage truck operators in surface mining operations: a comparison of various analysis methods utilized in the prediction of health risks.,” *Appl. Ergon.*, vol. 41, no. 6, pp. 763–70, Oct. 2010.
- [7] E. Johanning, “Vibration and shock exposure of maintenance-of-way vehicles in the railroad industry.,” *Appl. Ergon.*, vol. 42, no. 4, pp. 555–62, May 2011.
- [8] X. Zhao and C. Schindler, “Evaluation of whole-body vibration exposure experienced by operators of a compact wheel loader according to ISO 2631-1:1997 and ISO 2631-5:2004,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 44, no. 6, pp. 840–850, Nov. 2014.
- [9] M. W. Sayers, T. D. Gillespie, and C. A. V. Queiroz, “The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements - World Bank Technical Paper,” The International Bank for Reconstruction and Development/ THE WORLD BANK, Washington, D.C., 1986.
- [10] P. Litchfield, “Noise and vibration,” in *ABC of occupational and environmental medicine*, 2<sup>a</sup>., D. Snashall and D. Patel, Eds. London: BMJ, 2003, pp. 65–71.
- [11] M. Bovenzi, “A Longitudinal Study of Low Back Pain and Daily Vibration Exposure in Professional Drivers,” *Ind. Health*, vol. 48, pp. 584–595, 2010.
- [12] J. Hoy, N. Mubarak, S. Nelson, M. Sweerts de Landas, M. Magnusson, O. Okunribido, and M. Pope, “Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers,” *J. Sound Vib.*, vol. 284, no. 3–5, pp. 933–946, Jun. 2005.
- [13] A. Rozali, K. G. Rampal, M. T. Shamsul Bahri, M. S. Sherina, S. Shamsul Azhar, H. Khairuddin, and A. Sulaiman, “Low back pain and association with whole body vibration among military armoured vehicle drivers in Malaysia,” *Med. J. Malaysia*, vol. 64, no. 3, pp. 197–204, 2009.
- [14] I. J. H. Tiemessen, C. T. J. Hulshof, and M. H. W. Frings-Dresen, “Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern.,” *Occup. Environ. Med.*, vol. 65, no. 10, pp. 667–75, Oct. 2008.

- [15] N. Rice, R. Messing, L. Souther, and Z. Berkowitz, “Unplanned releases and injuries associated with aerial application of chemicals, 1995-2002,” *J. Environ. Health*, vol. 68, no. 4, pp. 14–18, Nov. 2005.
- [16] A. K. Chaturvedi, “Aerospace toxicology overview: aerial application and cabin air quality,” *Rev Env. Contam Toxicol*, vol. 214, pp. 15–40, Jan. 2011.
- [17] M. J. Griffin, *Handbook of human vibration*. London: Academic Press, 1990.
- [18] European Commission, “Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration).” 2002.
- [19] ANAC, “Portaria N°190/GC5.” 2001.
- [20] SINDAG, “Aviação Agrícola no Brasil,” *Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola*, 2014. [Online]. Available: <http://www.sindag.org.br/web/site/xhtml/content/biblioteca/historia.aspx?section=MAABrasil>. [Accessed: 03-Nov-2014].
- [21] Brasil, “Decreto n° 56.584, de 20 de Julho de 1965.” Brasília, 1965.
- [22] Brasil, “Decreto-Lei n° 917.” Brasília, 1969.
- [23] Brasil, “Decreto n° 86.765, de 22 de dezembro de 1981.” Brasília, 1981.
- [24] Brasil, “Decreto n° 97.669, de 19 de abril de 1989.” Brasília, 1989.
- [25] N. B. Akesson and W. E. Yates, *The Use of Aircraft in Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1974.
- [26] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2007,” Rio de Janeiro, 2006.
- [27] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2008,” Rio de Janeiro, 2007.
- [28] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2006,” Rio de Janeiro, 2005.
- [29] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2009,” Rio de Janeiro, 2008.
- [30] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2010,” Rio de Janeiro, 2009.
- [31] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2011,” Rio de Janeiro, 2010.
- [32] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2012,” Rio de Janeiro, 2011.
- [33] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2013,” Rio de Janeiro, 2012.
- [34] IBGE, “Levantamento sistemático da produção agrícola: Prognóstico da produção agrícola nacional para 2014,” Rio de Janeiro, 2013.
- [35] J. Orasanu and T. Connolly, “The reinvention of decision making,” in *Decision making in action: models and methods*, G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, and C. E.

- Zsombok, Eds. Norwood: Ablex, 1993, pp. 3–20.
- [36] A. J. de Voogt, S. Uitdewilligen, and N. Eremenko, “Safety in high-risk helicopter operations: The role of additional crew in accident prevention,” *Saf. Sci.*, vol. 47, no. 5, pp. 717–721, 2009.
- [37] C. E. Billings Jr., “Medical and environmental problems in agricultural aviation,” *Aerosp. Med.*, vol. 34, no. 5, pp. 406–408, May 1963.
- [38] M. Zanatta, F. G. Amaral, and L. L. Tasca, “A systematic review about work-related problems incurred by agricultural pilots,” in *19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2015)*, 2015.
- [39] Mateus Zanatta and M. Zanatta, “Condições ambientais e seus efeitos na segurança e saúde ocupacional de pilotos agrícolas,” Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- [40] J. P. North and R. D. Hightower, “Crop dusting injuries,” *Am. J. Surg.*, vol. 93, no. 4, pp. 609–612, Apr. 1957.
- [41] H. De Haven, “Development of crash-survival design in personal, executive and agricultural aircraft,” Cornell University Medical College, New York, 1953.
- [42] G. M. Bruggink, A. C. Barnes, and L. W. Gregg, “Injury Reduction Trends in Agricultural Aviation,” *Aerosp. Med.*, vol. 35, no. May, pp. 472–475, May 1964.
- [43] D. Baruch, “Some Medical Aspects in Agricultural Flights Relating to Fatigue Among Agricultural Pilots,” *Aerosp. Med.*, vol. 41, no. 4, pp. 447–450, 1970.
- [44] E. Richter, M. Gordon, M. Halamish, and B. Gribetz, “Death and injury in aerial spraying: Pre-crash, crash, and post crash prevention strategies,” *Aviat. Space. Environ. Med.*, no. 4, pp. 53–56, 1981.
- [45] S. R. Mohler, “Agricultural aviation medicine in the Soviet Union,” *Aviat. Sp. Environ. Med.*, vol. 51, no. 5, pp. 515–517, May 1980.
- [46] C. Hall, “Agricultural pilot safety in Australia: A survey,” *Aviat. Sp. Environ. Med.*, vol. 62, no. 3, pp. 258–260, Mar. 1991.
- [47] K. P. Cantor and W. Silberman, “Mortality among aerial pesticide applicators and flight instructors: Follow-up from 1965-1988,” *Am. J. Ind. Med.*, vol. 36, no. 2, pp. 239–247, 1999.
- [48] A. C. Gerry, X. F. Zhang, G. Leng, A. D. Inman, and R. I. Krieger, “Low pilot exposure to Pyrethrin during ultra-low-volume (ULV) aerial insecticide application for control of adult mosquitoes,” *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, vol. 21, no. 3, pp. 291–295, 2005.
- [49] L. B. Minasi, E. O. A. Costa, D. M. Silva, C. O. A. Melo, J. G. de Almeida, T. C. Vieira, R. L. Silva Júnior, C. L. Ribeiro, C. C. da Silva, A. D. da Cruz, and R. L. Silva Junior, “Cytogenetic damage in the buccal epithelium of Brazilian aviators occupationally exposed to agrochemicals,” *Genet. Mol. Res.*, vol. 10, no. 4, pp. 3924–3929, Dec. 2011.
- [50] K. C. Parsons, “Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models,” *Appl. Ergon.*, vol. 31, no. 6, pp. 581–94, Dec. 2000.
- [51] J. Ribak, B. Malenky, and R. Shain, “Special Aviation Environments,” in *Occupational*

- Health in Aviation*, J. Ribak, R. B. Rayman, and P. Froom, Eds. San Diego: Academic Press, 1995, pp. 179–188.
- [52] ANAC, “Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 67 - RBAC 67 - Requisitos para concessão de certificados médicos aeronáuticos, para o credenciamento de médicos e clínicas e para o convênio com entidades públicas.” Agência Nacional de Aviação Civil, Rio de Janeiro, 2011.
- [53] SSST, “Instrução Normativa SSST/MTB nº 1, de 11 de abril de 1994.” Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho, Brasília, 1994.
- [54] MTE, “Norma Regulamentadora nº 9 – NR-9: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais,” no. 9. Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília, 1994.
- [55] MTE, “Norma regulamentadora nº 7 – NR-7: Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional,” no. 7. Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília, 2013.
- [56] MTE, “NR15 - Atividades e operações insalubres,” Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília, 2014.
- [57] Ministério da Saúde do Brasil, *Doenças relacionadas ao trabalho: Manual de procedimentos para os serviços de saúde*. Brasília: Editora MS, 2001.
- [58] BSI, “BS 6841:1987—Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock,” 1987.
- [59] ISO, “ISO 8041:2005—Human response to vibration—Measuring instrumentation,” Geneva, Switzerland, 2005.
- [60] MTE, “Norma de Higiene Ocupacional 09 (NHO 09): Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro—procedimento técnico,” FUNDACENTRO/Ministério do Trabalho e Emprego, São Paulo, 2013.
- [61] ISO, “ISO 2631-5:2004—Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks,” International Standards Organisation, Geneva, Switzerland, 2004.
- [62] A. G. Mayton, C. C. Jobes, and S. Gallagher, “Assessment of whole-body vibration exposures and influencing factors for quarry haul truck drivers and loader operators,” *Int. J. Heavy Veh. Syst.*, vol. 21, no. 3, pp. 241–261, 2014.
- [63] A. G. Mayton, N. K. Kittusamy, D. H. Ambrose, C. C. Jobes, and M. L. Legault, “Jarring/jolting exposure and musculoskeletal symptoms among farm equipment operators,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 38, no. 9–10, pp. 758–766, Sep. 2008.
- [64] L. Solecki, “Preliminary Recognition of Whole Body Vibration Risk,” *Ann Agric Env. Med*, pp. 299–304, 2007.
- [65] R. P. Blood, J. D. Ploger, and P. W. Johnson, “Whole body vibration exposures in forklift operators: comparison of a mechanical and air suspension seat.,” *Ergonomics*, vol. 53, no. 11, pp. 1385–94, Nov. 2010.
- [66] R. Motmans, “Reducing whole body vibration in forklift drivers.,” *Work*, vol. 41 Suppl 1, pp. 2476–81, Jan. 2012.
- [67] O. Thamsuwan, R. P. Blood, R. P. Ching, L. Boyle, and P. W. Johnson, “Whole body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a

- low-floor city bus,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 43, no. 1, pp. 9–17, Jan. 2013.
- [68] P. M. G. Jonsson, P. W. Rynell, M. Hagberg, and P. W. Johnson, “Comparison of whole-body vibration exposures in buses: effects and interactions of bus and seat design,” *Ergonomics*, pp. 1–10, Oct. 2014.
- [69] C. A. Lewis and P. W. Johnson, “Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers,” *Occup. Med. (Lond.)*, vol. 62, no. 7, pp. 519–24, Oct. 2012.
- [70] R. P. Blood, J. D. D. Ploger, M. G. G. Yost, R. P. P. Ching, and P. W. W. Johnson, “Whole body vibration exposures in metropolitan bus drivers: A comparison of three seats,” *J. Sound Vib.*, vol. 329, no. 1, pp. 109–120, Jan. 2010.
- [71] E. Johanning, P. Landsbergis, S. Fischer, E. Christ, B. Göres, and R. Lührman, “Whole-body vibration and ergonomic study of US railroad locomotives,” *J. Sound Vib.*, vol. 298, no. 3, pp. 594–600, Dec. 2006.
- [72] G. Birlik, “Occupational exposure to whole body vibration-train drivers,” *Ind. Health*, vol. 47, pp. 5–10, 2009.
- [73] N. K. Cooperrider and J. J. Gordon, “Shock and impact levels on North American locomotives,” *J. Sound Vib.*, vol. 318, no. 4–5, pp. 809–819, Dec. 2008.
- [74] G. S. Newell, N. J. Mansfield, and L. Notini, “Inter-cycle variation in whole-body vibration exposures of operators driving track-type loader machines,” *J. Sound Vib.*, vol. 298, no. 3, pp. 563–579, Dec. 2006.
- [75] R. P. Blood, P. W. Rynell, and P. W. Johnson, “Whole-body vibration in heavy equipment operators of a front-end loader: role of task exposure and tire configuration with and without traction chains,” *J. Safety Res.*, vol. 43, no. 5–6, pp. 357–364, Dec. 2012.
- [76] S. Cation, R. Jack, M. Oliver, J. P. Dickey, and N. K. Lee-Shee, “Six degree of freedom whole-body vibration during forestry skidder operations,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 38, no. 9–10, pp. 739–757, Sep. 2008.
- [77] R. J. Jack, M. Oliver, J. P. Dickey, S. Cation, G. Hayward, and N. Lee-Shee, “Six-degree-of-freedom whole-body vibration exposure levels during routine skidder operations,” *Ergonomics*, vol. 53, no. 5, pp. 696–715, May 2010.
- [78] J. I. Kåsin, N. Mansfield, and A. Wagstaff, “Whole body vibration in helicopters: risk assessment in relation to low back pain,” *Aviat. Space. Environ. Med.*, vol. 82, no. 8, pp. 790–6, Aug. 2011.
- [79] L. A. Kurtz, P. Vi, and D. K. Verma, “Occupational exposures to hand-arm vibration, whole-body vibration, and noise among crane operators in construction: a pilot study,” *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 9, no. 6, pp. D117-22, Jan. 2012.
- [80] R. P. Blood, P. W. Rynell, and P. W. Johnson, “Vehicle design influences whole body vibration exposures: effect of the location of the front axle relative to the cab,” *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 8, no. 6, pp. 364–74, Jun. 2011.
- [81] S. Milosavljevic, F. Bergman, B. Rehn, and A. B. Carman, “All-terrain vehicle use in agriculture: Exposure to whole body vibration and mechanical shock,” *Appl. Ergon.*, vol. 41, no. 4, pp. 530–535, Jul. 2010.
- [82] B. Rehn, R. Lundström, L. Nilsson, I. Liljelind, and B. Järholm, “Variation in

- exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles - Aspects on measurement strategies and prevention,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 35, pp. 831–842, 2005.
- [83] T. Eger, J. Stevenson, P.-É. Boileau, and A. Salmoni, “Predictions of health risks associated with the operation of load-haul-dump mining vehicles: Part 1—Analysis of whole-body vibration exposure using ISO 2631-1 and ISO-2631-5 standards,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 38, no. 9–10, pp. 726–738, Sep. 2008.
- [84] S. J. Gaydos, “Low back pain: Considerations for rotary-wing aircrew,” *Aviat. Sp. Environ. Med.*, vol. 83, no. 9, pp. 879–889, 2012.
- [85] A. G. Mayton, F. Amirouche, and C. C. Jobses, “Comparison of seat designs for underground mine haulage vehicles using the absorbed power and ISO 2631-1(1985)-based ACGIH threshold limit methods,” *Int. J. Heavy Veh. Syst.*, vol. 12, no. 3, p. 225, 2005.
- [86] S. D. Smith, “Seat vibration in military propeller aircraft: Characterization, exposure assessment, and mitigation,” *Aviat. Sp. Environ. Med.*, vol. 77, no. 1, pp. 32–40, 2006.
- [87] S. D. Smith, “Dynamic characteristics and human perception of vibration aboard a military propeller aircraft,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 38, no. 9–10, pp. 868–879, Sep. 2008.
- [88] B.-O. Wikström, A. Kjellberg, and U. Landström, “Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration : A review,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 14, pp. 273–292, 1994.
- [89] M. Bovenzi and C. Hulshof, “An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain,” *J. Sound Vib.*, vol. 215, no. 4, pp. 595–611, Sep. 1998.
- [90] O. O. Okunribido, M. Magnusson, and M. Pope, “Delivery drivers and low-back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 36, no. 3, pp. 265–273, Mar. 2006.
- [91] O. O. Okunribido, S. J. Shimbles, M. Magnusson, and M. Pope, “City bus driving and low back pain: a study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration.,” *Appl. Ergon.*, vol. 38, no. 1, pp. 29–38, Jan. 2007.
- [92] O. O. Okunribido, M. Magnusson, and M. H. H. Pope, “Low back pain in drivers: The relative role of whole-body vibration, posture and manual materials handling,” *J. Sound Vib.*, vol. 298, no. 3, pp. 540–555, Dec. 2006.
- [93] E. Hartman, H. H. E. Oude Vrielink, J. H. M. Metz, and R. B. M. Huirne, “Exposure to physical risk factors in Dutch agriculture: Effect on sick leave due to musculoskeletal disorders,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 35, no. 11, pp. 1031–1045, Nov. 2005.
- [94] M. Kuisma, J. Karppinen, J. Niinimäki, R. Ojala, M. Haapea, M. Heliövaara, R. Korpelainen, S. Taimela, A. Natri, and O. Tervonen, “Modic changes in endplates of lumbar vertebral bodies: prevalence and association with low back and sciatic pain among middle-aged male workers,” *Spine (Phila. Pa. 1976)*, vol. 32, no. 10, pp. 1116–22, May 2007.
- [95] N. Özkaya, M. Nordin, D. Goldsheyder, and D. Leger, *Fundamentals of Biomechanics: Equilibrium, Motion, and Deformation*, 3<sup>a</sup>. Springer, 2000.

- [96] J. Natour, *Coluna vertebral: Conhecimentos básicos*. Sociedade Brasileira de Reumatologia/Etcetera, 2004.
- [97] J. Watkins, *Structure and Function of the Musculoskeletal System*, 2<sup>a</sup>. Human Kinetics, 2009.
- [98] R. M. V. da Silva, M. S. de Lima, F. H. Costa, and A. C. da Silva, “Efeitos da quiropraxia em pacientes com cervicalgia: revisão sistemática,” *Rev Dor.*, vol. 13, no. 1, pp. 71–74, 2012.
- [99] M. J. Teixeira, T. de B. Filho, L. T. Yeng, C. Hamani, and W. G. J. Teixeira, “Cervicalgias,” *Rev. Med.*, vol. 80, no. 2, pp. 307–316, 2001.
- [100] L. Punnett, ã. A. Pru, M. a Fingerhut, J. Leigh, and S. Tak, “Estimating the Global Burden of Low Back Pain Attributable to Combined Occupational Exposures,” *Am. J. Ind. Med.*, vol. 469, no. September, pp. 459–469, 2005.
- [101] A. Burdorf and C. T. J. Hulshof, “Modelling the effects of exposure to whole-body vibration on low-back pain and its long-term consequences for sickness absence and associated work disability,” *J. Sound Vib.*, vol. 298, no. 3, pp. 480–491, Dec. 2006.
- [102] G. E. Ehrlich, “Low back pain.” *Bull. World Health Organ.*, vol. 81, no. 9, pp. 671–676, Nov. 2003.
- [103] J. L. Kelsey and A. A. White III, “Epidemiology and impact of low-back pain,” *Spine (Phila. Pa. 1976)*, vol. 5, no. 2, pp. 133–142, 1980.
- [104] B. F. Walker, “The prevalence of low back pain: a systematic review of the literature from 1966 to 1998,” *J. Spinal Disord. Tech.*, vol. 13, no. 3, pp. 205–217, 2000.
- [105] D. L. Goetsch, *Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers*, 7<sup>a</sup>. Prentice Hall, 2011.
- [106] MES, “Portaria nº 1339, de 18 de Novembro de 1999.” Ministério de Estado da Saúde, Brasília, 1999.
- [107] J.-C. Chen, W.-R. Chang, W. Chang, and D. Christiani, “Occupational factors associated with low back pain in urban taxi drivers.” *Occup. Med. (Lond)*, vol. 55, no. September, pp. 535–540, 2005.
- [108] I. Kuorinka, B. Jonsson, A. Kilbom, H. Vinterberg, F. Biering-Sørensen, G. Andersson, and K. Jørgensen, “Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms,” *Appl. Ergon.*, vol. 18, no. 3, pp. 233–237, Sep. 1987.
- [109] I. Iida, *Ergonomia: Projeto e produção*. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- [110] L. B. Bernucci, L. M. G. da Motta, J. A. P. Ceratti, and J. B. Soares, *Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobras & Associação Brasileira das empresas Distribuidoras de Asfaltos, 2008.
- [111] M. W. Sayers, T. D. Gillespie, and W. D. . Paterson, *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*, no. 46. 1986.
- [112] DNER, “DNER-ES173/86.” Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1986.
- [113] DNER, “DNER-PRO182/94.” Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994.
- [114] T. D. Gillespie, M. W. Sayers, and L. Segel, “Calibration and correlation of response-type road roughness measuring systems,” 1980.

- [115] M. W. Sayers and S. M. Karamihas, *The little book of profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*. University of Michigan, 1998.
- [116] M. A. Cundill, “The MERLIN low-cost road roughness measuring machine,” Crowthorne, 1991.
- [117] M. A. Cundill, “The MERLIN road roughness machine : Users guide,” Crowthorne, 1996.
- [118] I. Seidman, *Interviewing as Qualitative Research: A Guide for Researchers in Education and the Social Sciences*, 3<sup>a</sup>. Teachers College Press, 2005.
- [119] R. S. Weiss, *Learning From Strangers: The Art and Method of Qualitative Interview Studies*, 1<sup>a</sup>. Simon and Schuster, 1995.
- [120] M. Bovenzi, F. Rui, C. Negro, F. D’Agostin, G. Angotzi, S. Bianchi, L. Bramanti, G. Festa, S. Gatti, I. Pinto, L. Rondina, N. Stacchini, F. D’Agostin, G. Angotzi, S. Bianchi, L. Bramanti, G. Festa, S. Gatti, I. Pinto, L. Rondina, and N. Stacchini, “An epidemiological study of low back pain in professional drivers,” *J. Sound Vib.*, vol. 298, no. 3, pp. 514–539, Dec. 2006.
- [121] D. G. Kleinbaum and M. Klein, *Logistic Regression: A Self-Learning Text*, 3rd ed. Springer, 2010.
- [122] D. McBride, S. Paulin, G. P. Herbison, D. Waite, and N. Bagheri, “Low back and neck pain in locomotive engineers exposed to whole-body vibration.,” *Arch. Environ. Occup. Health*, vol. 69, no. 4, pp. 207–13, Jan. 2014.
- [123] M. Gordon and I. Hirsch, “New issues in agricultural spraying in Israel.,” *Aviat. Space. Environ. Med.*, vol. 57, no. 6, pp. 610–612, Jun. 1986.
- [124] H. R. Quantick, “Safety aspects of the aerial application of pesticides,” *Aeronautical J.*, vol. 83, no. 821, pp. 175–182, 1979.
- [125] G. A. Ryan and J. D. Dougherty, “Epidemiology of aerial application accidents.,” *Aerosp. Med.*, vol. 40, no. 3, pp. 304–309, Mar. 1969.
- [126] I. T. Perry, “Some aspects of agricultural aviation in Australia,” *Chem. Ind.*, no. 52, pp. 1857–1858, 1969.
- [127] G. a Reich and W. H. Berner, “Aerial application accidents 1963 to 1966. An analysis of the principal factors.,” *Arch. Environ. Health*, vol. 17, no. 5, pp. 776–784, Nov. 1968.
- [128] B. Rehn, T. Nilsson, B. Olofsson, and R. Lundström, “Whole-body vibration exposure and non-neutral neck postures during occupational use of all-terrain vehicles.,” *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 49, no. 3, pp. 267–75, Apr. 2005.

## APÊNDICE I – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

### PESQUISA NACIONAL SOBRE SAÚDE DE PILOTOS AGRÍCOLAS

Prezado participante, você está sendo convidado (a) a participar da pesquisa nomeada **Relação entre a exposição ocupacional à Vibração de Corpo Inteiro e a ocorrência de sintomas musculoesqueléticos em pilotos agrícolas brasileiros**, desenvolvida por **Mateus Zanatta**, aluno de Doutorado em Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sob orientação do **Professor Dr. Fernando Gonçalves Amaral**. O objetivo do estudo é: **relacionar a exposição à Vibração de Corpo Inteiro com a prevalência de sintomas musculoesqueléticos em pilotos agrícolas brasileiros**. O convite a sua participação se deve a sua atuação e experiência profissional, sendo esta voluntária e com plena autonomia para participar ou não, bem como retirar-se a qualquer momento. Serão garantidas a confidencialidade e a privacidade das informações prestadas. Qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados, e o material será armazenado em local seguro. A qualquer momento, durante a pesquisa, ou posteriormente, você poderá solicitar informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados no final deste termo. A sua participação consistirá em prestar informações através de uma entrevista, onde você informará sobre sua atuação profissional, no que diz respeito às características do trabalho e sintomas relacionados à sua atuação profissional. O tempo necessário para realização da entrevista deve variar de 5 a 10 minutos. Ao responder as questões da entrevista, você pode se sentir exposto, e com receio ou até medo em função de que estas informações possam “vazar”, chegando às mãos de órgãos regulamentadores. Contudo, o pesquisador garante com este termo, que a coleta de dados é segura, e os dados são sigilosos. Os dados coletados serão armazenados em arquivos digitais, salvos em uma unidade virtual com acesso restrito unicamente pelo pesquisador e seu orientador. Estes dados serão guardados durante cinco anos após o término da pesquisa e, em seguida serão apagados. Os resultados serão divulgados de forma que seja impossível identificar qualquer um dos participantes da pesquisa. A sua participação não implica em nenhum custo para você, nem para a empresa onde você trabalha. Caso você não queira participar da pesquisa, ou mesmo queira se retirar durante o andamento desta, isto não causará nenhum prejuízo a sua carreira profissional ou vínculo empregatício. O benefício da sua participação na pesquisa é promover

o conhecimento da situação atual de trabalho dos pilotos agrícolas, permitindo assim direcionar pesquisas futuras para resolução de problemas relacionados com o trabalho de piloto agrícola. Os resultados serão divulgados ao público participante através de relatório a ser enviado por e-mail e para o público acadêmico através de artigos científicos.

Ciente dos termos acima descritos, você aceita participar da pesquisa?

**APÊNDICE II – PROJEÇÃO DA EXPOSIÇÃO DIÁRIA A VCI EM CICLOS COMPLETOS DE APLICAÇÃO AÉREA DE DEFENSIVOS PARA AS DIFERENTES AERONAVES TESTADAS.**

<b>Aeronave</b>	<b>#</b>	<b>A(8)</b>	<b>RMS VTV</b>	<b>VDV Max</b>	<b>VDV VTV</b>	<b>FC Max</b>
EMB-201A	01	0,776*	1,088*	18,656	26,423*	12,337**
	02	0,400	0,540*	10,561	13,617	12,301**
	03	0,386	0,540*	10,090	13,110	11,168**
	04	0,440	0,603*	12,210	15,895	12,214**
	05	0,419	0,591*	10,838	14,879	11,989**
	06	0,474	0,794*	10,771	16,574	10,438**
	07	0,479	0,805*	10,954	17,358	12,412**
	08	0,561*	0,899*	22,828*	33,229*	48,426**
	Média	0,492	0,733*	13,364	18,886	16,411**
	DP	0,127	0,198	4,727	7,135	12,955
	Variância	0,016	0,039	22,342	50,905	167,825
EMB-202	01	0,580*	0,674*	16,358	18,490	13,030**
	02	0,759*	1,114*	17,149	24,730*	11,036**
	03	0,749*	1,086*	16,124	23,668*	12,670**
	04	0,619*	0,918*	16,019	21,992*	9,044**
	05	0,668*	0,982*	17,835	24,100*	9,955**
	06	0,521*	0,610*	14,561	16,554	15,998**
	07	0,623*	0,711*	17,522	19,490	14,640**
	08	0,544*	0,630*	15,627	17,571	14,901**
	09	0,560*	0,636*	16,799	18,421	17,042**
	10	0,374	0,497	11,723	14,027	18,105**
	11	0,475	0,587*	14,273	16,422	15,693**
	12	0,454	0,570*	13,009	15,298	15,797**
	13	0,346	0,480	11,731	15,006	19,132**
	14	0,344	0,479	12,076	15,371	23,314**
	15	0,349	0,492	11,391	14,363	17,204**
	16	0,361	0,546*	11,096	14,317	15,721**
	Média	0,520*	0,688*	14,581	18,114	15,205**
DP	0,142	0,216	2,407	3,683	3,586	
Variância	0,020	0,047	5,794	13,568	12,861	
A188B	01	0,333	0,437	10,656	12,948	27,893**
	02	0,392	0,539*	17,087	19,083	60,187**
	03	0,400	0,537*	12,170	14,874	18,105**
	04	0,390	0,499	10,195	12,679	13,982**
	05	0,372	0,506*	10,006	12,426	19,428**
	06	0,391	0,550*	9,194	12,812	15,150**
	07	0,367	0,490	10,373	12,742	19,889**
	08	0,365	0,507*	9,159	12,193	14,957**
	Média	0,376	0,508*	11,105	13,720	23,699**
	DP	0,022	0,036	2,595	2,316	15,385
	Variância	0,000	0,001	6,733	5,366	236,706

<b>Aeronave</b>	<b>#</b>	<b>A(8)</b>	<b>RMS VTV</b>	<b>VDV Max</b>	<b>VDV VTV</b>	<b>FC Max</b>
AT402B	01	0,590*	0,832*	11,889	16,251	11,481**
	02	0,396	0,586*	9,727	17,121	14,585**
	03	0,415	0,625*	10,125	14,332	13,875**
	04	0,439	0,660*	10,628	14,696	11,957**
	05	0,435	0,658*	11,045	15,984	13,333**
	06	0,559*	0,800*	11,334	15,774	12,986**
	Média	0,472	0,694*	10,791	15,693	13,036**
	DP	0,081	0,099	0,796	1,028	1,164
	Variância	0,007	0,010	0,633	1,058	1,355

Nota: Valores correspondem a um ciclo completo de trabalho (Carregamento/abastecimento, decolagem, aplicação dos defensivos e pouso) projetado para uma exposição diária de 8 horas. \*Acima do *EAV* estabelecido pela Diretiva 2002/44/EC e NHO 09. \*\*Acima do limite estabelecido pela ISO 2631-1:1997 para utilização de valores *RMS*.

**APÊNDICE III – EXPOSIÇÃO DIÁRIA À VCI SEGMENTADA DE ACORDO COM A ETAPA DO TRABALHO, IRREGULARIDADE DE SUPERFÍCIE DAS ÁREAS DE POUSO E AERONAVES TESTADAS**

#	Aeronave	Área	Etapa	IRI	Av	A(8)	VDV	VDV VTV	PE	FC
001	EMB-201A	P35	A	10,47	0,893*	0,658*	13,500	18,707	173,565	10,568**
002	EMB-201A	SJ1	A	11,30	0,735*	0,466	8,650	13,574	87,034	6,093
003	EMB-201A	SJ1	A	11,30	0,740*	0,468	9,210	14,343	87,930	8,061
004	EMB-201A	SJ1	A	11,30	0,771*	0,492	9,675	14,980	96,833	7,903
005	EMB-201A	P35	C	10,47	0,311	0,202	4,134	6,113	16,335	7,217
006	EMB-201A	SJ1	C	11,30	0,197	0,127	4,140	5,250	6,534	12,289**
007	EMB-201A	SJ1	C	11,30	0,207	0,165	3,098	4,149	10,917	11,774**
008	EMB-201A	SJ1	C	11,30	0,196	0,149	2,699	3,823	8,977	13,044**
009	EMB-201A	P35	D	10,47	1,716*	1,129*	23,857*	34,350*	510,301	5,099
010	EMB-201A	SJ1	D	11,30	1,449*	0,992*	17,929	25,903*	393,743	4,984
011	EMB-201A	SJ1	D	11,30	1,543*	1,072*	19,263	28,157*	459,973	5,650
012	EMB-201A	SJ1	D	11,30	1,527*	1,032*	19,310	28,154*	426,576	5,496
013	EMB-201A	P35	P	10,47	2,242*	1,590*	30,232*	42,737*	1012,269	5,461
014	EMB-201A	SJ1	P	11,30	1,306*	0,946*	17,690	23,706*	358,279	4,384
015	EMB-201A	SJ1	P	11,30	1,308*	0,925*	16,530	23,036*	342,714	4,901
016	EMB-201A	SJ1	P	11,30	1,751*	1,143*	43,803*	63,072*	523,361	23,229**
017	EMB-201A	PAL	A	5,66	0,456	0,304	6,018	8,619	36,975	6,406
018	EMB-201A	PAL	A	5,66	0,392	0,237	4,776	7,511	22,646	8,313
019	EMB-201A	PAL	A	5,66	0,449	0,284	5,230	8,254	32,328	5,626
020	EMB-201A	PAL	A	5,66	0,445	0,281	5,613	8,722	31,697	7,332
021	EMB-201A	PAL	C	5,66	0,149	0,107	2,644	3,646	4,579	20,746**
022	EMB-201A	PAL	C	5,66	0,113	0,078	1,300	1,890	2,461	5,232
023	EMB-201A	PAL	C	5,66	0,160	0,107	3,084	4,357	4,621	14,769**
024	EMB-201A	PAL	C	5,66	0,155	0,119	2,568	3,355	5,755	11,544**
025	EMB-201A	PAL	D	5,66	1,234*	0,962*	19,622	24,438*	370,529	5,115
026	EMB-201A	PAL	D	5,66	0,879*	0,664*	13,649	17,616	176,887	6,207
027	EMB-201A	PAL	D	5,66	1,070*	0,802*	16,336	21,463*	257,788	6,213
028	EMB-201A	PAL	D	5,66	1,365*	0,977*	19,322	27,034*	381,968	5,148
029	EMB-201A	PAL	P	5,66	0,991*	0,782*	14,346	18,749	244,884	6,686
030	EMB-201A	PAL	P	5,66	1,038*	0,811*	15,822	20,141*	263,248	5,327
031	EMB-201A	PAL	P	5,66	1,182*	0,923*	19,255	24,678*	341,120	5,820
032	EMB-201A	PAL	P	5,66	1,011*	0,767*	14,428	18,798	235,508	5,287
033	EMB-202	GER	A	9,52	0,384	0,303	5,933	7,713	36,906	9,961**
034	EMB-202	GER	A	9,52	0,399	0,316	5,918	7,480	40,024	9,092**
035	EMB-202	GER	A	9,52	0,417	0,334	6,691	8,424	44,748	10,797**
036	EMB-202	GER	A	9,52	0,397	0,319	6,056	7,532	40,895	7,138
037	EMB-202	GER	C	9,52	0,319	0,215	5,121	6,936	18,534	5,458
038	EMB-202	GER	C	9,52	0,243	0,214	3,642	4,783	18,441	20,830**
039	EMB-202	GER	C	9,52	0,218	0,193	3,285	3,781	14,962	5,634
040	EMB-202	GER	C	9,52	0,219	0,200	3,269	3,738	16,050	7,714
041	EMB-202	GER	D	9,52	1,322*	1,193*	24,044*	26,081*	569,857	5,970

#	Aeronave	Área	Etapas	IRI	Av	A(8)	VDV	VDV VTV	PE	FC
042	EMB-202	GER	D	9,52	1,344*	1,209*	25,609*	27,831*	584,786	6,899
043	EMB-202	GER	D	9,52	1,375*	1,251*	23,679*	25,942*	626,646	5,316
044	EMB-202	GER	D	9,52	1,421*	1,264*	28,042*	31,153*	639,545	7,255
045	EMB-202	GER	P	9,52	1,524*	1,347*	26,744*	30,343*	726,605	5,615
046	EMB-202	GER	P	9,52	1,439*	1,255*	23,719*	27,393*	630,883	5,187
047	EMB-202	GER	P	9,52	1,704*	1,535*	30,230*	33,556*	943,505	6,352
048	EMB-202	GER	P	9,52	1,317*	1,166*	22,760*	25,780*	544,483	6,173
049	EMB-202	SCH	A	5,76	0,322	0,222	4,803	6,539	19,852	8,271
050	EMB-202	SCH	A	5,76	0,348	0,243	5,735	7,612	23,684	8,317
051	EMB-202	SCH	A	5,76	0,368	0,264	5,509	7,292	27,950	7,782
052	EMB-202	SCH	A	5,76	0,475	0,346	6,883	9,197	47,953	6,892
053	EMB-202	SCH	C	5,76	0,150	0,113	3,693	4,362	5,153	18,185**
054	EMB-202	SCH	C	5,76	0,140	0,096	3,310	4,064	3,749	17,811**
055	EMB-202	SCH	C	5,76	0,150	0,103	2,165	3,164	4,304	12,061**
056	EMB-202	SCH	C	5,76	0,131	0,103	1,930	2,451	4,302	8,046
057	EMB-202	SCH	D	5,76	1,301*	1,020*	19,679	26,199*	416,842	6,073
058	EMB-202	SCH	D	5,76	1,230*	0,987*	19,703	24,742*	389,878	5,379
059	EMB-202	SCH	D	5,76	1,306*	1,065*	20,713	25,610*	454,292	5,054
060	EMB-202	SCH	D	5,76	1,247*	0,987*	19,216	24,969*	389,714	6,204
061	EMB-202	SCH	P	5,76	1,750*	1,403*	25,938*	32,481*	787,418	4,719
062	EMB-202	SCH	P	5,76	1,564*	1,283*	26,389*	33,027*	659,284	7,712
063	EMB-202	SCH	P	5,76	1,436*	1,175*	23,358*	28,870*	552,786	6,280
064	EMB-202	SCH	P	5,76	1,677*	1,396*	26,384*	31,697*	780,174	4,328
065	A188B	2PA	A	10,48	0,365	0,262	4,719	7,494	27,549	12,389**
066	A188B	2PA	A	10,48	0,484	0,314	6,105	9,581	39,591	7,773
067	A188B	2PA	A	10,48	0,532*	0,355	6,527	10,265	50,475	9,808**
068	A188B	2PA	A	10,48	0,493	0,367	6,472	9,366	54,072	7,369
069	A188B	2PA	C	10,48	0,192	0,135	3,230	4,410	7,329	14,286**
070	A188B	2PA	C	10,48	0,139	0,103	3,772	4,616	4,321	31,647**
071	A188B	2PA	C	10,48	0,134	0,102	1,683	2,310	4,167	12,712**
072	A188B	2PA	C	10,48	0,178	0,128	2,173	2,935	6,603	8,464
073	A188B	2PA	D	10,48	1,036*	0,857*	19,226	22,925*	294,027	7,648
074	A188B	2PA	D	10,48	1,112*	0,924*	19,113	22,439*	342,076	6,812
075	A188B	2PA	D	10,48	1,121*	0,930*	20,815	24,396*	346,498	7,785
076	A188B	2PA	D	10,48	1,230*	0,970*	19,683	24,442*	376,574	5,429
077	A188B	2PA	P	10,48	1,387*	1,153*	24,502*	28,656*	532,433	8,069
078	A188B	2PA	P	10,48	1,429*	1,189*	24,613*	28,930*	566,048	7,464
079	A188B	2PA	P	10,48	1,478*	1,253*	25,559*	29,885*	628,589	6,361
080	A188B	2PA	P	10,48	1,020*	0,866*	16,651	19,539	300,040	6,305
081	A188B	QU6	A	6,25	0,497	0,342	6,327	9,405	46,938	7,943
082	A188B	QU6	A	6,25	0,546*	0,366	8,022	11,278	53,610	11,658**
083	A188B	QU6	A	6,25	0,487	0,340	6,246	9,278	46,296	7,899
084	A188B	QU6	A	6,25	0,501*	0,340	6,368	10,169	46,318	12,488**
085	A188B	QU6	C	6,25	0,171	0,118	1,877	2,865	5,575	15,014**
086	A188B	QU6	C	6,25	0,139	0,096	1,691	2,366	3,745	8,415

#	Aeronave	Área	Etapa	IRI	Av	A(8)	VDV	VDV VTV	PE	FC
087	A188B	QU6	C	6,25	0,122	0,087	1,357	1,991	3,092	6,586
088	A188B	QU6	C	6,25	0,152	0,108	1,904	2,703	4,732	10,870**
089	A188B	QU6	D	6,25	0,893*	0,728*	15,793	18,676	212,078	6,791
090	A188B	QU6	D	6,25	0,968*	0,809*	16,777	19,419	262,067	6,826
091	A188B	QU6	D	6,25	0,931*	0,800*	16,981	19,268	256,067	6,073
092	A188B	QU6	D	6,25	0,862*	0,678*	14,343	17,591	183,907	6,849
093	A188B	QU6	P	6,25	1,415*	1,204*	22,828*	26,511*	579,934	6,017
094	A188B	QU6	P	6,25	1,144*	0,984*	18,495	21,342*	387,770	6,027
095	A188B	QU6	P	6,25	1,321*	1,105*	22,452*	26,352*	488,578	6,614
096	A188B	QU6	P	6,25	1,259*	1,074*	20,198	23,519*	462,002	5,081
097	AT402B	PIN	A	10,96	0,574*	0,412	8,717	11,860	67,903	6,394
098	AT402B	PIN	A	10,96	0,546*	0,387	7,442	10,325	60,064	6,017
099	AT402B	PIN	A	10,96	0,560*	0,401	8,397	11,351	64,473	8,139
100	AT402B	PIN	A	10,96	0,558*	0,400	8,236	11,105	64,198	7,087
101	AT402B	PIN	C	10,96	0,092	0,064	1,590	1,590	1,682	12,266**
102	AT402B	PIN	C	10,96	0,080	0,056	1,279	1,279	1,293	9,299**
103	AT402B	PIN	C	10,96	0,090	0,065	2,551	2,995	1,694	12,254**
104	AT402B	PIN	C	10,96	0,067	0,047	0,800	0,800	0,884	7,314
105	AT402B	PIN	D	10,96	0,951*	0,647*	12,722	18,741	167,597	5,105
106	AT402B	PIN	D	10,96	0,938*	0,639*	12,999	19,265	163,824	6,031
107	AT402B	PIN	D	10,96	1,058*	0,708*	14,027	21,021*	200,594	5,760
108	AT402B	PIN	D	10,96	1,004*	0,696*	14,368	20,179	193,976	6,699
109	AT402B	PIN	P	10,96	1,364*	0,937*	18,200	25,530*	351,484	6,009
110	AT402B	PIN	P	10,96	1,482*	1,039*	19,541	27,125*	432,600	5,499
111	AT402B	PIN	P	10,96	1,601*	1,102*	20,305	29,486*	486,236	4,524
112	AT402B	PIN	P	10,96	1,492*	1,047*	20,484	28,098*	438,950	5,500
113	AT402B	CAC	A	0,59	0,718*	0,503*	10,314	14,207	101,398	7,930
114	AT402B	CAC	A	0,59	0,854*	0,603*	11,558	16,256	145,628	6,313
115	AT402B	CAC	A	0,59	0,738*	0,524*	10,361	14,482	110,084	8,706
116	AT402B	CAC	A	0,59	0,904*	0,649*	12,369	17,047	168,649	6,287
117	AT402B	CAC	C	0,59	0,185	0,119	3,536	4,850	5,701	10,060**
118	AT402B	CAC	C	0,59	0,090	0,063	1,522	2,022	1,615	15,223**
119	AT402B	CAC	C	0,59	0,104	0,065	1,329	1,912	1,711	7,888
120	AT402B	CAC	C	0,59	0,072	0,053	1,019	1,445	1,132	7,779
121	AT402B	CAC	D	0,59	0,951*	0,615*	12,087	18,870	151,651	5,680
122	AT402B	CAC	D	0,59	1,036*	0,695*	12,911	18,959	193,274	4,668
123	AT402B	CAC	D	0,59	1,116*	0,753*	14,707	21,838*	226,857	4,976
124	AT402B	CAC	D	0,59	1,282*	0,863*	15,837	23,426*	298,187	4,368
125	AT402B	CAC	P	0,59	1,110*	0,799*	17,027	21,416*	255,672	8,202
126	AT402B	CAC	P	0,59	1,561*	1,048*	18,939	28,808*	439,680	6,951
127	AT402B	CAC	P	0,59	1,118*	0,768*	17,598	24,417*	236,100	7,444
128	AT402B	CAC	P	0,59	1,521*	1,001*	18,666	29,435*	401,039	6,657

Legenda: A=Aplicação, C=Carregamento, D=Decolagem, P=Pouso. Nota: Valores projetados para um período de exposição de oito horas. As áreas de pouso estão representadas por siglas para garantir o anonimato das propriedades rurais e das empresas de aplicação aérea. \*Acima do EAV estabelecido pela Diretiva 2002/44/EC e NHO 09. \*\*Acima do limite estabelecido pela ISO 2631-1:1997 para utilização de valores RMS.

## APÊNDICE IV – VARIÁVEIS DE ENTRADA E DE RESPOSTA USADAS NO MODELO LOGÍSTICO

#	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	D	Probabilidade	Grupo
1	32	6	21,77	0	1	0	650	18,89	1	0,50450	1
2	38	10	32,14	1	1	1	300	13,72	1	0,73969	1
3	57	35	32,1	0	1	0	700	18,11	1	0,94188	1
4	45	22	28,01	0	1	0	500	18,11	1	0,86018	1
5	45	20	31,28	0	0	0	450	18,11	1	0,83703	1
6	31	7	24,9	1	1	0	500	18,89	1	0,63755	1
7	36	11	29,04	0	1	0	550	18,11	0	0,78878	1
8	39	14	26,81	0	0	0	200	15,69	0	0,58803	1
9	45	13	26,17	0	1	0	500	13,72	0	0,35357	0
10	33	9	29,4	0	1	0	550	13,72	0	0,52735	1
11	33	1	26,15	0	1	0	200	18,89	1	0,67700	1
12	51	28	35,89	0	1	0	500	13,72	1	0,88530	1
13	23	3	26,23	0	1	1	400	16,30	1	0,76560	1
14	33	1	29,38	0	1	0	350	18,89	0	0,73668	1
15	55	25	25,01	0	1	0	400	18,89	1	0,80860	1
16	29	5	20,55	0	1	0	500	18,89	0	0,52701	1
17	42	19	28,01	0	1	0	500	18,11	1	0,84392	1
18	30	4	26,42	0	1	0	350	18,11	1	0,69667	1
19	31	3	31,01	1	1	0	550	16,30	1	0,57422	1
20	31	2	24,51	1	1	0	500	18,89	0	0,50065	1
21	27	5	30,86	1	1	0	800	18,11	1	0,70588	1
22	29	4	24,99	0	1	0	500	18,11	0	0,61448	1
23	29	4	28,41	1	0	0	450	13,72	0	0,26533	0
24	33	8	26,87	1	0	1	600	18,89	1	0,69513	1
25	54	25	28,37	1	0	0	500	13,72	0	0,39671	0
26	42	8	26,15	0	1	1	550	18,11	1	0,70809	1
27	35	3	26,83	0	0	1	400	-	1	-	-
28	39	14	32,65	0	1	1	500	18,11	1	0,93833	1
29	40	1	26,57	1	1	0	40	18,11	0	0,52667	1
30	23	1	24,21	1	0	0	20	18,89	1	0,60435	1
31	55	26	31,35	0	1	1	400	13,72	1	0,84709	1
32	27	1	24,51	0	1	0	320	18,89	0	0,66173	1
33	26	3	28,73	0	1	1	400	13,72	1	0,66091	1
34	46	22	25,25	0	1	0	340	15,92	1	0,71911	1
35	24	1	27,13	0	1	1	350	13,72	1	0,59993	1
36	24	1	23,31	0	1	1	250	18,50	0	0,78623	1
37	33	1	27,41	0	1	1	70	18,89	1	0,85395	1
38	53	19	26,47	0	1	1	450	13,72	1	0,57690	1
39	53	20	25,25	0	1	0	450	13,72	1	0,39364	0
40	67	40	25,71	0	0	1	500	18,11	0	0,89278	1

#	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	D	Probabilidade	Grupo
41	40	8	26,17	0	1	0	500	13,72	0	0,30608	0
42	30	2	28,93	1	1	1	700	13,72	0	0,41699	0
43	30	5	26,56	0	0	0	400	13,72	0	0,28985	0
44	29	8	31,2	1	1	1	300	15,69	1	0,85461	1
45	43	8	27,16	1	1	0	450	18,89	1	0,59593	1
46	33	5	30,68	1	1	1	700	13,72	0	0,51528	1
47	38	16	32,1	0	1	0	700	18,89	1	0,89911	1
48	30	6	29,4	0	1	0	650	13,72	0	0,46111	0
49	31	5	21,77	0	1	0	600	18,11	1	0,45606	0
50	41	18	28,01	0	1	0	500	18,11	1	0,83817	1
51	29	8	31,2	1	1	0	300	15,69	1	0,75305	1
52	43	11	27,34	0	1	0	500	13,72	0	0,37501	0
53	45	18	30,27	0	0	1	350	18,11	0	0,88832	1
54	32	2	28,41	0	0	1	300	-	0	-	-
55	26	2	23,18	0	0	1	380	15,92	1	0,45474	0
56	61	37	25,83	1	0	1	400	18,11	1	0,88328	1
57	39	19	29,67	1	1	1	550	13,72	0	0,76381	1
58	32	3	26,73	0	1	0	300	18,11	1	0,67513	1
59	26	4	25,03	1	1	0	400	18,50	0	0,64500	1
60	59	31	26,99	0	1	1	350	-	0	-	-
61	58	29	24,9	0	1	1	480	13,72	0	0,67856	1
62	38	12	22,49	0	1	1	900	-	1	-	-
63	43	6	30,25	1	1	1	430	18,89	1	0,79297	1
64	25	3	21,97	0	0	0	940	18,11	0	0,26658	0
65	50	19	25,35	0	1	0	400	18,50	1	0,74413	1
66	29	3	27,1	0	0	1	670	18,11	1	0,63775	1
67	49	16	23,12	0	0	0	500	18,11	1	0,42314	0
68	38	15	28,08	0	1	0	650	-	1	-	-
69	28	9	27,47	0	1	1	1000	9,06	0	0,23773	0
70	47	18	33,79	0	1	1	550	18,11	1	0,94105	1
71	52	15	36,33	0	1	1	500	-	0	-	-
72	33	10	33,14	0	1	0	400	18,11	1	0,90204	1
73	29	6	32,15	0	1	1	350	13,72	1	0,80008	1
74	38	1	22,13	0	1	1	80	18,89	0	0,65895	1
75	51	23	23,15	1	1	0	620	18,11	1	0,59219	1
76	44	9	30,48	0	1	0	800	18,11	1	0,63082	1
77	37	6	27,46	0	0	0	730	18,11	1	0,43145	0
78	44	15	27,77	1	0	1	300	18,11	1	0,77248	1
79	39	22	23,62	1	0	1	430	15,69	1	0,67308	1
80	40	8	22,79	1	1	0	350	18,11	1	0,45282	0
81	30	4	29,41	1	1	0	650	18,11	0	0,64233	1
82	33	7	34,84	1	1	1	600	-	0	-	-
83	25	1	21,91	1	1	0	300	-	0	-	-
84	47	23	30,8	0	1	0	500	-	1	-	-
85	46	9	29,72	0	1	1	750	18,11	0	0,73675	1

#	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$D$	Probabilidade	Grupo
86	32	5	29,32	0	1	0	402	18,11	1	0,76655	1
87	46	20	33,13	0	1	1	430	18,11	1	0,95655	1
88	59	30	24,9	0	1	1	250	-	1	-	-
89	31	9	28,7	0	1	1	500	9,06	1	0,38501	0
90	27	3	28,91	0	1	0	750	18,11	1	0,67666	1
91	24	1	23,33	0	1	1	10	-	0	-	-
92	50	23	29,24	0	0	1	300	-	0	-	-
93	50	14	25,1	0	1	1	600	18,11	1	0,69015	1
94	38	16	28,96	0	1	1	400	13,72	1	0,78906	1
95	38	7	29,06	0	1	1	400	10,87	1	0,40816	0

Legenda: Os rótulos de  $X_1$  a  $X_8$  representam respectivamente as variáveis de entrada: idade (anos), experiência (anos), IMC ( $\text{kg/m}^2$ ), tabaco (0 = não; 1 = sim), álcool (0 = não; 1 = sim), AF (0 = não; 1 = sim), horas voadas nos últimos 12 meses (horas), e VCI expresso em  $VDV$  VTV ( $\text{m/s}^{1,75}$ ).  $D$  representa a variável de resposta, ou seja, o prognóstico de sintoma musculoesquelético da coluna vertebral. Probabilidade e grupo são resultados da análise por regressão logística. Casos incompletos não foram incluídos na análise. Usa corte de classificação = 0,5.