



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

A influência da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro em veículos no desempenho cognitivo e visual dos trabalhadores

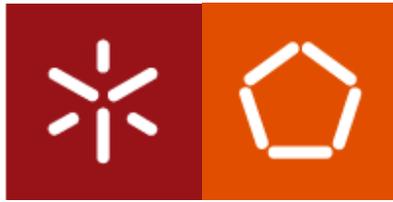
Nelson Bruno Martins Marques da Costa

UMinho | 2012

Nelson Bruno Martins Marques da Costa

A influência da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro em veículos no desempenho cognitivo e visual dos trabalhadores

março de 2012



Universidade do Minho

Departamento de Produção e Sistemas

Nélson Bruno Martins Marques da Costa

A influência da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro em veículos no desempenho cognitivo e visual dos trabalhadores

Tese de Doutoramento

Programa Doutoral em Engenharia Industrial e de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Pedro Miguel Martins Arezes

Professor Doutor Rui Miguel Bettencourt Melo

março de 2012

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho não posso deixar de agradecer aqueles que mais diretamente contribuíram para a sua realização.

Ao Prof. Doutor Pedro Arezes, pela sua orientação, por toda a disponibilidade demonstrada, pelas sugestões, pelo incentivo e pelo acompanhamento em todas as fases do trabalho. Por me ter recebido no seu laboratório e me ter proporcionado as condições essenciais à realização deste projeto. Pela sua amizade e pelo seu interesse no meu progresso académico. Pela forma altruísta de abraçar os problemas dos outros.

Ao Prof. Rui Melo, pela sua orientação, disponibilidade, incentivo e especial cuidado que manteve no acompanhamento de todas as fases do trabalho. Pelo despertar do interesse sobre a problemática da exposição ocupacional a vibrações.

Ao Professor A. Sérgio Miguel, pela sua confiança, incentivo e interesse no meu progresso académico. Pela sua amizade e pelo seu exemplo de vivência em sociedade.

Ao Eng. Patrício Cordeiro, pela paciência, pela motivação e pela disponibilidade em contribuir para este trabalho.

Aos colegas do Subgrupo de Engenharia Humana do Departamento de Produção e Sistemas da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, pela forma como me receberam no seio do subgrupo e pela disponibilidade que demonstram para ajudar o próximo na persecução dos seus objetivos.

Aos colegas do Departamento de Produção e Sistemas da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, pela simpatia que me dedicam desde o primeiro dia.

Aos 45 voluntários que de forma gentil e despretensiosa cederam parte do seu precioso tempo para me auxiliar na obtenção de resultados práticos.

Ao meu colega e amigo José Miguel Castro, pelo conselho e orientação que emprestou às difíceis opções que se me apresentaram.

À minha família, pelo apoio e incentivo incondicional que manifestam aos projetos que abraço.

Aos meus pais, pela dedicação e apoio com que sempre me presentearam.

À minha esposa e ao meu filho, pelo amor, atenção e carinho que me dedicam e pelos sacrifícios que abraçam para que eu possa alcançar os meus objetivos.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

RESUMO

Os estudos sobre os efeitos da vibração no desempenho visual iniciaram-se na década de 1960. Quase ao mesmo tempo, alguns parâmetros fisiológicos foram medidos como indicadores secundários de desempenho. Desde a década de 1970, vários estudos sobre os efeitos da vibração na acuidade visual também foram relatados. A partir desses estudos é possível verificar-se que, na maioria dos casos, a exposição a vibrações do tipo senoidal não produziu um aumento significativo no tempo de reação simples, apesar das diversas frequências utilizadas e testadas. No entanto, quase todos eles foram realizados sob condições de laboratório rigorosamente controladas e com uma intensidade de exposição bem definida. O objetivo principal desta tese consistiu em avaliar os efeitos das vibrações no desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobradores de máquinas e veículos através de dois ensaios realizados em condições de exposição “real” a vibrações. Com a finalidade de avaliar os efeitos acima mencionados num ambiente de exposição “real” a vibrações, a parte posterior de uma Citroen Jumper de 2,5 toneladas foi modificada com a inclusão de dois assentos e uma plataforma para acomodar os equipamentos dos ensaios considerados, nomeadamente, o “Teste de Julgamento de Ação” e o teste de “Omega”. O procedimento para avaliar o desempenho cognitivo e visual dos sujeitos foi desenvolvido a partir de testes de validação anteriores. A partir destes testes foi possível identificar alguns inconvenientes na sua aplicação e, conseqüentemente, os procedimentos de teste atual foram melhorados para superar essas dificuldades. De acordo com as necessidades identificadas para a padronização e homogeneidade dos testes aplicados, os indivíduos não receberam estímulos externos para além da informação apresentada por cada um dos testes. O movimento da carrinha foi realizado num circuito fechado e com velocidades até 30 km/h. Este circuito fechado apresentava dois pavimentos diferentes: um de asfalto e outro de cubos graníticos. Esta característica permitiu realizar o “Teste de Julgamento de Ação” e o teste de “Omega” sob três condições diferentes: (i) com a carrinha parada, (ii) com a carrinha em movimento sobre um piso de asfalto, e (iii) com a carrinha em movimento sobre um piso de cubos graníticos. O valor da intensidade da vibração R.M.S. para cada uma das condições de teste foi determinado de acordo com a NP ISO 2631-1:2007. Os valores de aceleração ($a_{wk}(Z)$) obtidos no piso de asfalto variaram entre 0,17 e 0,23 m/s^2 e entre 0,43 e 0,68 m/s^2 no piso de cubos. A ordem das condições de teste foi gerada aleatoriamente de modo a minimizar o efeito de aprendizagem que pode ocorrer quando os sujeitos se tornam mais familiarizados com os testes. Os resultados obtidos ao longo desta tese parecem indicar um nível de desempenho inferior em ambos os testes, à medida que aumentam os níveis de exposição a vibrações, quando comparados a condição correspondente à carrinha parada. Espera-se que os resultados obtidos ajudem a identificar a diminuição do desempenho cognitivo e visual decorrentes da exposição a vibrações de corpo inteiro em veículos e que estes resultados possam ser usados para melhorar as características dos veículos, reduzindo assim as implicações ao nível da segurança das tarefas a executar.

Palavras-chave: vibrações, corpo inteiro, veículos, exposição, desempenho, visual, cognitivo.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ABSTRACT

The first studies carried out on the effects of vibration on tracking performance date from the 1960's. Almost at the same time, physiological parameters were measured as secondary indicators of performance. Since the 1970's, several studies on the effects of vibration on visual acuity have also been reported. Those studies indicate that, in most cases, exposure to sinusoidal or random vibration does not produce any significant increase in simple reaction time, regardless of the frequencies considered in the tests. However, practically all studies were performed under strictly controlled laboratory conditions and for well-defined vibration exposure intensity and/or frequency. The aim of the research reported in this thesis was to evaluate the vibration effects on cognitive and visual performance of the exposed subjects using two field tests. To this end, and to achieve innovative results, the study comprised tests performed in a 'real' performing context. In order to test the aforementioned effects in a 'real' exposure environment, the rear part of a 2.5 ton van was modified with the inclusion of two car seats and a platform to accommodate the applied tests, namely, the 'Action Judgment Test' and the 'Omega Test'. The procedure for assessing subjects' visual and cognitive performance was developed from previous validation tests. From these tests it was possible to identify some limitations regarding their application and, accordingly, new improvements were introduced to overcome these difficulties. According to the identified needs for the standardization and homogeneity of the applied tests, the subjects received no other stimuli than the information presented on the test apparatus. The movement of the van was performed in a closed circuit for each test and with a vehicle speed up to 30 km/h. The circuit had two different pavements: one of asphalt and one of cobblestone. This feature allowed performing the 'Action Judgment Test' and the 'Omega Test' under three different conditions: (i) with the van halted, (ii) with the van performing a circuit on asphalt, and (iii) on cobblestone. The vibration R.M.S. values for each of the test conditions were measured according to the NP ISO 2631-1:2007. The acceleration values ($a_{wk}(Z)$) recorded for the asphalt case were in the range 0.17-0.23 m/s^2 and 0.43-0.68 m/s^2 for the cobblestone case. The order of the test conditions was randomized to minimize the skill/proficiency effect, which may occur when the subjects become more familiarized with the tests. The results obtained in the current study point out for a decreasing performance on both used tests, as the vibration exposure levels increase, when compared to the halted van condition. It is expected that the obtained results will help at identifying the main visual and cognitive impairments resulting from whole-body vibration exposure in vehicles. The data reported in this work may be used to improve the characteristics of the vehicles, hence reducing the corresponding effects in terms of safety.

Key words: vibrations, whole-body, vehicles, exposure, performance, visual, cognitive.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XV
INTRODUÇÃO	1
PARTE I – ENQUADRAMENTO TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
CAPÍTULO 1. VIBRAÇÕES: CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO	7
1.1. Definição de vibração.....	7
1.2. Classificação das vibrações.....	9
CAPÍTULO 2. EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO	13
2.1. Percepção das vibrações de corpo inteiro.....	13
2.2. Ponderação em frequência.	14
CAPÍTULO 3. DESEMPENHO COGNITIVO E VISUAL.....	19
CAPÍTULO 4. PRINCIPAIS EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO	27
4.1. Introdução.	27
4.2. Efeitos sobre a visão.	28
4.3. Efeitos sobre o sistema circulatório.	29
4.4. Efeitos sobre o sistema digestivo.....	30
4.5. Efeitos musculoesqueléticos.....	30
4.6. Efeitos cognitivos.	31
PARTE II – ESTUDO EXPERIMENTAL	
CAPÍTULO 5. PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO	35
5.1. Nota introdutória.....	35
5.2. Definição do problema.	37
CAPÍTULO 6. METODOLOGIA.....	39

6.1. Perfil de exposição ocupacional a VCI.....	39
6.1.1. Medição de longa duração “versus” medição de curta duração.	45
6.1.2. Exemplo prático de configuração do vibrómetro.....	48
6.1.3. Metodologia prática utilizada na determinação do perfil de exposição ocupacional a VCI.	51
6.2. Desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobradores.	56
6.2.1. Introdução.	56
6.2.2. Caracterização do circuito fechado de teste e respetivo perfil de exposição a VCI.	57
6.2.3. Metodologia prática para determinação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários.	62
CAPÍTULO 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
7.1. Introdução.	73
7.2. Perfil de exposição ocupacional a VCI.....	73
7.3. Perfil de exposição a VCI no circuito fechado de testes.	87
7.4. Desempenho cognitivo e visual dos voluntários.....	93
CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....	117
BIBLIOGRAFIA	123
ANEXO I – Questionário prévio.	
ANEXO II – Caracterização dos veículos e equipamentos avaliados.	
ANEXO III – Folha de registo <i>in situ</i> .	
ANEXO IV – Folha de registo dos ensaios de TJA e OMEGA.	
ANEXO V – Tabelas resultantes do tratamento estatístico dos dados.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema não amortecido com um grau de liberdade.....	8
Figura 2 - Frequências e intensidades de interesse no estudo dos efeitos das vibrações sobre o corpo humano.....	11
Figura 3 - Esquema representativo da epiderme e derme humana.....	14
Figura 4 – Comparação gráfica das curvas de ponderação.....	16
Figura 5 - Modelo sintético de vibração.....	20
Figura 6 - Representação esquemática das duas questões primordiais da investigação.....	37
Figura 7 - Localização e fixação do acelerómetro tri-axial no assento de um trator.....	40
Figura 8 - Eixos basicêntricos do corpo humano.....	41
Figura 9 - Equipamento de análise e registo QUEST VI-400pro.....	41
Figura 10 - Esquema representativo de uma avaliação da transmissão da vibração ao nível das costas do operador/manobrador.....	42
Figura 11 - Medição de longa duração a exposição intermitente.....	47
Figura 12 - Medição de curta duração a exposição intermitente.....	47
Figura 13 - Gráfico representativo dos resultados da análise espectral em bandas de terços de oitava.....	50
Figura 14 - Pormenor dos ossos e ligamentos da bacia.....	52
Figura 15 - Zonas de vigilância para orientação no que se refere à saúde.....	54
Figura 16 - Modificação realizada na parte posterior de uma carrinha fechada.....	59
Figura 17 - Pormenor do disco branco utilizado no TJA.....	63
Figura 18 – Exemplo de um trajeto possível para evitar passar com a agulha pela frente das setas vermelhas.....	63
Figura 19 - Mostradores de contagem de erros e controlos de operação do equipamento.....	64
Figura 20 - Representação da linha temporal de realização do Teste de Julgamento de Ação.....	65
Figura 21 – Base de suporte do teste de OMEGA.....	67
Figura 22 - Painel frontal do analisador/registador do teste de OMEGA.....	68
Figura 23 - Detalhe da secção do percurso definido no teste de OMEGA.....	69
Figura 24 – Gráfico representativo da distribuição dos valores de aceleração média ponderada para os três eixos do corpo humano (X, Y e Z) nas duas condições circulação.....	89

Figura 25 - Gráfico representativo da análise espectral em bandas de terços de oitava relativa ao percurso de betuminoso.	91
Figura 26 - Gráfico representativo da análise espectral em bandas de terços de oitava relativa ao percurso de cubos graníticos.	92
Figura 27 – Detalhe sobre um possível trajeto do ponteiro.	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos principais recetores nervosos da pele humana.	13
Tabela 2 – Síntese dos estudos efetuados sobre a influência da exposição a VCI na performance humana.	19
Tabela 3 - Exemplo de conjunto de dados retirados de uma avaliação com o vibrómetro QUEST <i>V/400pro</i>	49
Tabela 4 – Síntese dos estudos efetuados sobre a previsão dos movimentos do corpo humano sujeito a VCI.	51
Tabela 5 - Critérios de julgamento.	65
Tabela 6 - Classificação dos aspetos motor e comportamental observados durante o teste de OMEGA.	70
Tabela 7 - Valor de precisão NP, com base na duração total dos erros (DTE).	71
Tabela 8 - Resumo dos valores de aceleração ponderada (média ± dp) para o grupo 1 de máquinas/equipamentos.	74
Tabela 9 - Resumo dos valores de aceleração ponderada (média ± dp) para o grupo 2 de máquinas/equipamentos.	75
Tabela 10 - Comparação dos valores médios de aceleração ponderada R.M.S.	83
Tabela 11 - Valores de aceleração média ponderada obtidos durante a realização dos ensaios.	87
Tabela 12 - Resumo do “ <i>Paired sample T-Test</i> ” realizado para as diferenças entre pisos.	90
Tabela 13 - Caracterização dos indivíduos considerados na amostra.	93
Tabela 14 - Resumo dos resultados do Teste de Julgamento de Ação.	96
Tabela 15 – Resultados do “ <i>Friedman Test</i> ” à média dos valores de julgamento de ação.	98
Tabela 16 - Resultados do teste OMEGA obtidos pelos voluntários, nas três condições de exposição a VCI.	99
Tabela 17 - Resultados do teste OMEGA obtidos pelos voluntários nas três condições de exposição a VCI.	101
Tabela 18 – Resultado do <i>Paired Sample T-Test</i> para o número total de erros (NE).	103
Tabela 19 - Resultado do <i>Paired Sample T-Test</i> para a duração total dos erros (DTE).	104
Tabela 20 - Resultado do <i>Paired Sample T-Test</i> para o tempo total (TT).	105
Tabela 21 - Resultado do <i>Paired Sample T-Test</i> para o valor de precisão (NP).	105
Tabela 22 - Reações em termos de conforto a ambiente com vibrações.	113

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aw	Aceleração ponderada em m/s^2 .
A(8)	Exposição pessoal diária a vibrações.
A(8) _{semanal}	Média semanal de exposição pessoal a vibrações.
AJ_L	Valor do Teste de Julgamento de Ação segundo o critério da aprendizagem.
AJ_TE	Valor do Teste de Julgamento de Ação segundo o critério do total de erros.
awx	Aceleração ponderada para o eixo de vibração X do referencial do corpo humano, em m/s^2 .
awy	Aceleração ponderada para o eixo de vibração Y do referencial do corpo humano, em m/s^2 .
awz	Aceleração ponderada para o eixo de vibração Z do referencial do corpo humano, em m/s^2 .
BSI	<i>British Standards Institution.</i>
DTE	Duração total dos erros.
E1	Total de erros na primeira contagem parcial do Teste de Julgamento de Ação.
E3	Total de erros na terceira contagem parcial do Teste de Julgamento de Ação.
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i>
KW	Quilo Watts (Kilo Watts, no original em inglês).
L_VALUE	Valor da aprendizagem.
NE	Número de erros.
NP	Classificação de precisão, representa o valor parcial do teste de OMEGA.
OMEGA	Teste de Omega, assim chamado devido ao facto do perfil do percurso se assemelhar à letra grega Omega. No contexto desta tese a palavra será utilizada para referir o equipamento técnico utilizado em testes psicotécnicos que visa aferir entre outras variáveis, a capacidade de coordenação motor dos sujeitos de teste.
R.M.S.	Valor eficaz de aceleração (<i>Root Mean Square</i> , no original em inglês).
RPM	Rotações por minuto.
RSU	Resíduos sólidos Urbanos.
RTC	<i>Real Time Clock</i> , relógio interno do vibrómetro que é utilizado pelo equipamento para referenciar (dia/hora) todas as avaliações.
SNC	Sistema Nervoso Central.
TE	Total de erros.
TJA	Teste de Julgamento de Ação (<i>Action Judgment Test</i> , no original em inglês). Equipamento técnico utilizado em testes psicotécnicos que visa aferir entre outras variáveis, a capacidade dos sujeitos de teste distribuírem a sua atenção entre dois acontecimentos quase simultâneos.
TT	Tempo total.
VAE	Valor de ação de exposição.
VCI	Vibrações de Corpo Inteiro.
VDV	Valor de dose de vibração.
VLE	Valor limite de exposição.

- wd Filtro de ponderação utilizado na avaliação de vibrações transmitidas aos eixos X e Y do corpo humano. Transmissão ao nível do assento e para efeitos sobre a saúde, o conforto e a percepção.
- wk Filtro de ponderação utilizado na avaliação de vibrações transmitidas ao eixo Z do corpo humano. Transmissão ao nível do assento e para efeitos sobre a saúde, o conforto e a percepção.

INTRODUÇÃO

A presente tese pretende constituir-se como uma contribuição para o estudo dos efeitos da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (VCI), sobre os operadores/manobradores de máquinas e veículos. Este tema possui alguma tradição de estudo, sendo a mais antiga publicação encontrada datada de 1965 e foi publicada no *Journal of Applied Psychology* sob o título promissor de “Alguns efeitos da vibração sobre a performance visual” (Dennis, 1965). Os anos mais produtivos parecem ter sido 2008 e 2006 com, respetivamente, 47 e 43 artigos/publicações em livros, jornais ou revistas científicas com revisão por pares.

O interesse inicial pelo tema justifica-se pela a sensibilidade do autor para questões relacionadas com os tecidos, órgãos e sistemas do corpo humano, potenciada por uma formação inicial em Biologia. Após uma pesquisa bibliográfica inicial, entendeu-se por pertinente a aposta no aprofundamento dos conhecimentos sobre os efeitos que a exposição ocupacional a VCI produzem sobre os tecidos, órgãos e sistemas do corpo dos operadores de máquinas industriais e manobradores de veículos pesados. O tema da tese foi posteriormente aprofundado, acabando por se centrar na influência da exposição ocupacional a VCI em veículos no desempenho cognitivo e visual dos trabalhadores.

De modo a facilitar o enquadramento temporal desta tese, refira-se que no início de 2006, o Estado Português publica o Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de Fevereiro, transpondo para ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/44/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, sobre as prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas. Nesse mesmo ano, e apesar de o artigo 16.º do referido diploma contemplar um período transitório, o Laboratório de Ergonomia do Departamento de Produção e Sistemas (Escola de Engenharia, Universidade do Minho) recebeu algumas solicitações de esclarecimentos, de empresas nacionais ligadas ao ramo da construção civil e obras públicas, sobre a avaliação da exposição ocupacional a vibrações do sistema mão-braço e de corpo inteiro. O artigo 16.º, referente ao período transitório, refere no seu ponto primeiro que, para os equipamentos de trabalho que estiverem em funcionamento desde data anterior a 6 de Julho de 2007, ainda que aplicando as técnicas mais recentes e medidas de organização adequadas, e não puderem respeitar os valores limite de exposição, o disposto no artigo 7.º só é aplicável a partir de 6 de Julho de 2010 (sic). No seu ponto segundo, menciona os casos especiais do sector agrícola e florestal. Para estes, se a utilização de equipamentos de trabalho ocorrer nas condições referidas no ponto primeiro, o disposto no artigo 7.º só é aplicável a partir de 6 de Julho de 2014 (sic).

Pode-se afirmar, sem receio de faltar à verdade, que os fatores sensibilidade do autor, novidade legislativa e solicitações empresariais estiveram na gênese da proposta de tese de doutoramento que, após laborioso percurso, resultou na presente tese.

Esta tese pode ser dividida em duas partes. Na primeira parte foi realizado um enquadramento teórico do problema em estudo e revista a bibliografia mais relevante e atual sobre o tema. O ponto de partida para a pesquisa da bibliografia de maior interesse foram as bases de dados da *on-line*, cujo acesso, quando realizado através da rede interna da Universidade do Minho (ou remotamente, com recurso a uma Rede Privada Virtual¹), permite a consulta de recursos bibliográficos pesquisáveis via *Web*, como por exemplo, bases de dados de referência bibliográfica, de texto integral, editoras de revistas, coleções de *ebooks* e obras de referência.

Sempre que foi possível, procurou-se apresentar a revisão dos recursos bibliográficos utilizados, seguindo a ordem cronológica da sua publicação. Considera-se pertinente esta forma de encadeamento de ideias, assuntos e dados bibliográficos, pois auxilia a visão temporal da evolução dos conceitos e agiliza a percepção das formas práticas de abordagem dos problemas.

Na segunda parte desta tese está descrito o estudo experimental realizado com o propósito de responder a duas questões de investigação primordiais:

- Qual é o perfil de exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro dos operadores/manobradores?
- A exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro compromete o desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobradores?

A organização do estudo experimental conduziu a duas etapas distintas. Numa primeira etapa procurou-se caracterizar, o mais exaustivamente possível, a exposição ocupacional a vibrações dos operadores/manobradores de máquinas e veículos. Com esse intuito foi desenvolvido um extenso trabalho de campo, avaliando e medindo os níveis vibracionais em 29 tipos diferentes de máquinas e veículos. Esta avaliação *in situ* das máquinas e veículos só foi passível de ser realizada com a autorização e colaboração dos donos de obra, dos proprietários das máquinas e veículos e, não menos importante, dos operadores/manobradores dessas máquinas e veículos. O carácter temporário dos estaleiros de obra e a enorme dispersão territorial dos mesmos obrigou a equipa a percorrer alguns milhares de quilómetros. A recolha e sistematização dos resultados obtidos nesta primeira etapa obteve o apoio financeiro da Autoridade para as Condições de Trabalho (ACT), no âmbito do projeto n.º 076MNA/06.

A segunda etapa do presente trabalho teve início aquando da conceção e transformação da parte posterior de uma carrinha ligeira de transporte de mercadorias (Citroen Jumper 2.5D), para

¹ VPN, Virtual Private Network.

acomodar dois adultos e os equipamentos de teste, nomeadamente, o Teste de Julgamento de Ação (TJA) e o teste de OMEGA. Os procedimentos e bases teóricas destes métodos são explicitados na parte II, estudo experimental, assim como uma breve elucidação sobre a definição do problema.

No final desta parte da tese é apresentada uma exaustiva descrição e análise dos resultados obtidos na primeira e segunda etapas do estudo experimental.

As principais conclusões da presente tese, assim como algumas perspetivas futuras de investigação constituem o último capítulo da tese.

A enorme quantidade de informação obtida obrigou à procura de estratégias de representação e sumarização dessa informação, que pode ser encontrada no Anexo II da presente tese.

Finaliza-se a presente tese com um pequeno conjunto de considerações finais sobre futuras linhas de investigação e alguns aspetos que eventualmente poderiam ser revistos em futuros trabalhos com o intuito de aumentar o conhecimento sobre o tema abordado nesta tese, nomeadamente, algumas particularidades do estudo efetuado e das suas limitações.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

PARTE I – ENQUADRAMENTO TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

CAPÍTULO 1. VIBRAÇÕES: CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO

1.1. Definição de vibração.

Estando esta tese centrada na investigação da influência da exposição ocupacional a VCI em veículos no desempenho cognitivo e visual dos trabalhadores, dá-se início ao enquadramento teórico com uma tentativa de definir o conceito de vibração, assim como das grandezas físicas que lhe estão associadas. Deste modo, todo o restante corpo desta tese pode ser abordado sob o pressuposto que os leitores possuem o mesmo entendimento sobre os conceitos envolvidos e expressões numéricas citadas.

Na bibliografia encontram-se numerosas definições do conceito de vibração, no entanto, será de salientar a visão de Ruiz & Muñoz (1999), pois evidencia uma clareza e simplicidade que ajudarão à sua compreensão. Os referidos autores apresentam o conceito de vibração como: “o movimento oscilante de um sistema elástico, relativamente a uma posição de referência”.

Já Rao (1995) apresenta uma definição restringida ao movimento periódico que caracteriza o fenómeno de vibração como qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo, apresentando como exemplos o movimento de um pêndulo e a vibração de uma corda esticada. Este autor considera que o estudo teórico das vibrações aborda todos os movimentos oscilatórios de corpos e as forças associadas a eles, possuindo por isso numerosas áreas de intervenção e estudo.

Na bibliografia consultada são normalmente citadas três componentes principais de um sistema vibratório, nomeadamente a forma de armazenamento da energia potencial (mola ou a elasticidade de um elemento), a forma de armazenamento da energia cinética (a massa ou a inércia) e a forma de perda da energia do sistema (amortecimento). O sistema vibratório, propriamente dito, implica a transformação de energia potencial para energia cinética e desta de volta para energia potencial. Caso o sistema seja amortecido, ocorre perda de energia a cada ciclo de vibração e, por isso, para assegurar a manutenção do sistema será necessário fornecer energia proveniente de uma fonte externa (Rao, 1995).

O conceito de grau de liberdade é normalmente invocado na descrição de um sistema vibratório. Rao (1995), por exemplo, descreve-o como o número mínimo de coordenadas independentes necessárias para determinar com exatidão as posições das partes que constituem o sistema, num determinado momento (tempo).

A título de exemplo de um sistema não amortecido com um grau de liberdade considere-se a Figura 1, retirada da publicação de Ruiz & Muñoz (1999). Este sistema ideal é composto por uma mola (supostamente sem massa), com uma constante elástica k , que suporta uma massa M . A massa está obrigada a movimentar-se unicamente na direção x (desprezou-se a perda de energia do sistema). Suponha-se agora que deslocamos a massa para uma posição a X_0 de distância da sua

posição de equilíbrio. A mola exercerá uma força igual a $k \cdot x$ e uma vez libertada a massa, esta vibrará oscilando em torno da sua posição de equilíbrio.

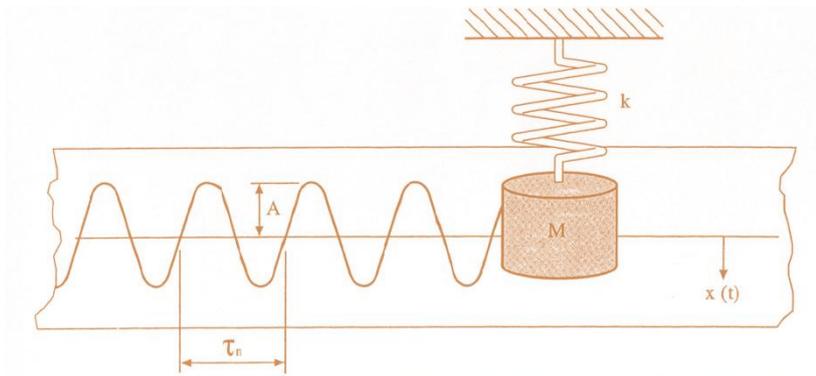


Figura 1 - Sistema não amortecido com um grau de liberdade (reproduzido de Ruiz & Muñoz, 1999).

Considerando um determinado deslocamento inicial X_0 , reveste-se de especial importância o cálculo do deslocamento (X) da massa M , bem como da amplitude (A) do movimento dessa mesma massa. A Equação 1, que representa o cálculo do deslocamento e a Equação 2, que representa o cálculo da amplitude, apresentam, respetivamente, as expressões numéricas que possibilitam a determinação dessas duas variáveis.

$$X = X_0 \cdot \cos(\omega_n \cdot t) + \left(\frac{v_0}{\omega_0}\right) \cdot \sin(\omega_n \cdot t) \quad \text{Equação 1.}$$

$$A = \sqrt{X_0^2 + \left(\frac{v_0}{\omega_0}\right)^2} \quad \text{Equação 2.}$$

Em ambas as equações são considerados os seguintes parâmetros: ω_n frequência angular (em rad/s) dada pela raiz quadrada do quociente entre a constante elástica da mola (N/m) e a massa (kg), t tempo em segundos, e V_0 velocidade inicial (m/s).

Das equações 1 e 2 resultam as expressões que possibilitam o cálculo do período natural de oscilação (em segundos), Equação 3, e o seu inverso, a frequência natural (em Hz), que pode ser obtida pela Equação 4. Em ambas as equações considera-se que: massa M (kg) e constante elástica da mola k (N/m).

$$\tau_n = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{k}} \quad \text{Equação 3.}$$

$$f_n = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \cdot \sqrt{\frac{k}{M}}$$

Equação 4.

Estes autores acrescentam ainda que se um sistema mecânico se desloca da sua posição de equilíbrio mediante ação externa que lhe transmite energia, por exemplo um impacto, esse sistema vibra com uma frequência determinada, chamada de frequência natural de vibração. Este tipo de movimento é conhecido por vibração livre e anula-se com o passar do tempo devido às perdas que ocorrem nos elementos passivos do sistema (Ruiz & Muñoz, 1999). No entanto, os sistemas mecânicos reais possuem infinitos graus de liberdade, transformando-se, por isso, em sistemas complexos e difíceis de representar matematicamente.

1.2. Classificação das vibrações.

A bibliografia consultada é consensual na classificação de vibração livre ou forçada, vibração não amortecida ou amortecida, vibração linear ou não linear, e vibração determinística ou aleatória. Com o intuito de sistematizar estas classificações, apresenta-se uma breve descrição de cada uma.

- Vibração livre ocorre sempre que, após a transmissão inicial de energia, o sistema não é perturbado;
- Vibração forçada ocorre quando um sistema é submetido de forma repetida a uma transmissão de energia. Especial cuidado deve ser observado quando a frequência de perturbação do sistema (transmissão de energia) coincide com a frequência natural do sistema, potenciando deste modo as oscilações e comprometendo a integridade das estruturas que suportam o sistema. Nestas situações dizemos que o sistema entra em ressonância;
- Vibração não amortecida implica que não seja dissipada ou perdida energia do sistema, por fricção, atrito ou resistência, durante as oscilações;
- Vibração amortecida ocorre sempre que durante as oscilações do sistema, é perdida ou dissipada energia;
- Vibração linear verifica-se quando as componentes do sistema, massa, mola e sistema de amortecimento, se comportam de forma linear;
- Vibração não linear verifica-se quando as componentes do sistema, massa, mola e sistema de amortecimento, não se comportam de forma linear. Este é o tipo de vibração mais frequentemente verificado nas situações reais de exposição a vibração;

- Vibração determinística ocorre sempre que a magnitude da força que atua no sistema é conhecida, independentemente do momento (tempo) de análise;
- Vibração aleatória ocorre quando não é possível prever, num determinado momento (tempo), a força que atua no sistema.

No contexto desta tese interessa detalhar a resposta do corpo humano quando sujeito a vibração, mais concretamente, nas situações práticas em que essa vibração é transmitida ao corpo através de uma das suas superfícies que o sustentam (por exemplo: base de apoio aos pés, superfície do assento ou apoio lombar/dorsal). Mansfield (2005) declara que o caráter multidisciplinar do estudo da resposta do corpo humano à exposição a vibrações constitui, por si só, uma excelente recompensa pelo seu estudo. O referido autor decompõe o estudo da resposta do corpo humano em três componentes distintas. Em primeiro lugar a componente humana, com os seus aspetos biológicos, anatómicos e fisiológicos. A segunda componente, a resposta, pressupõe o estudo dos aspetos psicológicos e biomecânicos do corpo humano. Finalmente, a terceira componente, a natureza da vibração.

Termina-se este breve apontamento sobre a classificação das vibrações com a referência à divisão proposta por Mansfield (2005). Nesta classificação, o autor considera três aspetos distintos, nomeadamente: o local de entrada das vibrações no corpo humano; os efeitos que a exposição provoca no corpo humano; e a frequência dessa vibrações (em Hertz).

Atendendo à frequência, Mansfield (2005) aponta alguns intervalos para os quais o corpo humano se revela mais sensível e nos quais os efeitos adversos poderão ser potenciados. As frequências de vibrações inferiores a 1 Hz estão, normalmente, associadas ao enjoo provocado pelo movimento². Vibrações compreendidas entre 1 e 20 Hz potenciam os efeitos de exposições do tipo corpo inteiro. E finalmente, as vibrações com frequência entre os 8 e os 1000 Hz intensificam as exposições do tipo mão-braço (Mansfield, 2005). Na Figura 2 é possível verificar que a relação que o autor faz entre os efeitos da exposição e a intensidade da vibrações.

Considerando exposições a vibrações de baixa frequência (< 1 Hz), Mansfield (2005) classifica os efeitos entre ligeiramente enjoativo e muito enjoativo, respetivamente para valores de aceleração ponderada entre 0,05 e 10 m/s². No que concerne à exposição a VCI, a classificação inicia-se pelo limiar de perceção, ligeiramente acima dos 0,01 m/s² e efeitos sobre a saúde dos expostos para valores de aceleração ponderada acima de 1 m/s². No que diz respeito à vibração do sistema mão-braço, o referido autor aponta para valores próximos de 0,1 m/s² para o limiar de perceção, os efeitos sobre a saúde dos expostos são verificáveis para valores acima de 5 m/s² (Mansfield, 2005).

² *Motion sickness*, no original em inglês.

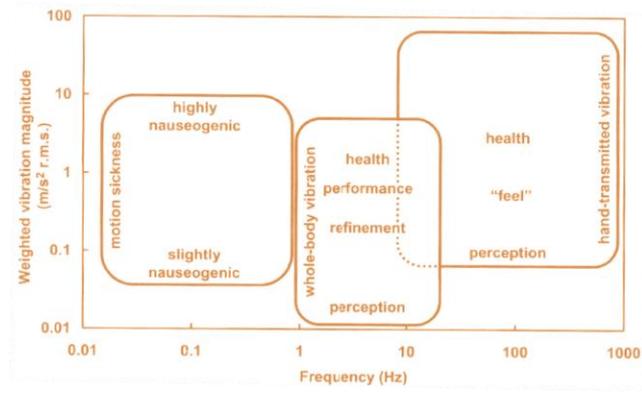


Figura 2 - Frequências e intensidades de interesse no estudo dos efeitos das vibrações sobre o corpo humano (reproduzida de Mansfield, 2005).

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

CAPÍTULO 2. EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO

2.1. Percepção das vibrações de corpo inteiro.

O corpo humano possui vários órgãos sensíveis às vibrações, competindo ao cérebro combinar a informação visual, vestibular, somática e auditiva para perceber os estímulos vibracionais. Os próximos parágrafos ilustram o tipo de informação enviada ao cérebro por cada um destes quatro intervenientes.

O sentido da visão é afetado por vibrações de baixa frequência, reportando ao cérebro alterações na posição relativa dos objetos projetados na retina.

O complexo vestibular, localizado no ouvido interno, é composto pelos canais semicirculares e pelo vestíbulo. Sendo os canais semicirculares responsáveis pela percepção dos movimentos rotacionais do corpo, a aceleração linear do corpo é percebida pelo vestíbulo.

O sistema somático pode ser subdividido em três componentes, a cinestésica, a visceral e a cutânea. Cada uma destas componentes percebe as vibrações de forma diferente. Os sinais nervosos relativos ao posicionamento e forças de determinados segmentos do corpo, enviados pelas articulações, pelos músculos e pelos tendões ao cérebro, constituem a componente cinestésica. De forma semelhante, a componente visceral utiliza os recetores nervosos localizados no abdómen. A componente cutânea do sistema somático é a mais complexa, combinando sinais nervosos de quatro tipos de terminações nervosas diferentes, duas localizadas na derme, terminações nervosas de Ruffini e corpúsculos de Pacini, e duas localizadas na epiderme, discos de Merkel e corpúsculos de Meissner (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo dos principais recetores nervosos da pele humana (adaptado de Nishida, 2008).

Nome do recetor	Estímulo	Sensação
Corpúsculo de Meissner	Vibração (5-60 Hz)	Toque rápido
Terminações do folículo piloso	Deslocamento do pelo	Movimento, direção
Corpúsculo de Ruffini	Pressão, alongamento e vibração (100-500 Hz)	Pressão, vibração
Corpúsculo de Krause	Pressão	Pressão
Corpúsculo de Pacini	Vibração (40-400 Hz)	Vibração
Terminações livres	Estímulos mecânicos, térmicos e químicos intensos	Dor
Discos de Merkel	Pressão	Toque, Pressão

As terminações nervosas de Ruffini respondem a estímulos de pressão, de alongamento e vibracionais de elevada frequência (100 – 500 Hz). Os corpúsculos de Pacini parecem responder apenas a estímulos vibracionais cuja frequência se localize entre os 40 e os 400 Hz. Os discos de

Merkel são sensíveis a estímulos de pressão perpendiculares à sua localização e cuja frequência seja inferior a 5 Hz. Os corpúsculos de Meissner são sensíveis a vibrações entre os 5 e os 60 Hz (Nishida, 2008).

A posição relativa dos principais recetores nervosos da pele humana pode ser apreciada na Figura 3. Nesse esquema representativo é possível verificar a relativa superficialidade de quase todos os recetores nervosos associados à percepção das vibrações pelo ser humano.

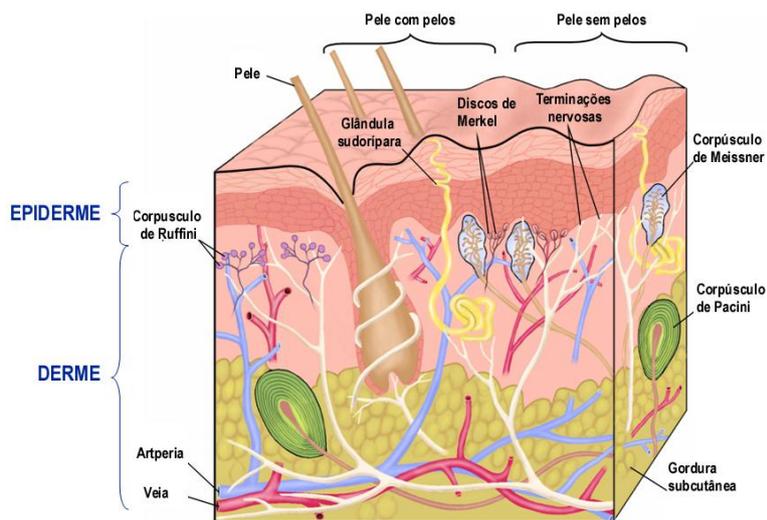


Figura 3 - Esquema representativo da epiderme e derme humana (reproduzido de Nishida, 2008).

O sistema auditivo também desempenha um papel importante na percepção da exposição a vibrações, nomeadamente, através da ressonância das superfícies sob efeito da vibração, particularmente para frequências acima dos 20 Hz (Mansfield, 2005).

2.2. Ponderação em frequência.

A ponderação em frequência é utilizada de modo a modelar a resposta do corpo humano à exposição a ondas vibracionais. Esta modelação é obtida com base numa função de resposta em frequência que, para cada uma das frequências de interesse, atribui uma ponderação de acordo com a percepção observada no corpo humano. A atribuição dos fatores de ponderação resulta da resposta observada num conjunto de voluntários. A título de exemplo pode citar-se duas frequências de interesse na exposição a VCI na posição sentado, 5 e 100 Hz. Tendo-se verificado que um Homem sentado é 10 vezes mais sensível a vibrações na frequência de 5 Hz, quando comparado com vibrações na frequência de 100 Hz. Assim, considera-se que para manter a paridade da sensação subjetiva entre as duas frequências, as medições efetuadas na frequência de 100 Hz deveriam ser atenuadas por um fator de 10 (Mansfield, 2005).

Na prática, os filtros de ponderação em frequência são aplicados diretamente sobre o sinal digital recebido pelo vibrómetro, a cada intervalo de amostragem, durante o tempo da medição. No entanto, a sua utilização apresenta as três limitações que se referem de seguida.

A primeira limitação resulta do facto de os fatores de ponderação, inscritos nas respetivas curvas, serem resultantes de uma amostra da população e não representarem, efetivamente, a resposta do indivíduo exposto e cuja exposição pessoal pretendemos avaliar. Recentemente, Matsumoto et al. (2011), corroboraram esta limitação após terem encontrado limiares de sensibilidade diferentes quando compararam os resultados obtidos para grupos de voluntários jovens, com idades entre os 22 e os 24 anos, e grupos de voluntários menos jovens, com idades entre os 60 e os 66 anos. Os mesmos autores verificaram ainda uma maior sensibilidade, independente da idade ou sexo dos voluntários, quando o estímulo vibracional apresentava a frequência de 8 e 64 Hz. Acrescenta-se apenas a nota sobre o facto de, neste estudo, os autores terem colocado os voluntários deitados sobre uma superfície plana e rígida a qual era utilizada para expor os voluntários a VCI.

A segunda limitação emerge da premissa de que a resposta humana à exposição é linear ao longo das diferentes magnitudes de exposição. Sobre esta limitação, Griffin & Hayward (1994) publicaram um artigo na revista *Applied Ergonomics* onde avaliaram os efeitos da vibração horizontal de corpo inteiro sobre a visão. Neste artigo, os autores propuseram como tarefa a leitura de um texto retirado de um jornal. Durante a realização desta tarefa, os voluntários foram submetidos a vibrações horizontais (antero-posteriores e laterais) com magnitudes de 0,63, de 0,8, de 1,0 e de 1,25 m/s². Contrariando a ideia da resposta linear ao longo das diferentes magnitudes de exposição, estes autores verificaram apenas uma redução estatisticamente significativa da velocidade de leitura para as magnitudes mais elevadas (1,0 e 1,25 m/s²) e apenas no intervalo de frequências entre 2,5 e 5 Hz.

A terceira limitação procede da consideração de que os resultados obtidos para a perceção da exposição a vibrações podem ser utilizados para prever as lesões dessa mesma exposição.

Apesar das limitações atrás mencionadas, os principais autores de publicações nesta área referem não existir, para já, um método alternativo de avaliação da exposição a vibrações suficientemente robusto para justificar o abandono das atuais curvas de ponderação.

Contudo, em 1998, Griffin avaliou as alterações introduzidas pela revisão da norma ISO 2631:1985, comparando, inclusive, a revisão de 1997 da norma ISO 2631 com a BS 6841:1987. Em primeiro lugar, este autor começa por destacar as novidades introduzidas pela revisão de 1997 da norma ISO 2631, nomeadamente, a introdução do filtro de ponderação W_k para substituir o filtro de ponderação W_b na quantificação da aceleração transmitida segundo o eixo vertical do corpo humano. Este “novo” filtro de ponderação, apesar de apresentar valores de ponderação muito semelhantes ao “antigo” filtro de ponderação, valoriza, segundo este autor, as exposições a

vibrações de corpo inteiro com uma componente forte de baixa frequência. Este tipo de exposição é característico, por exemplo, de veículos todo o terreno em condução “fora da estrada”. A Figura 4 apresenta a comparação executada por Griffin das referidas curvas de ponderação, W_b e W_k , assim como a tolerância específica de cada uma das referidas curvas (Griffin, 1998). Nessa ilustração é possível verificar que ambas as curvas são sobreponíveis numa parte considerável do espectro de frequências de interesse na avaliação da exposição a VCI.

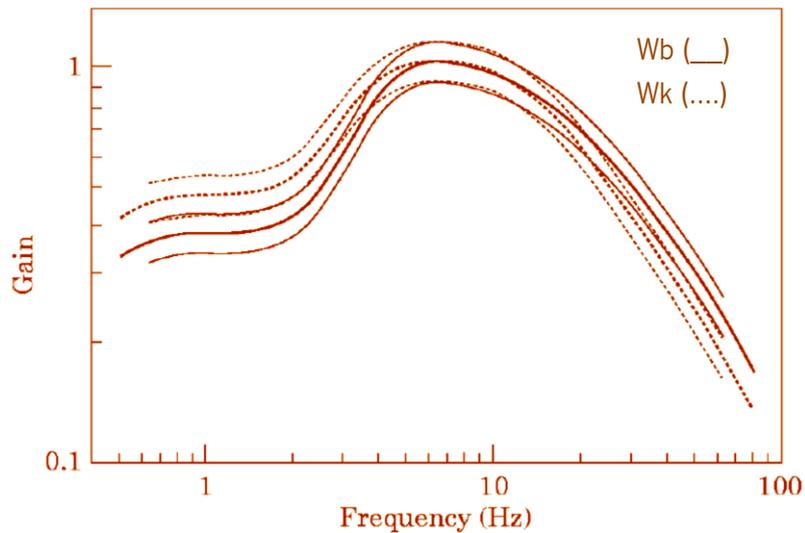


Figura 4 – Comparação gráfica das curvas de ponderação (adaptado de Griffin, 1998).

A utilização de um fator multiplicativo de 1.4, associado à avaliação dos efeitos sobre a saúde dos operadores, aplicável apenas aos eixos antero-posterior e lateral do corpo humano é outra das alterações introduzidas pela revisão de 1997 da norma ISO 2631. Neste caso particular, o agravamento de 40% introduzido pela aplicação deste fator multiplicativo conduz a avaliações mais gravosas das acelerações transmitidas ao corpo humano segundo estes dois eixos.

Com o intuito de verificar esta diferença, Lewis & Griffin (1998), avaliaram nove tipos diferentes de meios de locomoção (autocarro, carro, auto-grua, empilhador, veículo blindado, ambulância, barco, barco insuflável e bicicleta de montanha). A particularidade do agravamento de 40% apenas foi verificável no veículo blindado, onde a componente horizontal das vibrações ultrapassou a componente vertical, condicionando a utilização dos valores obtidos para estes eixos, em detrimento do eixo vertical. Para os restantes casos, em que a componente vertical das vibrações se sobreponha à componente horizontal, estes autores constataram que sempre que as componentes principais da vibração se localizavam em frequências acima dos 8 Hz, a revisão de 1997 da norma ISO 2631 apresentava um valor superior para a magnitude de vibração, em relação à versão de 1985. De forma inversa, quando as componentes principais das vibrações se localizavam entre 1 e 4 Hz, os valores de magnitude obtidos pela revisão de 1997 eram ligeiramente inferiores aos obtidos com recurso à versão de 1985 da norma ISO 2631. Contudo, se

a comparação envolvesse a revisão de 1997 da norma ISO 2631 e a norma BS 6841:1987 a relação de superioridade invertia-se. Assim sendo, estes autores encontraram valores superiores para a magnitude de vibração recorrendo à norma BS 6841:1987, quando as componentes principais da vibração se localizavam nas altas frequências. Valores mais elevados para a magnitude de vibração quando as componentes principais da vibração se localizavam nas baixas frequências eram, por sua vez obtidos, quando utilizada a curva de ponderação da revisão de 1997 da norma ISO 2631.

Alguns anos mais tarde, Paddan & Griffin (2002) voltaram a efetuar uma análise comparativa dos resultados obtidos na avaliação de exposição a VCI, recorrendo a normativos diferentes. Desta vez, os autores decidiram alargar a amostra para 100 veículos diferentes, agrupados por 14 categorias, comparando a avaliação do risco da exposição segundo a norma ISO 2631:1997 e a norma BS 6841:1987. Após exaustivas avaliações e consequentes análises, os autores concluíram que a norma ISO 2631:1997 tende a subavaliar os riscos de exposição a VCI.

Conclusão semelhante foi apresentada por Smets, Eger & Grenier (2010) após um estudo realizado em oito camiões (tratores de reboque com capacidades de reboque de 35, 100 e 150 toneladas). A utilização comparativa das metodologias de avaliação explicitadas na norma ISO 2631:1997 e na norma BS 6841:1987 permitiu a estes autores verificarem que o risco de exposição a vibrações de corpo inteiro obtido segundo a aplicação da norma ISO é subavaliado, quando comparado com o risco de exposição obtido segundo a aplicação da norma BS.

Voltando a centrar a questão na utilização dos filtros de ponderação em frequência e na sua adequabilidade ou atualidade, Morioka & Griffin (2006) desenharam um protocolo experimental que envolveu um total de 36 voluntários sem historial de exposição ocupacional a VCI. Estes voluntários foram submetidos a estímulos vibracionais, em 23 bandas de terços de oitava, com frequência central de 2 a 315 Hz. Estes estímulos eram transmitidos pelo assento e tinham uma duração de dois segundos. Com recurso a acréscimos ou decréscimos de 2 dB, a magnitude das vibrações era aumentada ou reduzida em função da resposta (não ou sim, respetivamente) à perceção da vibração. Os referidos autores concluíram que, para vibrações de média ou alta magnitude, os filtros de ponderação atualmente em utilização são compatíveis com a sensibilidade de desconforto evidenciado neste estudo. No entanto, para vibrações com magnitudes inferiores, os filtros de ponderação atuais subestimam a sensibilidade demonstrada pelos voluntários, principalmente para as frequências acima dos 30 Hz.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

CAPÍTULO 3. DESEMPENHO COGNITIVO E VISUAL

A necessidade de avaliar, comparativamente, o desempenho cognitivo e visual dos sujeitos de teste em situação de exposição e não exposição a VCI surge fundamentada em evidências bibliográficas que atestam diversos efeitos da exposição a VCI, para além dos efeitos sobre a saúde dos operadores/manobradores, Tabela 2.

Uma das referências bibliográficas que será importante destacar é o artigo publicado em 1994 por Griffin & Hayward. Neste artigo, os autores investigam os efeitos das vibrações de corpo inteiro, na sua componente horizontal (eixos basicêntricos X e Y, ver Figura 8), sobre a capacidade de leitura de um texto retirado de um jornal. Fundamentando esta escolha na universalidade do fenómeno, leitura de jornais ou revistas em meios de transporte públicos, os autores utilizaram como variável de estudo o número de sílabas lidas num intervalo de trinta segundos, tendo comparado as condições referidas na Tabela 2, com a média de velocidade de leitura, do mesmo artigo de jornal, em condição de ausência de vibrações. As principais conclusões apontam para um redução estatisticamente significativa da velocidade de leitura no intervalo 3,15 – 5 Hz, cruzado com valores de aceleração de 1,0 e 1,25 m/s², com a redução mais significativa a verificar-se na frequência de 4 Hz, para os mesmos valores de aceleração (Griffin & Hayward, 1994).

Tabela 2 – Síntese dos estudos efetuados sobre a influência da exposição a VCI na performance humana.

Intervalo de frequências	Autores	Observações
0,5, 0,63, 0,8, 1,25, 1,6, 2, 2,5, 3,15, 4, 5, 6,3, 8, 10 Hz	Griffin & Hayward (1994)	Frequência vibracional sinodal simultânea, nos eixos X e Y. Magnitudes de 0,6, 0,8, 1,0 e 1,25 m/s ² .
2, 5, 8, 11, 14, 17 e 20 Hz	Kubo et al. (2001)	Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Magnitude de 0,69 m/s ² .
4, 6,3, 8, 12, 16, 31,5 e 63 Hz	Ishitake et al. (2002)	Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Magnitude de 1,0 m/s ² .
0,8 – 14 Hz	Blütner et al. (2002)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,7, 1,0 e 1,4 m/s ² .
60 Hz	Peli & Garcia-Pérez (2003)	Almofada vibratória. Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Deslocamento de 6 – 7 mm.
1,8 e 6 Hz	Jiao et al. (2004)	Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Magnitude de 0,49 m/s ² .
16 Hz	Ljungberg et al. (2004)	Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Magnitudes de 1,0, 1,6 e 2,5 m/s ² .
2,5, 3,15, 4,0, 5,0, 6,3 e 8,0 Hz	Matsumoto, Ohdo & Saito (2006)	Frequência vibracional sinodal combinada, eixo X e Z. Magnitude de 0,7 m/s ² .
1 – 3 Hz e 7 – 12 Hz (eixo X), 1 – 4 Hz (eixo Y)	Schust et al. (2006)	Frequência vibracional aleatória, eixo X e Y, isoladamente e simultânea nos eixos X e Y. Magnitudes de 0,55 m/s ² , 0,55 m/s ² + 3 dB e 0,55 m/s ² + 6 dB.
2 Hz (eixo X), 3,15 Hz (eixo Y) e 4 Hz (eixo Z)	Ljungberg & Neely (2007a, 2007b)	Frequência vibracional sinodal combinada, eixo X, Y e Z. Magnitude de 1,1 m/s ² .
5 – 31,5 Hz	Ljunggren, Wang & Agren (2007)	Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Magnitudes de 0,035, 0,05 e 0,07 m/s ² .
2,5, 5, 10, 20 e 40 Hz	Lin et al. (2008)	Vibração do objeto, segundo os eixos Y ou Z, com amplitudes de 2, 4, 6 e 8 pontos (num ecrã de 1024x768 pixéis).
1 – 20 Hz	Newell & Mansfield (2008)	Frequência vibracional aleatória, simultânea nos eixos X e Z. Magnitudes de 1,4 (eixo X) e 1,1 m/s ² (eixo Z).

Na bibliografia selecionada foi possível encontrar-se uma proposta interessante para modelo sintético das componentes envolvidas nos efeitos da exposição humana a VCI. Kubo et al. (2001)

assumem o pressuposto de que as características das vibrações do corpo humano podem ser explicadas por três conjuntos de reações, quando o corpo humano é exposto: a reação física expressa pela transmissibilidade das vibrações de uma parte do corpo humano a qualquer uma das outras partes, exemplo de uma pessoa sentada sobre uma cadeira que vibra; a reação fisiológica que se manifesta pela alteração da pressão arterial, da frequência cardíaca, etc.; e a reação psicológica ilustrada pela manifestação de diversos sintomas induzidos pelas vibrações. Na Figura 5 apresenta-se uma adaptação do modelo sintético proposto por estes autores.



Figura 5 - Modelo sintético de vibração (adaptado de Kubo et al., 2001).

Os autores atrás referidos efetuaram medições da reação física do corpo humano à vibrações recorrendo a dez acelerômetros: cinco dispostos no corpo dos sujeitos de teste (perna, coxa, abdómen, peito e cabeça); e os restantes cinco distribuídos pela superfície vibratória, assento e encosto da cadeira (um ao nível da parte baixa das costas, outro ao nível do peito e outro ao nível da cabeça). Para o estudo da reação fisiológica dos sujeitos expostos a VCI, os autores avaliaram o ritmo cardíaco, a pressão arterial mínima e máxima, o ritmo respiratório e a quantidade de saliva segregada. A reação psicológica dos sujeitos expostos a VCI foi avaliada com recurso a um questionário que apresentava uma lista de sintomas associados ao conceito de fadiga, nomeadamente, sintomas físicos (cansaço, bocejos, sonolência, olhos cansados e ausência de espírito³), mentais (irritação, impaciência e perda de atenção) e nervosos (dor de cabeça, dor nas costas, tonturas, náuseas e rigidez dos ombros). Os autores encontraram uma relação positiva entre o aumento da sintomatologia e a exposição a VCI, tendo inclusive validado um modelo de previsão de efeitos/respostas em função da transmissibilidade das vibrações às diferentes partes do corpo humano (Kubo, et al., 2001).

Relações igualmente positivas entre a variação da frequência cardíaca e exposição a VCI foram documentadas por Jiao et al. (2004), assim como na indicação de sintomas subjetivos de fadiga. Dos 14 sintomas subjetivos de fadiga avaliados por estes autores, quatro revelaram-se estatisticamente significativos, nomeadamente, o aumento da sensação de cansaço físico, vontade de repousar, rigidez dos ombros e ausência de espírito³ (Jiao, et al., 2004).

³Tradução livre do termo "*absent-mindedness*" referido no artigo original.

Efeitos mais complexos da exposição a VCI foram abordados por Ljungberg et al. (2004), particularmente, efeitos sobre a memória de curto prazo. Estes autores recorreram ao paradigma de Sternberg para avaliar a eventual degradação da qualidade e tempo de resposta dos sujeitos de teste expostos a três condições de vibração e o controlo, caracterizado pela ausência de vibração. Os sujeitos de teste teriam que identificar se uma determinada letra fazia ou não parte de um determinado conjunto de letras (composto por 2, 4 ou 6 letras) que lhes era apresentado durante um curto período de tempo (1, 2 ou 3 segundos, respetivamente). A quantificação foi realizada com base no tempo de resposta e na correção da mesma. No entanto, e com base nas condições de exposição referidas na Tabela 2, estes autores não encontraram variações significativas na performance dos sujeitos expostos.

Num estudo posterior, Ljungberg & Neely (2007a) procuraram avaliar um efeito colateral da exposição a ruído e VCI, tendo desenhado um protocolo experimental para averiguar se a exposição a VCI, durante a realização de testes de performance cognitiva, aumentava o nível de *stress* dos sujeitos de teste. A avaliação dos níveis de *stress* dos sujeitos de teste foi realizada de duas formas distintas. De forma objetiva, procedendo à quantificação dos níveis de cortisol na saliva (antes e imediatamente após a exposição). De forma subjetiva, recorrendo a um questionário de classificação com base na escala de CR-10 de Borg. Esta escala varia entre um valor mínimo de 0 (absolutamente nenhum) e 10 (extremamente forte). Os resultados obtidos não foram muito elucidativos, tendo sido encontrada, pelos autores, uma relação positiva entre elevados níveis de cortisol na saliva e a pontuação mais elevada na avaliação subjetiva.

Considerando a hipótese de existirem sujeitos de teste com diferentes sensibilidades auditivas, Ljungberg & Neely (2007b) complementaram o estudo anterior com a aplicação de questionários no sentido de estabelecer dois grupos diferentes de sujeitos de teste. Recorrendo a um teste com maior carga sobre a memória e menor possibilidade de se verificarem efeitos de aprendizagem, os autores propuseram aos sujeitos de teste que procurassem e assinalassem o número de vezes que cada uma das cinco letras chave aparecia numa linha com 59 letras. Cada uma das linhas possuía cinco letras chave diferentes e poderia conter entre zero e quatro vezes cada uma dessas letras. O número de erros, a velocidade e a precisão (medida pela percentagem de erros) foram avaliados enquanto variáveis dependentes. Os resultados que estes autores obtiveram mostram evidências de que a exposição a VCI influencia o desempenho cognitivo dos sujeitos expostos, nomeadamente, a velocidade de execução da tarefa, o número de erros e a precisão.

Dos resultados acima citados, serão de salientar o efeito negativo observado sobre a precisão na realização da tarefa proposta, o aumento do número de erros e a diminuição do tempo de realização da tarefa, pois serviram de fonte de inspiração no desenho da estratégia de avaliação do desempenho cognitivo e visual utilizada no atual estudo.

Contudo, a expressão “desempenho cognitivo” reveste-se de um grau de subjetividade que não se coaduna com o rigor exigido neste tipo de trabalho científico, mormente, no tipo de avaliação de desempenho visual e cognitivo a efetuar. Partiu-se, por isso, da conjectura que se pode dividir a exigência das tarefas de condução e manobra dos equipamentos industriais em exigência, cognitiva/visual (dos objetos em movimento), cognitiva/motor (da atuação sobre os pedais, volante e alavancas) e cognitiva/aprendizagem (da comparação com situações semelhantes e evoluções previsíveis).

Relativamente à componente cognitiva/visual, Lin et al. (2008) consideraram os efeitos adversos das vibrações sobre o tempo de reação, precisão, acuidade visual e na avaliação subjetiva dos sujeitos de teste. Nesse sentido, desenvolveram uma metodologia experimental que permitisse a leitura de mostradores numéricos sujeitos a vibração. De modo a resolver alguns problemas práticos relacionados com a reprodutibilidade deste seu trabalho, os autores desenvolveram um programa informático que simulava a amplitude de vibração através da modificação constante da posição de um determinado carater num monitor LCD.

Na Tabela 2 estão também sumarizadas as variáveis deste estudo. O procedimento experimental pressupunha a apresentação de um conjunto de dígitos no monitor, durante um segundo, após o qual cada sujeito de teste dispunha de um teclado numérico para introduzir os algarismos visualizados. A avaliação subjetiva da influência dos fatores externos sobre o desempenho da tarefa foi baseada num questionário fechado com escala numérica de cinco pontos, entre 1 (não, de modo nenhum) e 5 (sim, muito). Os três fatores externos em avaliação foram o tamanho dos caracteres, o número de dígitos apresentados e a direção da vibração (eixo Y ou Z). De entre os resultados obtidos por estes autores destaca-se o facto do tamanho dos caracteres e o número de dígitos apresentados afetarem significativamente o tempo de reação e a acuidade da tarefa de identificação numérica. Diferenças estatisticamente significativas foram igualmente verificadas na acuidade, por influência da frequência de vibração, da amplitude de vibração e pela direção da vibração. Os resultados levaram os autores a sugerir que na utilização de mostradores numéricos em máquinas/equipamentos, dever-se-á privilegiar o maior tamanho dos caracteres e o menor número de dígitos apresentados.

No que tange à componente cognitiva/motor, Newell & Mansfield (2008) analisaram a influência da exposição a VCI em conjunto com posturas de trabalho perigosas no desempenho de uma tarefa que permitia avaliar o tempo de reação entre o estímulo visual e a execução motora. A tarefa foi realizada em cinco posturas de trabalho sentado diferentes, nomeadamente:

- Na posição vertical com apoio de braços;
- Vertical sem apoio de braços, com a cabeça e ombros voltados para o lado, 135° em relação ao plano sagital, com apoio de braços;

- Idêntica à anterior mas sem apoio de braços;
- E um controlo mantendo esta última condição, mas sem a exposição a VCI.

A tarefa consistia na apresentação de setas direcionais, num monitor a 1,1 metros do sujeito de teste, em intervalos e ordens aleatórias, as quais os sujeitos identificavam pressionando a seta equivalente num teclado. Os resultados obtidos pelos autores demonstram que a exposição a VCI e a postura influenciaram negativamente o tempo de reação dos sujeitos de teste. Acrescentaram ainda que os tempos de reação foram significativamente mais longos, quando a exposição a VCI foi complementada com o retirar do apoio de braços. A percentagem de respostas corretas foi, de igual forma, avaliada pelos autores, tendo sido verificado um aumento significativo no número de erros nas condições de exposição a VCI, com a postura a não revelar uma contribuição significativa no agravamento do número de erros (Newell & Mansfield, 2008).

Os autores Thullier, Lepelley & Lestienne (2008), apresentaram uma abordagem bastante interessante à avaliação da performance psicomotora, nomeadamente com uma abordagem à quantificação da eficiência visual/motora. Nesta abordagem, os autores assumiram que a teoria da informação proposta por Shannon poderia ser aplicada às tarefas visuais/motoras, mais concretamente nas suas três componentes básicas: emissor; meio de transmissão; e recetor. No caso concreto do trabalho desenvolvido por estes autores, a matriz de alvos visuais seria o emissor, o sistema nervoso central, responsável pela aquisição dos sinais visuais e pela transmissão dos estímulos aos grupos musculares atuaria como meio de transmissão, e os grupos musculares responsáveis pela movimentação do pulso, seria o recetor. Aos sujeitos de teste foram apresentados estímulos visuais aleatórios, em diferentes pontos de uma cruz vertical com braços de comprimento igual. Esta cruz possui uma matriz de 16 pontos possíveis de iluminação (quatro em cada um dos braços), mais um ponto colocado no seu centro geométrico. Os sujeitos de teste deveriam acionar um manipulador de modo a mover um ponteiro ao longo da referida cruz, em concordância com a localização relativa do ponto iluminado. Os testes foram repetidos ao longo de seis dias.

A eficiência visual/motora dos sujeitos de teste foi quantificada e os resultados obtidos permitiram que os autores verificassem melhorias significativas da performance dos sujeitos de teste ao longo dos dias de realização da tarefa, revelando um efeito positivo de aprendizagem.

A componente cognitiva/aprendizagem revelou-se, no trabalho citado anteriormente, como preponderante para o aumento do desempenho dos sujeitos de teste. O chamado “efeito de treino” aparece frequentemente na bibliografia associado ao conceito de “memória de trabalho”, definida como um sistema cerebral que fornece armazenamento e manipulação temporária das informações necessárias para tarefas cognitivas complexas, como a compreensão da linguagem, aprendizagem e raciocínio. No entanto, o conceito de “efeito de treino” é bastante anterior (Baddeley, Hitch, & Gordon, 1974). Na pesquisa bibliográfica efetuada, este conceito aparece pela primeira vez descrito no ano de 1935 (Telford & Spangler, 1935). Contudo, as bases de dados de referência utilizadas,

apenas permitiram o acesso a documentos publicados a partir de 1935, por isso, apesar ter sido possível encontrar referências anteriores à citada, não será possível afirmar que este conceito não tivesse já sido abordado por outros autores.

Os dois conceitos referidos anteriormente, efeito de treino e memória de trabalho, aparecem relacionados com a aquisição de competências para a realização de uma tarefa complexa de coordenação num artigo de 1995. Este artigo de Law, Morrin & Pellegrino (1995) revelou-se bastante pertinente para a definição e interpretação do desenho experimental da presente tese. Nomeadamente no que concerne à componente cognitiva/aprendizagem. Law, Morrin & Pellegrino (1995) apresentam, de forma bastante exaustiva, o estudo que desenvolveram para avaliar a contribuição do efeito de treino na melhoria do desempenho. Neste caso concreto, utilizaram tarefas complexas de coordenação, de modo a verificarem a existência, ou não, de um efeito de treino e consequente melhoria da performance. Constataram como verdadeira a hipótese do efeito de treino ser mais relevante na melhoria do desempenho das tarefas mais complexas. Acrescentaram ainda, estes autores, que diferentes estratégias de treino devem ser tomadas em consideração quando o objetivo é a melhoria da performance, uma vez que, detetaram diferentes contribuições da “memória de trabalho”. Os autores concluem este artigo com uma recomendação importante para quem desenvolve, ou possa vir a desenvolver, programas de treino para a realização de tarefas complexas, particularizando a necessidade de utilizar a análise do desempenho individual e não só a análise das diferenças médias entre performance.

Summers (2002) acrescenta um contributo para o desenho experimental e sua interpretação. Segundo este autor, a coordenação motora das tarefas executadas com ambas as mãos sofre de influência negativa (interferência) da exposição a VCI quando ambas as mãos executam tarefas semelhantes, mas com frequências de execução diferentes. Concretizando com dois exemplos simples, o bater com os dedos a ritmos diferentes (para cada mão) sobre uma superfície ou o desenho de um triângulo e um círculo, simultaneamente, com as duas mãos. Nestes casos, o autor afirma ser necessário ultrapassar a tendência universal para a sincronização dos membros, acrescentado ser mais difícil executar diferentes tarefas por membros homólogos (braço direito, braço esquerdo), do que por membros homolaterais (braço direito, perna direita) ou heterolaterais (braço direito, perna esquerda).

As tarefas associadas à condução de veículos são, normalmente, executadas por mais que um membro do corpo (braço direito, braço esquerdo, perna direita e perna esquerda) e resultam de estímulos visuais e auditivos que são processados ao nível do sistema nervoso central (SNC), sendo por isso relevante para o atual estudo perceber melhor os mecanismos envolvidos e de que modo a exposição a VCI poderá condicionar a performance deste sistema complexo.

Na pesquisa por mais informação sobre a carga mental associada às tarefas de condução, encontrou-se um artigo esclarecedor de Brookhuis, Driel & Hoedemaeker (2009). Estes autores introduziram um sistema de assistência ao condutor nos congestionamentos de tráfego numa tarefa

de condução em simulador. O sistema de assistência ao congestionamento fornece informação ao condutor sobre: uma situação de engarrafamento mais adiante no seu percurso, incluindo informação sobre o tamanho da fila à sua frente; dispõe de um sistema ativo de pedal do acelerador, realizando força contrária à aceleração quando o sistema considera que a velocidade é superior à recomendada para a situação concreta; e manutenção dinâmica da distância ao carro da frente, assim que o veículo entra na fila de trânsito provocada pelo engarrafamento. Neste estudo, os autores utilizaram o ritmo cardíaco médio, a variabilidade do ritmo cardíaco, a realização de uma tarefa secundária (o tempo de reação a sinais e a percentagem de sinais falhados) e um questionário para determinar a carga mental associada a quatro situações diferentes: sem recurso ao sistema de assistência ao congestionamento com visibilidade normal; com recurso ao sistema de assistência ao congestionamento com visibilidade normal; sem recurso ao sistema de assistência ao congestionamento com nevoeiro; e com recurso ao sistema de assistência ao congestionamento com nevoeiro.

Das principais conclusões destes autores, será pertinente realçar que, o ritmo cardíaco diminuiu aquando da utilização da função manutenção dinâmica da distância ao carro da frente e o desempenho na tarefa secundária piorou com o uso do sistema de assistência ao congestionamento (no momento de aproximação ao congestionamento propriamente dito). No que tange à análise das respostas dos sujeitos de teste ao questionário para determinar a carga mental, os resultados indicam que foi colocado mais esforço na condução em situação de nevoeiro e sem o sistema de assistência ao congestionamento.

Selecionando dois grupos de condutores diferentes, Shanmugaratnam, Kass & Arruda (2010), conceberam a hipótese de a idade interferir nas faculdades cognitivas e psicomotoras utilizadas durante uma tarefa de condução num simulador. O primeiro grupo foi selecionado de entre os frequentadores de cursos recreativos oferecidos pela universidade e possuíam idade superior a 40 anos (65 anos em média). O segundo grupo foi recrutado entre os alunos das licenciaturas e mestrados e possuíam todos menos de 40 anos (22 anos em média). A performance durante a condução num simulador foi avaliada tendo em consideração os comportamentos de controlo do veículo, a ocorrência de acidentes ou violações das regras de trânsito, a atenção e o tempo de reação.

Os resultados obtidos pelos autores indicam claramente que o grupo dos participantes mais jovens obteve melhor desempenho em todas as tarefas cognitivas e psicomotoras avaliadas. Com resposta à estatística aparentemente contraditória da sinistralidade rodoviária, os autores adiantam a hipótese de que os condutores mais velhos modificam as estratégias de condução, escolhendo as condições ambientais mais favoráveis para conduzir e evitando situações de trânsito mais complexas.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

CAPÍTULO 4. PRINCIPAIS EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A VIBRAÇÕES DE CORPO INTEIRO

4.1. Introdução.

O ambiente ocupacional acarreta, normalmente, inúmeros fatores de risco, entre eles destaca-se a exposição a VCI.

Encontrar relações diretas entre exposição a VCI e os efeitos decorrentes desta não é, por isso, tarefa fácil. Mansfield (2005) apresenta o seguinte exemplo elucidativo desta dificuldade: *“Se considerarmos duas viagens, uma realizada a bordo de um carro de luxo e outra num carro antigo e de baixo custo, é muito provável que os ocupantes do carro de baixo custo reportem maior fadiga no final da viagem.”* Se a magnitude da vibração transmitida aos ocupantes fosse avaliada, possivelmente verificaríamos valores mais elevados no carro antigo e seríamos tentados a afirmar que a fadiga foi provocada pela vibração. Não sendo de excluir esta hipótese, teríamos também de considerar o *design* e o estado de conservação do banco, a qualidade da postura e outros fatores diferenciativos entre os dois carros, como a justificação dessa maior fadiga. Este autor recomenda, por isso, que a abordagem à relação causa/efeito deva ser realizada com maior cautela e segundo uma abordagem holística.

O efeito da exposição a VCI mais frequentemente reportado na bibliografia consultada é a “dor nas costas”. Os estudos epidemiológicos são a base desta afirmação. Griffin e Bovenzi são dois autores que periodicamente realizam estudos deste tipo, procurando sistematizar o perfil das exposições e a sintomatologia reportada. Destacamos como primeira abordagem epidemiológica o livro publicado por Griffin em 1990 (Griffin, 1990). Por sua vez, a afirmação mais vezes repetida e citada sobre o efeito da exposição a VCI é da autoria de Bovenzi & Hulshof (1998), da qual se apresenta aqui uma tradução: *“A exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro está associada a um aumento do risco de dor na zona lombar, dor ciática, e alterações degenerativas na coluna vertebral, incluindo lesões nos discos intervertebrais da zona lombar.”*

Magnusson et al. (1998) constataram a dificuldade em estabelecer uma relação clara entre a exposição e o efeito, principalmente devido ao elevado número de fatores que influenciam o risco associado à exposição a VCI. Neste mesmo artigo propõem um protocolo e um questionário para estudos colaborativos de exposição a VCI e lesões músculo-esqueléticas da coluna vertebral.

Concentrando a sua atenção sobre a eventual alteração na dimensão da coluna vertebral dos expostos a VCI, Bonney & Corlett (2003), submetem voluntários a uma tarefa de condução simulada. Durante a realização dessa tarefa, os voluntários são expostos a VCI, segundo os eixos horizontais e o eixo vertical do corpo humano, com uma frequência próxima da frequência natural da coluna vertebral humana, 4 Hz. Os resultados obtidos revelaram um aumento estatisticamente

significativo do comprimento da coluna vertebral dos sujeitos expostos. Cautelosamente, os autores apontam para a necessidade de se considerar que o modelo segundo o qual a exposição a VCI sobrecarrega os discos da coluna vertebral necessita de ser revisto.

Gallais & Griffin (2006) publicam uma revisão dos estudos epidemiológicos sobre exposição a vibrações de corpo inteiro em condutores, publicados entre 1975 e 2005. Nesta revisão, os autores confessam a dificuldade em encontrar uma definição clara para “dor nas costas” e concluem existirem vários fatores concorrentes para o seu aparecimento. Conclusão semelhante tinha sido já reportada por Lings & Leboeuf-Yde (2000) após revisão sistemática dos artigos publicados, entre 1992 e 1999, sobre exposição a VCI e “dor nas costas”.

Em 2006, Bovenzi et al. (2006) publicam os resultados de um estudo que incluiu 598 condutores profissionais expostos a VCI. Apresentam como principal conclusão o facto da exposição a VCI e fatores de carga física da coluna (associados à movimentação manual de cargas e posturas desadequadas) serem duas componentes importantes na origem multifatorial da “dor nas costas” reportada pelos condutores profissionais.

Confrontado com a mesma dificuldade, Seidel (2005) enumera seis pressupostos que os modelos de previsão do risco de lesões na coluna e a exposição a VCI deveriam contemplar, de modo assegurar uma significância na sua previsão. Esses pressupostos são: o facto da biodinâmica do corpo humano não se comportar segundo modelos ou equações lineares; a necessidade de incorporar os efeitos da vibração transmitida ao corpo humano segundo os eixos horizontais (antero-posterior e lateral); a força de corte⁴ da coluna; os parâmetros relativos à qualidade do contato entre o Homem e o assento; a contribuição da postura e da atividade muscular assumida aquando da exposição; e as propriedades materiais das estruturas da coluna.

Apesar de fortemente focalizada nos efeitos ao nível das costas dos expostos, a bibliografia consultada refere também um leque mais alargado de efeitos provocados pela exposição a VCI. Parece, por isso, relevante sistematizar alguns desses efeitos, uma vez que ajudam a perceber melhor as possíveis repercussões a nível cognitivo dos operadores expostos.

4.2. Efeitos sobre a visão.

Seguindo uma abordagem relacionada com o sistema do corpo humano afetado, inicia-se esta descrição pelo estudo de Griffin & Hayward (1994) sobre os efeitos da exposição a VCI sobre a leitura. Concentrados apenas na componente horizontal da exposição (antero-posterior e lateral), estes autores encontraram reduções estatisticamente significativas na velocidade de leitura de uma

⁴ *Shear*, no original em inglês.

notícia de jornal, quando a frequência das vibrações estava compreendida entre os 1,25 e os 6,3 Hz em conjunto com magnitudes mais elevadas de vibração (1 e 1,25 m/s²).

O sistema visual é também responsável pela percepção do movimento dos objetos e foi sobre a eventual interferência que a exposição a VCI poderia ter neste mecanismo que Peli & García-Pérez (2003) se debruçaram. Estes autores afirmam que movimentos da imagem de objetos na retina, provocados por movimentos reflexos ou voluntários do olho, dificilmente são interpretados como movimentos do objeto observado, uma vez que o próprio sistema visual parece descontar este movimento do olho no movimento do objeto verificado na retina. Pelo contrário, se o movimento dos objetos na retina é provocado por vibração mecânica do olho, resultado, por exemplo, de exposição a VCI, então este movimento é normalmente interpretado pelo sistema visual como movimento do objeto. Excetuam-se as situações em que a frequência de vibração seja muito elevada e, nesse caso, a imagem do objeto aparece turva ou desfocada.

Preocupados com o aumento do número de écrans LCD⁵ a bordo de veículos e aeronaves, Lin et al. (2008) avaliaram os efeitos de écrans sujeitos a vibração sobre a performance visual e sobre a fadiga. Neste caso particular, os voluntários não estavam sujeitos a vibrações, uma vez que esta ocorria apenas ao nível da informação apresentada nos écrans. Neste trabalho, os autores reportaram efeitos sobre o tempo de reação, sobre a precisão e um aumento da fadiga reportada pelos voluntários, sempre que a informação apresentada através dos LCD era sujeita a vibrações.

4.3. Efeitos sobre o sistema circulatório.

Outro sistema vital do corpo humano é o sistema circulatório, do qual o coração constitui um elemento fundamental na manutenção da circulação sanguínea. Jiao et al. (2004) consideraram importante avaliar a influência da exposição a VCI na variabilidade da frequência cardíaca. Estes autores consideraram apenas a componente vertical da vibração em duas frequências distintas, 1,8 e 6 Hz e com magnitude de 0,49 m/s². Os voluntários foram divididos por três grupos, um para cada uma das frequências e o terceiro grupo serviu de controlo, não tendo sido exposto a VCI. A condição de ensaio teve uma duração de 90 minutos e os autores reportaram diferenças significativas na variabilidade da frequência cardíaca para as duas condições de exposição avaliadas (1,8 e 6 Hz).

⁵ Ecrã de cristal líquido, acrónimo de LCD (em inglês liquid crystal display).

4.4. Efeitos sobre o sistema digestivo.

Efeitos da exposição a VCI são também passíveis de serem verificados ao nível do sistema digestivo. Ishitake et al. (2002) elaboraram um protocolo experimental que visava a avaliação do efeito da exposição a VCI, transmitida ao corpo humano através do assento, sobre a motilidade gástrica. Recorrendo a estímulos vibracionais segundo o eixo vertical do corpo humano, nas frequências de 4, 6,3, 8, 12, 16, 31,5 e 63 Hz, estes autores encontraram alterações significativas no ritmo dos movimentos gástricos, para as duas primeiras frequências enunciadas. Mais concretamente, alterações do ritmo normal de contração dos músculos gástricos. O tempo de exposição a que os voluntários estiveram sujeitos foi de apenas 10 minutos, com intervalos de duas horas entre exposições, e a magnitude dessa exposição seguiu a ponderação da curva W_k , proposta pela norma ISO 2631:1997, com 1 m/s^2 na frequência de 4 Hz e valores concordantes com a ponderação da curva para as outras frequências estudadas.

4.5. Efeitos musculoesqueléticos.

Recorrendo a eletromiogramas, Blüthner, Seidel & Hinz (2002) procuraram avaliar a resposta dos músculos das costas a VCI, com recurso a magnitudes definidas de 0,7, 1 e $1,4 \text{ m/s}^2$, em frequências aleatórias. Aos voluntários foi solicitado que assumissem três posturas diferentes, quando sentados numa cadeira, nomeadamente, relaxados, direitos e com o tronco fletido à frente. Apesar de não terem conseguido desenvolver um modelo robusto de previsão da resposta dos músculos das costas, os autores verificaram um aumento significativo das respostas destes grupos musculares, em função da postura assumida pelos voluntários. Concluíram que diferentes mecanismos de contração reflexa dos músculos das costas são responsáveis pela manutenção da postura e absorção de parte da energia transmitida pela vibração.

Antevendo a eventual entrada em comercialização de dispositivos eletromecânicos de introdução de vibrações de corpo inteiro com finalidades orientadas para a tonificação muscular, Cronin, Oliver & McNair (2004), elaboraram um protocolo experimental para verificar os efeitos desta exposição em voluntários sem preparação física específica. Sujeitando apenas uma das pernas dos voluntários a VCI produzida por um dispositivo eletromecânico, estes autores não foram capazes de identificar nenhuma diferença significativa no tônus muscular de ambas as pernas. Por precaução, as sessões de exposição tiveram durações reduzidas (5 repetições de 60 segundos cada uma, intervaladas por igual período de descanso), e a amplitude das vibrações utilizada foi de apenas 6 milímetros com frequência de vibração de 26 Hz. Considerando a eventual perigosidade na utilização sem monitorização destes equipamentos, os autores enfatizam a necessidade de serem estabelecidas relações dose/resposta para este tipo de treino/condicionamento físico.

Recorrendo a uma revisão sistemática da literatura disponível sobre os efeitos da exposição ocupacional a VCI no equilíbrio, Mani, Milosavljevic & Sullivan (2010) encontram evidências de que

a redução do equilíbrio existe e é mais significativa imediatamente após o período de exposição. Esta redução do equilíbrio postural pode, segundo estes autores, predispor os sujeitos expostos a maior risco de lesão da coluna vertebral, sempre que após a exposição são encetadas tarefas de manipulação ou transporte manual de cargas.

O conceito de fadiga pode abranger um conjunto alargado de condições fisiológicas, no entanto, Jiao et al. (2004) consideraram importante avaliar o efeito de diferentes frequências vibracionais sobre a fadiga reportada por voluntários saudáveis durante uma tarefa de condução simulada. Avaliaram apenas a componente vertical das vibrações em duas frequências distintas, 1,8 e 6 Hz, e com uma magnitude de exposição de $0,49 \text{ m/s}^2$. Por comparação com um grupo de controlo que não foi exposto durante a realização da tarefa, os autores encontraram efeitos significativos da exposição a VCI sobre o aumento da fadiga reportada.

4.6. Efeitos cognitivos.

Ljungberg, Neely & Lundström (2004) procuraram efeitos da exposição a VCI sobre a memória de curto prazo. Nomeadamente, estes autores procuraram avaliar a eventual degradação da qualidade e do tempo de resposta dos voluntários expostos a três condições de vibração e uma condição de ausência de vibração (controlo). Contudo, recorrendo a uma exposição a VCI no eixo vertical, com frequência de 16 Hz e magnitudes de 1,0, 1,6 e $2,5 \text{ m/s}^2$, estes autores não encontraram variações significativas na performance dos sujeitos expostos.

O eventual efeito da exposição a VCI sobre o tempo de reação foi investigado por Schust, Blüthner & Seidel (2006). Estes autores sujeitaram um grupo de 12 voluntários a diferentes formas de VCI, utilizando uma frequência vibracional aleatória, entre 1 a 3 Hz e entre 7 a 12 Hz, no eixo antero-posterior, e 1 a 4 Hz no eixo lateral do corpo humano. Este estímulo assumiu três magnitudes diferentes, $0,55 \text{ m/s}^2$, $0,55 \text{ m/s}^2 + 3 \text{ dB}$ e $0,55 \text{ m/s}^2 + 6 \text{ dB}$, atuando sobre cada um dos eixos isoladamente e numa terceira condição, atuando sobre os dois eixos em simultâneo. Aos voluntários era solicitado que carregassem em dois pedais distintos (acelerador ou travão) o mais rapidamente possível, após a solicitação. Os referidos autores não verificaram nenhuma influência no tempo de resposta, das diferentes condições de exposição a VCI impostas aos voluntários.

No entanto, Newell & Mansfield (2008) reportaram uma degradação significativa na performance e nos tempos de reação de sujeitos de teste expostos a vibrações de corpo inteiro na posição sentado. Estes autores avaliaram também o potencial prejuízo provocado por posturas incorretas, na posição sentado, tendo encontrado um agravamento significativo na redução da performance e nos tempos de reação, quando a tarefa era realizada, sob exposição a VCI e em conjunto com posturas incorretas.

Em 2007, Ljungberg e Neely publicam dois artigos onde procuram reportar os efeitos da exposição a VCI sobre o *stress* ou sobre a performance cognitiva. Para ambas as publicações, a metodologia utilizada foi semelhante e consistiu na exposição a VCI com magnitude de $1,1 \text{ m/s}^2$ nos três eixos. As frequências utilizadas para esta exposição foram 2 Hz (no eixo antero-posterior), 3,15 Hz (no eixo lateral) e 4 Hz (no eixo vertical). Os resultados obtidos pelos autores, numa das publicações, não foram muito elucidativos, tendo sido, no entanto, encontrada uma relação positiva entre os elevados níveis de cortisol na saliva (fator associado aos níveis de *stress*) e a pontuação mais elevada na avaliação subjetiva do nível de *stress* realizada pelos voluntários. Na segunda publicação, os autores recorreram a um teste com maior carga sobre a memória e menor possibilidade de se verificarem efeitos de aprendizagem. Os resultados que estes autores obtiveram mostram evidências de que a exposição a vibrações influencia o desempenho cognitivo dos sujeitos expostos a VCI, tendo sido verificado um aumento de velocidade de execução da tarefa, um aumento do número de erros e conseqüentemente uma diminuição da precisão da execução (Ljungberg & Neely, 2007a, 2007b).

PARTE II – ESTUDO EXPERIMENTAL

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

CAPÍTULO 5. PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO

5.1. Nota introdutória.

Após o enquadramento teórico do tema, apresenta-se a Parte II, intitulada “Estudo Experimental” e que contém uma descrição do problema abordado, bem como uma descrição da metodologia prática empregue na obtenção dos dados relevantes para este trabalho.

A clareza e rigor do desenho do estudo experimental permitem obter resultados mais sólidos e fiáveis. Acrescente-se uma correta exposição da metodologia empregue e poderemos assumir uma possível reprodutibilidade desses mesmos resultados. Assumindo as mesmas preocupações que aqui se manifesta, Dong, Welcome & McDowell (2011), escrevem uma “carta ao editor” da revista *Applied Ergonomics*. Nesta missiva alertam para a necessidade de utilizar com cuidado os resultados descritos (no caso concreto, dados relativos a acelerações) nas publicações científicas disponíveis através das bases de dados de pesquisa. Estes autores encontraram utilizações incorretas da fórmula que permite calcular o vetor soma das acelerações ponderadas (R.M.S.) para os três eixos ortogonais do corpo humano (Dong, et al., 2011). Esta fórmula, que possibilita a avaliação da exposição a vibrações do corpo inteiro (VCI), está descrita na normalização aplicável do seguinte modo (Equação 5):

$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad \text{Equação 5.}$$

Usada por vários autores conforme está descrita abaixo (Equação 6), conduz a um desagramento dos valores da exposição a VCI na ordem dos 10% (Dong, et al., 2011).

$$a_v = \sqrt{1.4a_{wx}^2 + 1.4a_{wy}^2 + a_{wz}^2} \quad \text{Equação 6.}$$

Na avaliação dos efeitos sobre a saúde, da exposição a VCI, os valores de k são, efetivamente, 1,4, 1,4 e 1, para os eixos do X, Y e Z, respetivamente. No entanto, na Equação 5 é possível verificar-se que o valor de k também deve ser elevado ao quadrado.

No entanto, este tipo de cuidado na apresentação de comparação de valores/resultados não é novidade no seio da comunidade científica que se dedica ao estudo e caracterização da exposição ocupacional a VCI. É possível encontrar inquietações semelhantes num artigo publicado em 1998 por Lewis & Griffin. Neste artigo, os autores procedem a uma exaustiva comparação entre os valores de exposição ocupacional a VCI obtidos com recurso a três normas diferentes. As normas em causa são a ISO 2631-1:1985, a BS 6841:1987 e a ISO 2631-1:1997. Esclarecem os autores que, à data da publicação do artigo, qualquer uma destas normas poderia ser usada para calcular valores de exposição ocupacional a VCI e a partir desses valores, fazer inferências e julgamentos

sobre os riscos dessa exposição. Com o sentido de verificarem as diferenças nos resultados obtidos, estes autores avaliaram exposições ocupacionais a VCI, ao nível do assento de nove veículos de transporte diferentes, em condições que consideraram severas. Tendo encontrado diferenças de 31% entre valores calculados segundo a ISO 2631-1:1985 e a ISO 2631-1:1997. Quando comparados os resultados obtidos segundo a BS 6841:1987 e a ISO 2631-1:1997, a percentagem de diferença dos valores desce para 14% (Lewis & Griffin, 1998).

Na sua comunicação de 2004 relativa à avaliação de 48 autocarros urbanos, Melo & Miguel (2004) revelam ter encontrado uma diferença superior a 60% nos valores de exposição ocupacional a VCI. Este valor resultou da comparação dos resultados de exposição ocupacional a VCI obtidos pela aplicação do vetor soma (a_w), com os resultados obtidos segundo a indicação da norma ISO 2631-1:1997. A referida norma menciona explicitamente o critério de utilização do valor de aceleração mais elevado, registado segundo os três eixos do corpo humano, para cálculo do valor de exposição ocupacional a VCI.

Mais recentemente, Pinto & Stacchini (2006) apresentaram um trabalho detalhado sobre o nível de incerteza na avaliação da exposição ocupacional a VCI. Baseando o seu estudo na avaliação de 50 veículos, agrupados em quatro categorias (empilhador, pá carregadora, camião do lixo e autocarro), estes investigadores encontraram valores de incerteza relativa, no cálculo da exposição pessoal diária a vibrações, entre 14% e 32%, valores para os quais, a cadeia de medição, acelerómetro e vibrómetro, apenas contribuem com menos de 4%. Estes autores tentaram, também, distinguir entre três fatores/componentes principais de contribuição para o aumento dos valores de incerteza relativa nas avaliações de exposição pessoal diária a vibrações. Na componente um, operador, consideraram a incerteza relacionada com a variação das características antropométricas dos operadores/manobreadores, a sua postura e os seus métodos de trabalho. Na componente dois, máquina, incluíram a incerteza relacionada com as diferentes características dos equipamentos/veículos avaliados, assim como o seu estado de conservação/manutenção. Na componente três, ciclo de trabalho, observaram a incerteza relacionada com a variação do piso.

Os três fatores/componentes principais de incerteza referidos no parágrafo anterior revelam-se de particular importância quando se constata que num mesmo estaleiro de obra podem ser facilmente encontrados operadores/manobreadores com diferentes características antropométricas, posturas e métodos de trabalho, máquinas/equipamentos idênticos mas com diferentes estados de conservação/manutenção e superfícies de trabalho em constante mudança, muitas vezes associada ao normal avançar da obra.

Considera-se pertinente referir que, apesar da legislação nacional não exigir o cálculo da incerteza associada às avaliações de exposição ocupacional a vibrações (Decreto-Lei n.º 46/2006, 24 de fevereiro), este valor já é exigido na apresentação dos valores de exposição ocupacional ao ruído (Decreto Lei n.º 182/2006, 6 de setembro). Com base nesta constatação, será expectável considerar-se que, num futuro próximo, a revisão do atual diploma legal sobre exposição

ocupacional a vibrações venha a incluir a necessidade do cálculo da incerteza associada às respetivas medições/avaliações.

Mereceu por isso particular cuidado a descrição que a seguir se enuncia sobre o estudo experimental e suas diversas implicações, visando mitigar as três principais preocupações atrás mencionadas: imprecisão no uso das fórmulas de cálculo aplicáveis; má explicitação da norma utilizada como referência de cálculo e julgamento sobre os riscos da exposição; e elevado valor de incerteza associado às avaliações dos equipamentos/veículos.

Carece de enquadramento mais objetivo e de especial explanação, a forma como se alcançou a divisão de um único problema em duas importantes questões. Dedicar-se, por isso, uma breve secção à divisão atrás mencionada.

5.2. Definição do problema.

A abordagem usada neste estudo, em relação à exposição ocupacional a VCI nos operadores/manobradores de veículos/máquinas industriais, teve por base duas questões primordiais (Figura 6). Toda a metodologia experimental foi desenhada na tentativa de responder a essas mesmas questões e à verificação das suas implicações práticas. Nomeadamente, a necessidade de dividir a exposição segundo dois perfis diferentes, a exposição resultante da condução de veículos e a exposição resultante da operação de máquinas, e a pertinência em avaliar o desempenho dos operadores/manobradores segundo critérios cognitivo/visual, cognitivo/motor e de aprendizagem.

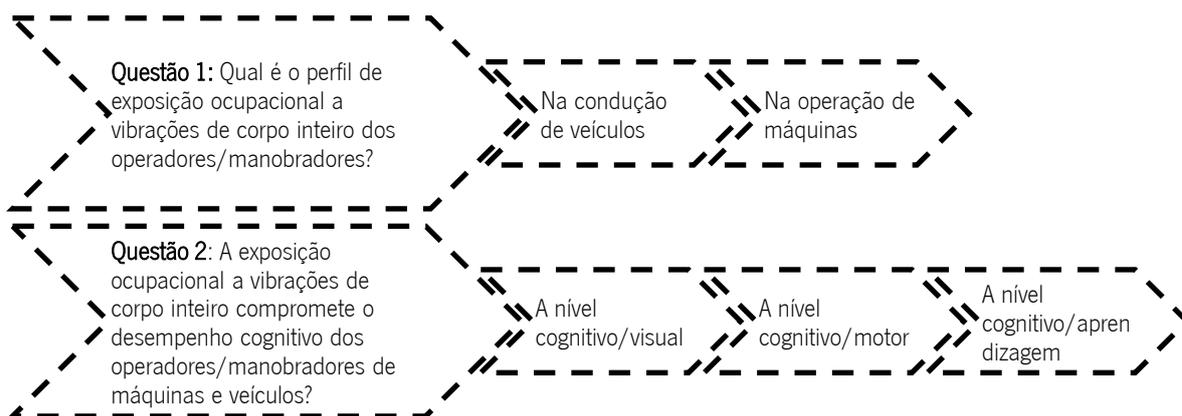


Figura 6 - Representação esquemática das duas questões primordiais da investigação.

Na abordagem à primeira questão foi realizada uma amostragem dos níveis de exposição a VCI dos operadores de veículos industriais (autocarro, camião de recolha de RSU e empilhador) e dos operadores de máquinas industriais (giratória, rastos, pá carregadora, mini pá carregadora,

retroescavadora, *dumper*, cilindro compactador, compactador de resíduos sólidos urbanos e trator). Esta divisão, ainda que arbitrária, pressupõe que a condução dos veículos do primeiro grupo implica um conjunto de tarefas visuais, motoras e de aprendizagem diferentes das tarefas necessárias para a operação do segundo grupo de veículos.

A segunda questão assume explicitamente a necessidade de avaliar comparativamente o desempenho cognitivo dos sujeitos de teste em situação de exposição e não exposição a VCI. Contudo, a expressão “desempenho cognitivo” reveste-se de um grau de subjetividade que não se coaduna com o rigor exigido neste tipo de trabalho científico, mormente, no tipo de avaliação de desempenho a efetuar. Partiu-se, por isso, da conjetura que se pode dividir a exigência das tarefas de condução e manobra dos equipamentos industriais em exigência, cognitiva/visual (dos objetos em movimento, dos próprios painéis do veículo), cognitiva/motor (da atuação sobre os pedais, volante e alavancas) e cognitiva/aprendizagem (da comparação com situações semelhantes e evoluções previsíveis).

CAPÍTULO 6. METODOLOGIA

6.1. Perfil de exposição ocupacional a VCI.

A amostragem da exposição ocupacional a VCI obrigou a um minucioso trabalho de preparação e planificação. Os equipamentos/veículos que se pretendia avaliar eram bastante específicos e o número de exemplares disponíveis, relativamente baixo. Tomou-se como ponto de partida as solicitações de esclarecimento que foram chegando ao Laboratório de Ergonomia do Departamento de Produção e Sistemas (Escola de Engenharia da Universidade do Minho), sobre a avaliação da exposição ocupacional a vibrações do sistema mão-braço e de corpo inteiro, de empresas nacionais ligadas ao ramo da construção civil e obras públicas. As referidas empresas foram contactadas telefonicamente ou por correio eletrónico, com o intuito de averiguar se apresentavam disponibilidade para facultar os dados que viessem a ser obtidos nas avaliações efetuadas no terreno. Cada resposta afirmativa era sucedida de uma pergunta sobre a localização dos estaleiros da empresa (a laborar nesse momento) e sobre os equipamentos presentes nesses estaleiros.

Após obtida a confirmação da relevância da empresa, um questionário prévio para aplicar aos operadores/manobradores era enviado, na forma eletrónica, ao cuidado do Coordenador de Segurança da obra/estaleiro em causa, respeitando sempre duas condições essenciais:

- Disponibilidade para facultar os dados obtidos;
- Existência de máquinas/equipamentos de interesse.

O questionário prévio estava direcionado para a obtenção das características técnicas das máquinas/equipamentos utilizadas, número de trabalhadores expostos, tipo de superfície de trabalho e equipamentos de proteção individual (EPI), eventualmente utilizados pelos operadores/manobradores. O Anexo I apresenta uma cópia do questionário prévio.

Posteriormente foram elaboradas fichas técnicas para cada um dos equipamentos avaliados (a informação destas fichas técnicas e principais valores obtidos pode ser consultada no Anexo II. Esta informação permitiu agilizar todo o trabalho de campo, na medida em que foi possível, antecipadamente, configurar os equipamentos de medição. Este facto é particularmente relevante para a medição dos níveis vibracionais, uma vez que é necessário definir os eixos de entrada das vibrações no sistema corpo inteiro e antecipar a localização dos acelerómetros nas máquinas/equipamentos avaliados, como por exemplo no caso de um trator agrícola que é apresentado na Figura 7.



Figura 7 - Localização e fixação do acelerómetro tri-axial no assento de um trator.

A orientação dos três eixos do acelerómetro respeita as indicações da norma NP ISO 2631-1:2007, para avaliação da exposição vibracional transmitida pelo assento aos operadores/manobradores. Na Figura 8 podemos verificar que, independentemente da avaliação ser realizada ao nível do assento, das costas ou dos pés do operador, o eixo do X é sempre aquele que atravessa o corpo operador/manobrador das suas costas para a sua frente. O eixo do Y atravessa o corpo lateralmente (da sua direita para a sua esquerda). E finalmente, o eixo do Z atravessa verticalmente o corpo do operador/manobrador (no sentido pés cabeça).

Apesar de se considerar o peso do corpo do operador/manobrador como suficiente para manter o acelerómetro fixo e em contacto permanente com o assento, em todas as montagens realizadas foram utilizadas tiras de fita-adesiva para assegurar que o referido contacto seria permanente (ver exemplo na Figura 7). Acrescem a esta utilização duas outras vantagens não menos importantes. A primeira vantagem será a garantia que os eventuais movimentos do operador/manobrador, durante a realização das suas tarefas habituais, não comprometem a concordância dos eixos do acelerómetro tri-axial com os eixos basicêntricos do corpo humano. A segunda vantagem está relacionada com a possibilidade de encaminhamento da porção inicial do cabo de dados que liga o acelerómetro tri-axial à unidade de análise e registo (vibrómetro), evitando assim que este se embarace num dos membros inferiores do operador/manobrador, ou numa das alavancas por ele acionadas.

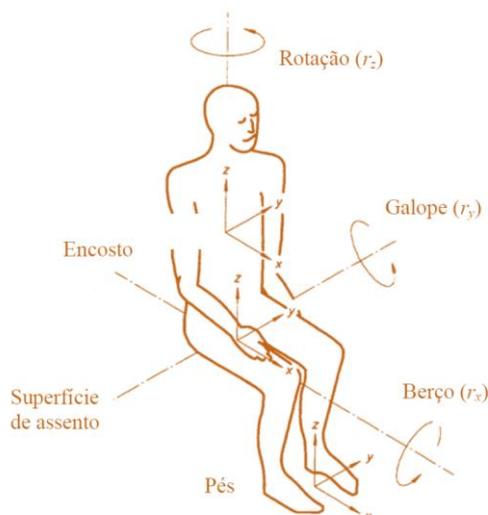


Figura 8 - Eixos basicêntricos do corpo humano (adaptado da norma NP ISO 2631-1:2007).

No presente estudo do perfil de exposição ocupacional a VCI, a avaliação dos níveis vibracionais, sob a forma de acelerações (R.M.S.) ponderadas em frequência, foi realizada com recurso a um analisador e registador QUEST VI-400pro (Figura 9). O QUEST VI-400pro é um equipamento digital do tipo 1, com quatro canais independentes para medição e análise simultânea de vibrações (de acordo com as ISO 8041:2005 e ISO 10816:2009) e ruído (de acordo com a norma IEC 61672-1:2002).



Figura 9 - Equipamento de análise e registo QUEST VI-400pro.

A possibilidade de utilização de quatro canais independentes aumenta o número de análises simultâneas que podem ser realizadas com este equipamento. No entanto, devemos observar que os primeiros três canais têm de, necessariamente, ser utilizados para avaliação de níveis

vibracionais, uma vez que o vibrómetro em questão apenas possibilita a configuração do quarto canal para análise de níveis de pressão sonora ou valores de aceleração.

Uma das possibilidades de configuração pode, por exemplo, determinar a eficácia da suspensão de um determinado assento de uma máquina/equipamento, por comparação dos valores registados em dois acelerómetros, um colocado no chão da máquina/equipamento e o outro ao nível do assento do operador/manobrador (configurando canais diferentes para cada acelerómetro). O acelerómetro ao nível do encosto do assento poderia ficar com os canais de 1 a 3, o quarto canal ficaria reservado para o acelerómetro colocado no chão da máquina/equipamento (ver Figura 10), o que implica o registo dos valores de aceleração segundo um dos eixos basicêntricos do corpo humano, ao nível do chão da máquina/equipamento. No entanto, este valor teria um correspondente ao nível do assento do operador e por isso, a eficácia da suspensão desse assento seria quantificável para esse eixo.

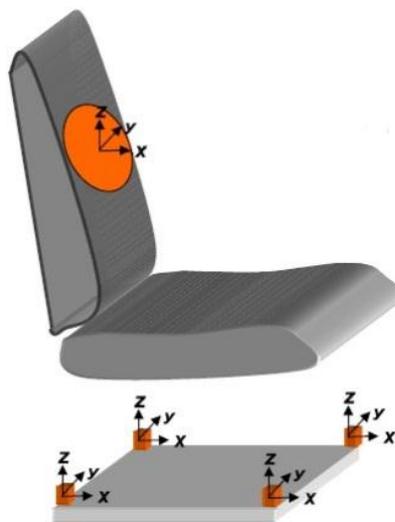


Figura 10 - Esquema representativo de uma avaliação da transmissão da vibração ao nível das costas do operador/manobrador (reproduzido de Qiu & Griffin, 2004).

Dada a especificidade de algumas das tarefas analisadas, foi necessário definir um tempo mínimo de amostragem. Os critérios para medição e avaliação da exposição a VCI seguiram as indicações estabelecidas na norma NP ISO 2631-1:2007. A duração da medição assegurou uma precisão estatística aceitável e asseverou, também, que a vibração medida correspondia à “exposição típica” que estava a ser avaliada (ver secção “6.1.1. Medição de longa duração “versus” medição de curta duração”).

A presente avaliação dos níveis de vibração ao nível do assento dos operadores/manobreadores incluiu a medição do valor eficaz (R.M.S.) ponderado da aceleração de acordo com a equação seguinte (Equação 7), onde $a_w(t)$ é a aceleração ponderada em função do

tempo, em metro por segundo ao quadrado; e T é a duração da medição, em segundos (equação adaptada na norma NP ISO 2631-1:2007).

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad \text{Equação 7.}$$

A quantificação dos valores de exposição pessoal diária a VCI, A(8), apresentados neste trabalho, seguiu as indicações do Decreto-Lei n.º46/2006, de 24 de Fevereiro, relativas à escolha do eixo com valor eficaz mais elevado das acelerações ponderadas em frequência, medidas segundo os três eixos ortogonais (basicêntricos), conforme se lê no ponto 1 do anexo II do referido Decreto-Lei.

A Equação 8 foi utilizada para calcular o valor de exposição pessoal diária a vibrações do corpo inteiro. Nesta equação a_w é a aceleração eficaz ponderada, em metros por segundo ao quadrado; T é a duração diária total da exposição às vibrações; T_0 é a duração de referência de oito horas (28 800 segundos); e k é o fator multiplicativo (equação adaptada do Decreto-Lei n.º46/2006, de 24 de Fevereiro).

$$A(8) = k a_w \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad \text{Equação 8.}$$

A Equação 8 pode ser utilizada para estimar o tempo de exposição máximo, até que o valor de ação de exposição seja atingido (VAE) ou o tempo de exposição máximo até que o valor limite de exposição (VLE) a vibrações do corpo inteiro seja igualmente atingido. No primeiro caso, cálculo do tempo de exposição máximo até que o VAE seja ultrapassado, devemos substituir o valor de A(8) pelo valor de ação de exposição, 0,5m/s², imposto pela alínea b) do ponto 2, do artigo 3.º do Decreto-Lei 46/2006 de 24 de Fevereiro. Procedendo da mesma forma, para o segundo caso o cálculo do tempo máximo até que o VLE seja ultrapassado, substitui-se o valor de A(8) por 1,15m/s², imposto pela alínea a) do mesmo ponto do artigo 3.º.

Para efetuar o cálculo destes tempos-limite resolve-se a Equação 8 em ordem ao tempo de exposição (T). Esta mudança de variável faz com que a equação possa assumir a forma representada pela Equação 9, onde é possível verificar o local de introdução dos valores legais VAE e VLE, aqui representado pela incógnita A(8). Nesta equação o valor de A(8) deve ser substituído por VAE ou VLE; a_w continua a ser a aceleração eficaz ponderada, em metros por segundo ao quadrado; e k é o fator multiplicativo; e T_0 é a duração de referência de oito horas (28 800 segundos).

$$T = \left(\frac{A(8)}{k a_w}\right)^2 \times T_0 \quad \text{Equação 9.}$$

No Anexo II aparecem calculados os tempos de exposição máximos para que os valores de VAE e VLE sejam ultrapassados, de modo a constituir uma informação adicional sobre a possibilidade de gestão do número de horas de operação/manobra das máquinas/equipamentos. Estes tempos aparecem referenciados na forma abreviada de tempo para VAE e tempo para VLE, respetivamente.

A avaliação dos níveis vibracionais em máquinas/equipamentos de grande dimensão reveste-se de particular dificuldade. De seguida elencar-se-ão algumas das principais dificuldades que foram experimentadas ao longo do atual estudo.

Em primeiro lugar é necessário prever a inexistência de um lugar sentado no interior da máquina/equipamento, por isso, toda a estratégia de amostragem deve ter por base configurações pré-programadas do vibrómetro. São disso exemplo os *setups* de eixos e filtros de ponderação e o precioso *start delay*. A primeira ferramenta possibilita que a configuração da coincidência dos eixos basicêntricos do corpo do operador/manobrador com os eixos do acelerómetro seja avaliada pelo vibrómetro com os filtros de ponderação adequados (ao nível do assento e para avaliar efeitos sobre a saúde teríamos, W_d para o eixo do X e Y, W_k para o eixo do Z). Outro parâmetro do vibrómetro igualmente configurável por *setup* é o peso relativo do fator k (a título exemplificativo teríamos $K_x=K_y=1,4$ e $K_z=1$, ao nível do assento e para avaliar efeitos sobre a saúde). No que tange à segunda ferramenta, o *start delay*, esta foi recorrentemente usada para permitir a passagem de algum tempo (*delay*) entre o acionamento do botão *start* (que dava início à sequência de avaliação dos níveis vibracionais) e a sua efetiva iniciação. Esta ferramenta possibilita que o analista possa bloquear o vibrómetro, abandone a máquina/equipamento e se dirija para um local seguro enquanto aguarda que o operador/manobrador se repositone no assento e inicie a tarefa, objeto de avaliação. Evita-se, desta forma, que o equipamento registe quantidades significativas de dados sem relevância (relativos ao sentar do operador/manobrador, ajustar do banco, percurso até ao local de execução da tarefa), que posteriormente teriam de ser editados pelo analista.

Será importante também mencionar que, de modo a possibilitar a realização deste trabalho de edição, o analista deve, previamente, sincronizar o seu relógio de pulso com o relógio interno do vibrómetro (RTC). Devendo ter o cuidado de anotar o momento de início de realização da tarefa e o momento de término da mesma, uma sugestão de folha de registo de dados *in situ*, pode ser encontrada no Anexo III.

Posteriormente, durante a edição do ficheiro de dados, o analista pode identificar com precisão o conjunto de valores de aceleração que representam o intervalo de realização da tarefa. Sobre as estratégias de amostragem acrescentar-se-á, numa secção mais adiante, um exemplo ilustrativo.

O simples facto de não ser possível acompanhar “de perto” a evolução da avaliação constitui a segunda dificuldade a ter em consideração. Dever-se-á, por isso, observar a necessidade

de encontrar na cabine do operador/manobrador um local apropriado e seguro para acondicionamento do vibrómetro. Esse local deve ser de fácil acesso, pois será necessário aceder ao vibrómetro para gravar os ficheiros no final de cada avaliação. Será igualmente necessário prever que os movimentos da máquina/equipamento possam ser bruscos e, por isso, originar a necessidade de fixar o vibrómetro a alguma estrutura resistente da cabine do operador. Não acompanhar “de perto” as avaliações também significa antever uma dificuldade acrescida na comunicação com o operador/manobrador. A linha direta de vista entre o operador/manobrador e o analista deve ser sempre mantida, estando este último sempre em lugar seguro, fora do raio de ação da máquina/equipamento.

A terceira dificuldade reveste-se de um carácter mais peculiar, estando intimamente ligada com as características pessoais do operador/manobrador. Durante as avaliações efetuadas *in situ* dos níveis vibracionais verificou-se que alguns operadores/manobradores ficaram relativamente desconfiados sobre as verdadeiras intenções da equipa de avaliação e sobre a real natureza dos registos realizados pelo equipamento. Surgiram perguntas como: “Isso também grava som?”; “Como quer que trabalhe? Mais devagar?”; ou “Não pode arranjar outra máquina para meter isso?”. Todas estas dúvidas são facilmente dissipadas com recurso a uma explicação mais descontraída entre a equipa de avaliação, o operador/manobrador e o seu superior direto, criando dessa forma um clima de entendimento e esclarecimento sobre os objetivos da avaliação e a importância da colaboração dos operadores/manobradores.

No extremo oposto encontram-se os operadores/manobradores mais voluntariosos. Estes, motivados pela presença do equipamento, tendem a acelerar as operações ou manobras, conduzindo por isso a um “inflacionamento” artificial dos valores vibracionais. Nestes casos será necessário ter a clareza de espírito para fazer sugestões oportunas sobre a necessidade de representatividade dos valores das avaliações, compelindo o operador/manobrador a realizar as tarefas com mais calma e de forma mais natural.

6.1.1. Medição de longa duração “versus” medição de curta duração.

Definir a estratégia de amostragem representa, frequentemente, uma dificuldade adicional na avaliação dos níveis vibracionais de uma máquina/equipamento. A norma ISO 2631-1:1997 possui informações preciosas sobre o desenvolvimento da estratégia de amostragem, dedicando os pontos 5.1 a 5.6 à medição dos níveis vibracionais. No ponto 5.1 encontram-se algumas considerações de carácter mais geral, como por exemplo a natureza da grandeza a medir. O ponto 5.2 possui indicações sobre os eixos de medição. A localização dos transdutores (acelerómetros) é discutida no ponto 5.3 com notas sobre casos especiais. O ponto 5.4 faz referência aos métodos de ponderação da vibração ao longo do tempo e ao intervalo de frequências de interesse. A duração da medição é abordada no ponto 5.5 e no ponto 5.6 são referidas as informações que devem

acompanhar a apresentação dos resultados obtidos. Na presente secção apresenta-se uma breve discussão sobre o ponto 5.5 relativo à duração da medição.

O ponto 5.5 da norma ISO 2631-1:1997 apresenta alguma informação concreta sobre os tempos de medição. A norma esclarece, neste ponto, que “a duração da medição deve ser suficiente para assegurar uma razoável precisão estatística e assegurar que a vibração medida é típica da exposição que está a ser avaliada”. À parte de dois valores concretos para situações de “sinais estacionários aleatórios”, não encontramos neste ponto da norma nenhuma consideração adicional sobre este tema. Refira-se apenas que os valores para a situação atrás descrita são de 108 segundos para análises com filtro de bandas de oitava e 227 segundos para análises com filtro de bandas de terços de oitava.

A duração da medição não é problema exclusivo da avaliação dos níveis vibracionais de máquinas/ferramentas ou máquinas/equipamentos. É possível encontrar discussões e informação relevante em diversa bibliografia de áreas bastante diversas. No entanto, é possível que o Anexo E – Exemplos de cálculo de exposições diárias a vibrações, da norma EN ISO 5349-2:2001, contenha indicações precisas para o sucesso da estratégia de amostragem. Neste anexo, a norma europeia destaca exemplos práticos de avaliação relacionados com a operação de máquinas/ferramentas, contudo, perfeitamente aplicáveis na avaliação da operação de máquinas/equipamentos.

Dos cinco exemplos apresentados pela norma EN ISO 5349-2:2001, os casos da medição de longa duração a exposição intermitente e da medição de curta duração a exposição intermitente, são os que mais semelhanças apresentam com as situações práticas de operação de máquinas/equipamentos.

No caso da medição de longa duração a exposição intermitente, a norma EN ISO 5349-2:2001 começa por elencar as vantagens deste método de avaliação (esta breve análise terá por base a Figura 11, que serve de referência ao texto). A título exemplificativo, considere-se o período de medição 1, no qual se verificam existirem períodos de ausência de vibração que estão a ser avaliados pelo equipamento de medição. Esta opção é vantajosa quando se considera o aspeto logístico da configuração do equipamento e as instruções a transmitir ao operador. Desta forma, o operador pode desempenhar todo o ciclo da tarefa, que compreende períodos de paragem do equipamento, com períodos tempo diferentes de operação do mesmo. Para cálculo do tempo total de exposição, o analista apenas terá que somar os intervalos de tempo assinalados pelo número 2, na Figura 11.

Existem duas desvantagens desta abordagem ao tempo de medição referidas na norma EN ISO 5349-2:2001. Em primeiro lugar é referido que a magnitude do valor de aceleração encontrado é dependente do tempo de utilização do equipamento na execução da tarefa, comprometendo, por isso, a transferência deste valor para outros operadores do mesmo equipamento. A segunda desvantagem referida está relacionada com a possibilidade de o valor de vibração encontrado incluir

acelerações resultantes de choques como por exemplo, o pegar ou largar do equipamento. Esta segunda desvantagem não se aplicará se se pensar no caso de exposição a VCI, a menos que no intervalo de tempo 1 considerado, o operador tiver que se ausentar da cabine da máquina/equipamento ou ajustar o seu banco para realizar alguma sub-tarefa.

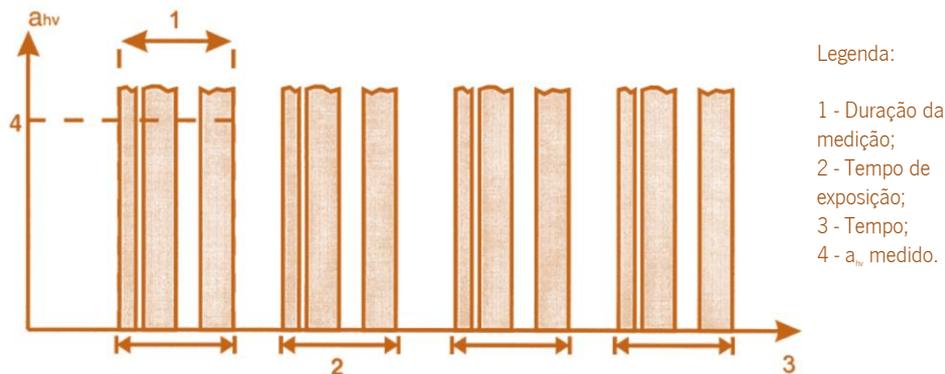


Figura 11 - Medição de longa duração a exposição intermitente (adaptado da norma EN ISO 5349-2:2001).

No caso da medição de curta duração a exposição intermitente, a norma EN ISO 5349-2:2001 começa, igualmente, por elencar as vantagens deste método de avaliação (considere-se a Figura 12 como referência). Observando o período de medição 1, salienta a norma que períodos de ausência de vibração não são avaliados pelo equipamento de medição, exigindo por isso que o analista interrompa a medição sempre que o operador acabe uma sub-tarefa. Para cálculo do tempo total de exposição, o analista apenas terá que somar os intervalos de tempo assinalados pelo número 2, na Figura 12.

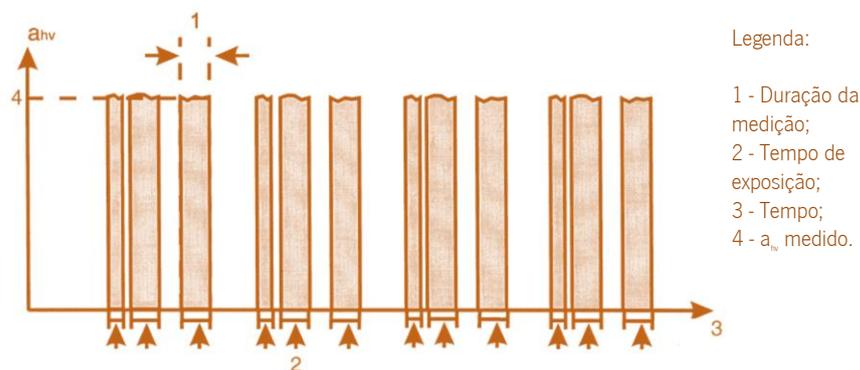


Figura 12 - Medição de curta duração a exposição intermitente (adaptado da norma EN ISO 5349-2:2001).

As vantagens associadas a este tipo de avaliação relacionam-se com a possibilidade de utilizar os valores obtidos em situações diferentes, onde inclusive o tempo de exposição possa ser diferente. No entanto, o analista poderá ter que aumentar o número de interações com o vibrómetro e desta forma dificultar o desenvolvimento das tarefas por parte do operador e conseqüentemente do trabalho desenvolvido.

Se se pretender atingir o objetivo genérico de obter valores de exposição ocupacional a VCI que possam ser utilizados por terceiros para avaliar a eventual necessidade de intervir numa situação semelhante, a utilização da estratégia de medição de curta duração deve ser fortemente considerada, uma vez que permite obter dados relativos a tarefas concretas realizadas por uma determinada máquina/equipamento. Posteriormente, estes dados podem ser cruzados com rotinas (tempos) de exposição e, desta forma, tornar-se possível a estimativa dos valores de exposição ocupacional a VCI. Uma análise de níveis vibracionais realizada segundo esta estratégia pode servir como “*base em informações fiáveis*”, conforme aparece mencionado no ponto 2 do artigo 4.º do Decreto-Lei n.º46/2006 de 24 de Fevereiro, simplificando desta forma a tarefa de avaliação do risco de exposição a VCI.

No entanto, e de modo a assegurar que os valores obtidos constituem uma “*base em informações fiáveis*”, será necessário que o analista organize corretamente a sua estratégia de amostragem. Antevendo algumas dificuldades na operacionalização desta estratégia de medição, apresenta-se, a seguir, um breve exemplo prático de configurações e operações facilitadoras da sua implementação.

6.1.2. Exemplo prático de configuração do vibrómetro.

Considere-se a hipótese de uma situação concreta de análise de níveis vibracionais na qual o analista se vê privado de estimar o tempo necessário para configurar o *start delay* e opta por uns arbitrários dez segundos. Sincronizando previamente o relógio interno do vibrómetro (RTC) com o seu relógio de pulso, este analista anota a hora/minuto/segundo de ativação do vibrómetro (momento correspondente ao premir do botão START do equipamento). Após o bloqueio do teclado e acondicionamento do equipamento em local seguro e apropriado na cabine do operador, o analista afasta-se para local seguro e observa o percurso da máquina/equipamento. Decorrido um determinado tempo (consideremos para este exemplo 20 segundos), o analista observa que a tarefa em avaliação tem início. Após um período de cinco minutos (300 segundos), o analista observa o término da tarefa em avaliação e regista este momento na sua folha de registo de dados *in situ*, Anexo III.

Posteriormente, quando descarrega os dados contidos no ficheiro que indexou à avaliação em causa, o analista obtém um conjunto de dados semelhantes aos da Tabela 3. Nesta tabela pode observar-se que o equipamento de análise e registo dos níveis vibracionais estava configurado para realizar intervalos de integração de um segundo, sendo cada uma dessas integrações registada com uma nova entrada n , e realizou esta análise durante um total de 600 ciclos. Com base nas informações arbitradas para este exemplo, podemos verificar que os conjuntos de valores relativos aos níveis vibracionais da tarefa em análise estão compreendidos entre a entrada $n=11$ e $n=310$ do conjunto total de 600 valores obtidos para cada um dos eixos/canais basicêntricos. Chegamos a

este intervalo de valores de interesse porque o *start delay* estava configurado para dez segundos, a tarefa teve início vinte segundos após a ativação do vibrômetro e teve uma duração de trezentos segundos. Serão, por isso, estes trezentos valores de acelerações ponderadas em frequência que deverão ser utilizados para caracterizar a tarefa realizada com aquela máquina/equipamento. Recomenda-se ainda que o analista considere, pelo menos, mais duas avaliações suplementares para estimar, com maior confiança, os níveis de vibração que caracterizam aquela tarefa.

Tabela 3 - Exemplo de conjunto de dados retirados de uma avaliação com o vibrômetro QUEST VI-400pro.

Header information:	chan->	#1:P1	#2:P1	#3:P1
Device type SVAN 948	__func->	RMS	RMS	RMS
Serial No. xxxx	__ftr->	Wd	Wd	Wk
Internal software version ... 2.18	__dtct->	—	—	—
File system version 2.18	n	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
	1	...	...	...
	2	...	...	...
Original buffer name Buffe_xxx	3	...	...	...
Associated file name ddMMnn	4	...	...	...
Measurement hour hh:mm:ss	5	...	...	...
Measurement day dd/mm/aaaa	6	...	...	...
Device function OCTAVE 1/3	7	...	...	...
	8	...	...	...
Reference level for Acc 1 µm/s ²	9	...	...	...
Reference level for Vel 1 nm/s	10	...	...	...
Reference level for Dil 1 pm	11	...	...	...
	12	...	...	...
Leq/RMS integration Linear	13	...	...	...
Trig. mode OFF	...	...	...	...
Start delay 10 s	...	...	...	...
Integration time def. 1 s	...	...	...	...
Repetition cycle 600	...	...	...	...
Buffer time step 1 s	310	...	...	...
Records in buffer 600	...	...	...	...
Spectra per record 4	...	...	...	...
	600	...	...	...

Os cabeçalhos dos dados contidos no vibrômetro podem ainda fornecer mais informações revelantes para eventuais comparações de valores obtidos ou verificações de configurações utilizadas. Nesses cabeçalhos pode-se consultar, nas primeiras linhas, os dados genéricos sobre o modelo, número de série ou versão de *software* do equipamento. O segundo conjunto de informações diz respeito à associação entre o ficheiro onde os dados estão armazenados (*associated file name*) e o ficheiro de *buffer* correspondente, bem como a hora de início da medição, data e função de análise ativada (*octave 1/3*, bandas de terços de oitava, no exemplo apresentado). Posteriormente, segue-se um conjunto de informações relativas aos valores de referência. O cabeçalho finaliza com um conjunto de informações bastante pertinentes, que se sumariza pela ordem de apresentação: 1.º O modo de integração dos valores de aceleração registados pelo acelerômetro do equipamento; 2.º A eventual presença de um sistema de acionamento início/fim remoto, o atraso no início da medição (medido imediatamente após a pressão da tecla START); 3.º O tempo de integração dos níveis vibracionais registados; 4.º O número de ciclos de integração

definidos; 5.º A evolução temporal do registo dos valores no ficheiro do *buffer*; 6.º O número de registos nesse mesmo *buffer*, e o número de espectros (em bandas de terços de oitava) registados pela medição.

Os valores relativos aos níveis vibracionais registados em bandas de terços de oitava possuem especial interesse, pois podem ser cruzados com valores obtidos na bibliografia para situações de exposição simulada em condições laboratoriais controladas. Nestas situações simuladas recorre-se frequentemente à utilização de estímulos vibracionais em frequências concretas ou intervalos relativamente pequenos de frequências (normalmente fruto de um gerador aleatório de frequências e intensidades de vibração). A Tabela 4 apresenta um breve resumo das principais frequências indicadas na bibliografia selecionada e que se relacionam com a previsão dos movimentos do corpo humano sujeito a VCI.

No Anexo II optou-se por incluir um gráfico com os resultados da análise espectral em bandas de terços de oitava, para cada uma das máquinas/equipamentos avaliados. A Figura 13 representa um exemplo desses gráficos, referente a uma medição de um autocarro a circular numa autoestrada, onde podemos observar que os três eixos basicêntricos estão representados por curvas diferentes e os valores mais elevados de aceleração aparecem destacados como picos em determinadas frequências.

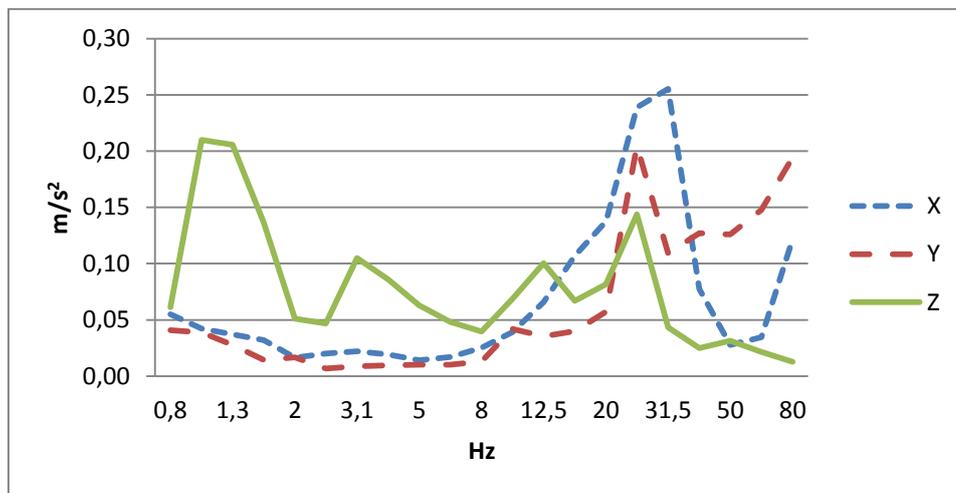


Figura 13 - Gráfico representativo dos resultados da análise espectral em bandas de terços de oitava.

Na secção relativa ao desempenho cognitivo dos operadores/manobreadores apresenta-se uma tabela semelhante (Tabela 2) que procura resumir, dentro da bibliografia selecionada, os estudos laboratoriais desenvolvidos sobre a influência da exposição a VCI na performance humana.

Tabela 4 – Síntese dos estudos efetuados sobre a previsão dos movimentos do corpo humano sujeito a VCI.

Intervalo de frequências	Autores	Observações
0,5 – 20 Hz	Matsumoto & Griffin (1998)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitude de 1,0 m/s ² .
1,6 – 12,5 Hz	Griefahn & Bröde (1999)	Frequência vibracional sinodal, eixo Z e frequência vibracional sinodal simultânea, eixos Z e Y, Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,3, 0,6, 1,2, 1,25 m/s ² .
1 – 25 Hz	Cho & Yoon (2001)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitude de 1,0 m/s ² .
2 – 20 Hz	Mansfield, Holmlund & Lundström (2001)	Frequência vibracional aleatória, impulsos intermitentes regularmente espaçados, impulsos intermitentes irregularmente espaçados e impulsos aleatórios combinados com os dois anteriores. Magnitudes de 0,5, 1,0 e 1,5 m/s ² .
4, 6 e 8 Hz	Bonney & Corlett (2003)	Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Magnitude de 0,001 m/s ² .
26 Hz	Cronin, Oliver & McNair (2004)	Plataforma vibratória. Frequência vibracional sinodal, eixo Z. Deslocamento de 6mm.
0,25 – 20 Hz	Nawayseh & Griffin (2004)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,125, 0,25, 0,625 e 1,25 m/s ² .
0 – 50 Hz	Kolich, Essenmacher & McEvoy (2005)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitude de 0,2 m/s ² .
0,25 – 15 Hz	Nawayseh & Griffin (2005)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,125, 0,25, 0,625 e 1,25 m/s ² .
3,15, 4,0, 5,0, 6,3 e 8,0 Hz	Matsumoto & Griffin (2005)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,5, 1,0 e 2,0 m/s ² .
2 – 20 Hz	Mansfield et al. (2006)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,5, 1,0, e 1,5 m/s ² . Frequência vibracional aleatória combinada, eixo Z, com magnitudes de 0,92, 1,10 e 1,28 m/s ² (resultantes de combinações das magnitudes anteriores).
2 – 20 Hz	Subahsi, Matsumoto & Griffin (2006)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,125, 0,25 e 0,5 m/s ² .
0 – 20 Hz	Blüthner et al. (2006)	Frequência vibracional aleatória, eixo X. Magnitudes de 0,92, 1,28 e 1,80 m/s ² . Frequência vibracional aleatória, simultânea nos eixos X e Y. Magnitudes de 1,06, 1,47 e 2,03 m/s ² (eixo X) e 0,77, 1,12 e 1,57 m/s ² (eixo Y).
2, 2,5, 3,15, 4, 5, 6,3, 8, 10, 12,5, 16, 20, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250 e 315 Hz	Morioka & Griffin (2006)	Frequência vibracional sinodal nos três eixos, X, Y e Z. Magnitude variável, em virtude do principal objetivo destes autores ser a identificação dos limiares de percepção da vibração.
0,25 – 30 Hz	Hinz et al. (2006)	Frequência vibracional aleatória, isoladamente nos eixos X, Y e Z, simultânea nos eixos X e Y, e simultânea nos eixos X, Y e Z. Magnitude variável entre 0,237 e 1,836 m/s ² .
0,5 – 15 Hz	Wang, Rakheja & Boileau (2008)	Frequência vibracional aleatória, eixo Z. Magnitudes de 0,25, 0,5 e 1,0 m/s ² .
0,3 – 30 Hz	Demic (2009)	Frequência vibracional aleatória, eixo X. Magnitudes de 1,75 e 2,25 m/s ² .
2, 4, 8, 16, 31,5 e 63 Hz	Matsumoto et al. (2011)	Frequência vibracional sinodal no eixo, X (posição deitado). Magnitude variável, em virtude do principal objetivo destes autores ser a identificação dos limiares de percepção da vibração.
0,5-20 Hz	Mandapuram et al. (2011)	Frequência vibracional aleatória, isoladamente, nos eixos X e Z, e simultânea nos eixos X e Z. Magnitude de 0,25 (eixo X isoladamente) 0,28 (eixo X combinado com eixo Z) e 0,4 m/s ² (eixo Z, isoladamente ou combinado com eixo X).

6.1.3. Metodologia prática utilizada na determinação do perfil de exposição ocupacional a VCI.

A presente secção contempla uma explicação detalhada e documentada da metodologia prática empregue na determinação do perfil de exposição ocupacional a VCI.

Na determinação do perfil de exposição ocupacional VCI, especial atenção deve ser atribuída à tipificação das tarefas e procedimentos a desenvolver, de modo a assegurar não só a representatividade do perfil, mas também que a vibração medida é típica da exposição que está a

ser avaliada. Nesse sentido, as indicações constantes da norma NP ISO 2631-1:2007 foram, o mais fielmente possível, observadas no desenho do protocolo experimental. São essas importantes recomendações que procuramos enumerar nos próximos parágrafos.

A primeira indicação diz respeito à direção da medição referindo, a acima citada norma portuguesa que a vibração deve ser medida num sistema de coordenadas com a origem num ponto considerado de entrada da vibração no corpo (ver Figura 8). No referido ponto, os transdutores (acelerómetros) devem estar localizados de forma a indicar a vibração na interface entre o corpo e a fonte da vibração. Acrescenta a norma que, no caso concreto de pessoas sentadas, as medições na superfície de suporte do assento deverão ser feitas por baixo das tuberosidades isquiáticas. Na Figura 14 é possível observar-se as referidas tuberosidades na porção inferior do osso da bacia, assinalada com o nome de *ischium*. Considerando que, de um modo geral, as máquinas/equipamentos possuem assentos almofadados, o acelerómetro deve ser colocado na superfície, entre a pessoa e as principais áreas de contacto da superfície (ver exemplo na Figura 7).

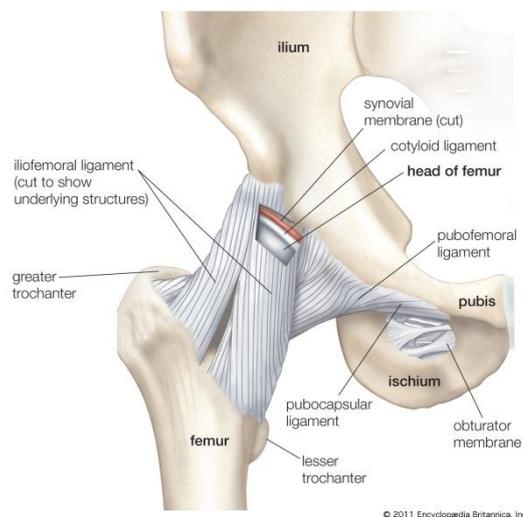


Figura 14 - Pormenor dos ossos e ligamentos da bacia (reproduzida da EB Britannica, 2011).

O segundo aspeto importante, focado na NP ISO 2631-1:2007, aborda a questão da duração da medição. A referida norma deixa a indicação de que “a duração da medição deve ser suficiente para assegurar uma precisão estatística razoável e para assegurar que a vibração medida é típica da exposição que está a ser avaliada”. Acrescenta ainda que a mesma deve ser indicada no relatório. Este aspeto importante da duração da medição já foi abordado na secção relativa à medição de longa duração “versus” medição de curta duração.

Centrados na aplicação da NP ISO 2631-1:2007, como guia auxiliar na determinação do perfil de exposição ocupacional a VCI, considerar-se-á que a secção da norma relativa aos efeitos sobre a saúde dos expostos conteria as indicações mais adequadas e pertinentes, uma vez que as

abordagens e solicitações das empresas estavam relacionadas com o Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de Fevereiro, que visa a proteção dos trabalhadores expostos a vibrações ocupacionais. Na secção 7 da referida norma estão elencadas as principais regras e configurações a respeitar na avaliação dos efeitos sobre a saúde, resultantes da exposição a VCI. A referida secção inicia-se com uma referência ao facto das disposições nela contidas se aplicarem “principalmente a pessoas sentadas, já que não são conhecidos os efeitos da vibração sobre a saúde de pessoas em pé, inclinadas ou deitadas.” Posteriormente contextualiza “os efeitos da vibração de longa duração e de elevada amplitude sobre o corpo”, focando os processos degenerativos nos segmentos lombares (espondilose⁶ deformante, osteocondrose⁷ intervertebral, artrose⁸ deformante), citando a menor probabilidade de se verificarem efeitos no sistema digestivo, no sistema genital/urinário e nos órgãos reprodutivos femininos.

Sobre a avaliação da vibração, a NP ISO 2631-1:2007 menciona que a aceleração eficaz ponderada deve ser determinada para cada eixo (x, y e z) da vibração de translação na superfície que apoia o corpo, de forma independente e concretiza que a avaliação da vibração deve ser feita em relação à aceleração, ponderada em frequência, mais elevada, determinada segundo qualquer eixo sobre o assento. Finaliza com a explicitação das ponderações em frequência e os respetivos fatores multiplicativos, para cada uma dos eixos (eixo x: W_d , $k = 1,4$; eixo y: W_d , $k = 1,4$; e eixo z: W_k , $k = 1$).

Posteriormente, e já sob a forma de anexo informativo (Anexo B), a NP ISO 2631-1:2007 apresenta um guia sobre os efeitos das vibrações na saúde. É neste anexo que se pode encontrar uma ilustração sobre as “zonas de vigilância para orientação no que se refere à saúde”. Na Figura 15 pode verificar-se a existência de dois critérios de definição de zonas orientadoras da necessidade de vigilância. O tracejado formado por traços mais largos (- -) delimita as zonas orientadoras calculadas com base na raiz quadrada do tempo de exposição, enquanto o tracejado formado por traços mais estreitos (...) delimita as zonas orientadoras equivalentes, mas calculadas com base na raiz quarta do tempo de exposição.

O anexo informativo (Anexo B) da NP ISO 2631-1:2007, completa a legenda da Figura 15 com referência às três zonas delimitadas pelos tracejados, explicitando que para exposições a VCI abaixo da zona indicada pelos tracejados não existem evidências de efeitos sobre a saúde (zona 1). As zonas tracejadas delimitam um espaço onde devem ser tomadas precauções, no que se refere a potenciais riscos para a saúde (zona 2). Conclui informando que acima da zona tracejada, são previsíveis riscos efetivos sobre a saúde das pessoas expostas (zona 3). A referida norma portuguesa ressalva que as evidências que fundamentaram a delimitação das três zonas, atrás mencionadas, são relativas a exposições entre quatro a oito horas, sendo por isso de empregar cautela quando se avaliam períodos menores de exposição diária.

⁶ Afeção vertebral de ordem reumática, também conhecida por “bicos-de-papagaio” (Priberam, (Ed.) 2011).

⁷ Afeção idiopática, de cunho não inflamatório, que ocorre durante a fase de crescimento do indivíduo e afeta o núcleo da epífise (Priberam, (Ed.) 2011).

⁸ Afeção não inflamatória das articulações (Priberam, (Ed.) 2011).

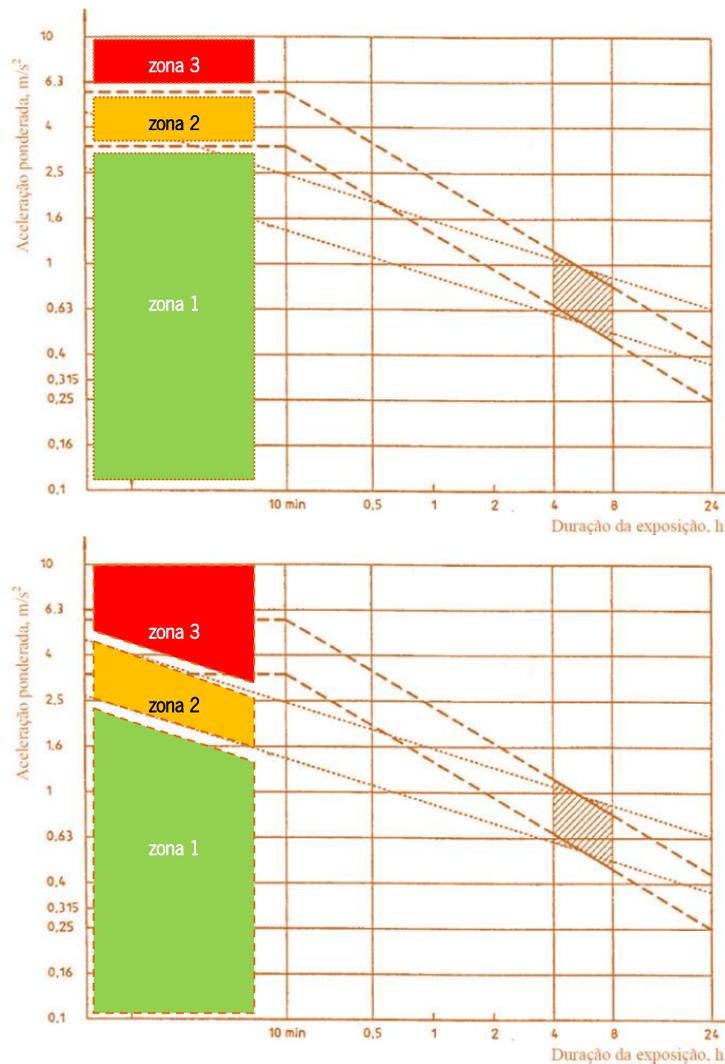


Figura 15 - Zonas de vigilância para orientação no que se refere à saúde (adaptado da NP ISO 2631-1:2007).

Nos dias que antecederam cada uma das avaliações do perfil de exposição a VCI efetuadas, a equipa preparou criteriosamente os equipamentos de avaliação e registo, de modo a assegurar que uma vez chegados ao estaleiro da empresa em causa, a avaliação não era posta em causa por falta de um equipamento, peça ou bateria de fornecimento de energia. As precauções tomadas eram justificadas pela localização afastada dos estaleiros em relação ao Laboratório de Ergonomia. Acresce o facto de, normalmente, os estaleiros visitados se encontrarem junto a frentes de obra de redes viárias e por isso relativamente afastados dos aglomerados populacionais, inviabilizando, por isso, a simples compra de um conjunto de baterias AA, que garantem o fornecimento energético ao vibrómetro utilizado.

Os estaleiros de obra são locais complexos, com grande movimentação de pessoas e equipamentos. Antevendo fontes de distração variadas e a possibilidade de haver alguma pressão para “acelerar” os procedimentos de medição, desenvolveu-se preventivamente um conjunto de listas de verificação para assegurar que não era omitido nenhum passo importante durante as avaliações. Por vezes, a simples omissão de um passo num procedimento é suficiente para

comprometer irremediavelmente todo o trabalho desenvolvido. Acresce ao referido, a constatação prática da dificuldade existente em voltar a avaliar o mesmo equipamento, num outro dia. Os procedimentos de avaliação do perfil de exposição a VCI são morosos e custam tempo de operação das máquinas, sendo por isso percebidos pelos donos de obra, ou pelos subempreiteiros, como um incómodo ou um entrave à produtividade de máquinas/equipamentos que, na maioria das vezes, têm um custo de aluguer de mais de 50€ por hora (custo do operador/manobrador incluído).

De seguida transcrevem-se três listas de verificação utilizadas, uma após a chegada ao estaleiro da obra, outra relativa ao início da avaliação e a terceira relacionada com a necessidade criar um conjunto de amostras para caracterizar uma determinada máquina/equipamento/tarefa.

Lista de verificação CHEGADA AO ESTALEIRO

1. Identificar a máquina/equipamento.
2. Identificar o operador/manobrador.
3. Registar (e fotografar) a máquina/equipamento a caracterizar.
4. Registar o(s) tipo(s) de substrato sobre os quais a máquina/equipamento vai operar.
5. Colocar as seguintes questões sumárias ao operador/manobrador:
 - a. O acelerómetro ou o vibrómetro e respetivos cabos interferem na atividade que vai desenvolver;
 - b. Que tipo de tarefa vai desenvolver durante os próximos minutos;
 - c. Em que local vai desenvolver essa tarefa.
6. Registar na folha de registo de dados *in situ*, as respostas do operador/manobrador.
7. Avançar para a lista de verificação INÍCIO DE AVALIAÇÃO.

Lista de verificação INÍCIO DE AVALIAÇÃO

1. Assegurar a correta orientação da almofada contendo o acelerómetro triaxial, respeitando os eixos basicêntricos do corpo humano.
2. Ligar o cabo proveniente do acelerómetro ao vibrómetro na tomada relativa aos canais 1-3.
3. Ligar o vibrómetro pressionando simultaneamente as teclas “PROCEDE/PAUSE” e “START/STOP”.
4. Aguardar os 60 segundos que o equipamento demora a carregar o *software* e a verificar se todos os sinais elétricos estão a ser recebidos corretamente (*warm up*).
5. Pressionar a tecla MENU, percorrer com as setas ACIMA/ABAIXO até encontrar a opção FILE, selecionar a opção pressionando a tecla ENTER.
6. Percorrer o submenu FILE até encontrar a opção LOAD SETUP, selecionar a opção pressionando a tecla ENTER:
 - a. Percorrer a lista de configurações armazenadas com as setas ACIMA/ABAIXO e selecionar o *setup* “WB_insitu”;

- b. Aguardar que a configuração selecionada seja carregada para a memória do equipamento, indicação READY, no visor do equipamento.
7. Pressionar a tecla START/STOP do vibrómetro para dar início à medição.
8. Acondicionar o vibrómetro na bolsa de retenção.
9. Abandonar a cabine da máquina/equipamento.
10. Aguardar em local seguro e com linha de vista para o operador/manobrador.

Lista de verificação FIM DE AVALIAÇÃO/INÍCIO DE NOVA AVALIAÇÃO

1. Imediatamente após o final da tarefa a avaliar dar ordem de paragem ao operador/manobrador.
2. Aguardar a completa imobilização da máquina/equipamento e abordar a cabine.
3. Concluir a medição pressionando a tecla START/STOP.
4. Pressionar a tecla MENU:
 - a. Percorrer com as setas ACIMA/ABAIXO até encontrar a opção FILE, seleccionar a opção pressionando a tecla ENTER;
 - b. Percorrer com as setas ACIMA/ABAIXO até encontrar a opção SAVE NEXT, seleccionar a opção pressionando a tecla ENTER;
 - c. Aguardar que o ficheiro seja guardado e posteriormente pressionar a tecla ESC para voltar ao ecrã inicial.
5. Registar na folha de registo de dados *in situ* o nome do ficheiro relativo à avaliação em causa.
6. Iniciar nova medição pressionando a tecla START/STOP do vibrómetro.
7. Acondicionar o vibrómetro na bolsa de retenção.
8. Abandonar a cabine da máquina/equipamento.
9. Aguardar em local seguro e com linha de vista para o operador/manobrador pelo final da tarefa.
10. Repetir os pontos de 1 a 9 o número de vezes correspondente ao número de amostras desejadas por cada tarefa.

6.2. Desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobreadores.

6.2.1. Introdução.

Um conceito bastante interessante e que parece relacionado com a questão 2 do atual problema em estudo é o conceito de consciência situacional⁹. Este conceito tenta descrever a percepção dos elementos de um ambiente, limitado pelo espaço e pelo tempo, a compreensão do seu significado e a projecção do seu possível estado num futuro próximo. Os autores Walker et al. (2009) consideraram a hipótese de um programa de treino avançado em condução melhorar a

⁹ Tradução livre do termo "*situational awareness*" no artigo original.

consciência situacional dos condutores. Com o sentido de testarem a sua hipótese, estes autores dividiram os sujeitos de teste em três grupos. Ao primeiro grupo foi ministrado um curso avançado de condução, o segundo grupo foi sujeito a observação, sem contudo receber comentários dessa observação, e o terceiro grupo, não recebeu treino nem foi observado. A performance de todos os sujeitos de teste foi avaliada no início do desenho experimental e reavaliada oito semanas depois (tempo necessário para os participantes do primeiro grupo obterem a aprovação no curso avançado de condução). O grupo de teste número dois teve um total de oito viagens observadas (mas sem comentários) e o grupo três, apenas totalizou duas viagens.

Das conclusões principais destes autores referimos que a frequência do curso avançado de condução aumentou a consciência situacional dos participantes (grupo um), no entanto, tal facto pode estar mais relacionado com o efeito de treino do que com o programa de treino avançado em condução.

Este estudo apresentou uma variável adicional para a atual questão prática. Os sujeitos de teste teriam de ser agrupados em classes de acordo com a sua experiência na condução de veículos, uma vez que essa experiência podia potenciar os resultados obtidos durante a realização dos testes propostos. Passaríamos a ter assim a possibilidade de estudar os efeitos da exposição a VCI sobre o desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobradores, questão 2, considerando como variável independente a idade, ou o número de anos de experiência de condução, ou o sexo. Como variáveis independentes, considerar-se-iam a exposição a VCI, mais concretamente, os três níveis de exposição previamente definidos: sem exposição a VCI, exposição a VCI de nível 1 e exposição a VCI de nível 2.

6.2.2. Caracterização do circuito fechado de teste e respetivo perfil de exposição a VCI.

No sentido de assegurar a existência de reprodutibilidade do desenho experimental, foi necessário conceber uma solução de exposição a VCI cuja reprodutibilidade fosse robusta. Esta solução deveria garantir que todos os sujeitos de teste seriam expostos a perfis idênticos de VCI e que esses perfis seriam passíveis de ser mantidos durante o tempo necessário à realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual.

O recurso a um circuito fechado de teste apresentou-se como uma solução possível e exequível. A sua seleção visou garantir o cumprimento de dois importantes critérios, mormente, incorporar dois tipos de pisos diferentes e assegurar a reprodutibilidade dos testes. Os pisos de eleição foram o piso regular de betuminoso e o piso irregular de cubos graníticos. O carácter fechado do circuito permitiu manter o veículo em movimento e a velocidade constante durante a realização da avaliação do desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobradores, uma vez que não se apresentaria obstáculos, peões ou outros veículos capazes de perturbar o condutor.

Por sua vez, a existência de dois pisos diferentes possibilitou criar dois perfis de exposição a VCI, um com valores mais reduzidos de aceleração e outro com valores mais elevados de aceleração, resultado, respetivamente, do carácter regular ou irregular do piso. Com o intuito de assegurar diferenças estatisticamente significativas destes dois perfis de exposição, foram realizados vários ensaios prévios com velocidades de circulação diferentes. A caracterização da exposição seguiu a metodologia descrita na norma NP-ISO 2631:2007 e já explicitada na secção anterior. A posterior análise dos vários perfis gerados pelos diferentes ensaios possibilitou a seleção das condições de exposição a VCI mais adequadas para a realização da avaliação do desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobreadores, nomeadamente:

- Condição 1 de exposição a VCI, veículo parado e desligado;
- Condição 2 de exposição a VCI, veículo em movimento a velocidade aproximada de 30 km/h, sobre piso regular de betuminoso;
- Condição 3 de exposição a VCI, veículo em movimento a velocidade aproximada de 20 km/h, sobre piso irregular de cubos graníticos.

As velocidades seleccionadas e os dois circuitos de teste utilizados foram eleitos com base em duas considerações diferentes. A primeira relacionava-se com o facto de serem representativos de dois perfis de exposição ocupacional a VCI diferentes, um de nível mais reduzidos (valor médio de a_{wz} de $0,20 \pm 0,012$ m/s²) e outro com valores mais elevados de aceleração (valor médio de a_{wz} de $0,54 \pm 0,049$ m/s²). A segunda consideração coadjuvava o facto de os trajetos e velocidades seleccionadas possibilitarem a manutenção das condições de ensaio de um sujeito de teste para o sujeito de teste seguinte, assegurando deste modo a reprodutibilidade dos ensaios.

No que concerne ao local para a realização dos ensaios, optou-se por modificar a parte posterior de uma Citroen Jumper 2.5D fechada de 2,5 toneladas, com o intuito de proporcionar a aplicação do Teste de Julgamento de Ação e do teste de OMEGA, em situação de exposição real a VCI. Essa modificação contemplou a introdução de dois assentos individuais e uma plataforma de apoio para acomodar o equipamento de realização de ambos os testes (Figura 16). No assento do sujeito de ensaio é possível visualizar a almofada contendo o acelerómetro, responsável por monitorizar os valores de aceleração durante todo o ensaio. Posteriormente, os valores obtidos para cada sujeito de teste permitiriam criar um perfil de exposição e, ao mesmo tempo, verificar se todos os ensaios foram realizados em condições similares.

A opção pela realização do Teste de Julgamento de Ação e do teste de OMEGA no interior de uma carrinha visou obter condições de exposição o mais próximas possíveis das situações reais encontradas aquando da caracterização da exposição ocupacional a VCI anteriormente descrita (ver secção 6.1.3.).



Figura 16 - Modificação realizada na parte posterior de uma carrinha fechada.

O equipamento de realização dos referidos testes foi concebido para avaliar apenas um sujeito de teste de cada vez.

De modo a assegurar que todos os sujeitos de teste recebam a mesma informação/formação inicial, foram desenvolvidas duas listas rápidas de verificação. Estas listas permitiam ainda que o avaliador operacionalizasse as configurações dos equipamentos de teste e de medição de forma mais simples. Considerou-se oportuno incluir as listas rápidas de verificação no presente texto, uma vez que as referidas listas apresentam alguns detalhes técnicos relevantes, nomeadamente, as configurações dos equipamentos do Teste de Julgamento de Ação e de OMEGA, assim como as configurações do vibrómetro utilizado.

Em primeiro lugar apresenta-se a lista de verificação do equipamento de avaliação do perfil de exposição dos sujeitos de teste durante a realização do Teste de Julgamento de Ação e do OMEGA. Conforme referido anteriormente, esta lista assume que as configurações (*setup*) do vibrómetro já teriam sido gravadas na memória interna do equipamento. Este passo prévio deve ser realizado antes da saída do equipamento para a situação de avaliação, garantindo assim a correta configuração dos filtros de ponderação a utilizar, bem como a exata definição dos canais de avaliação e a sua concordância com os eixos basicêntricos do corpo humano.

Lista de verificação VIBRÓMETRO

1. Assegurar a correta orientação da almofada contendo o acelerómetro triaxial, respeitando os eixos basicêntricos do corpo humano.

2. Ligar o cabo proveniente do acelerómetro ao vibrómetro na tomada relativa aos canais 1-3.
3. Ligar o vibrómetro, pressionando simultaneamente as teclas “PROCEDE/PAUSE” e “START/STOP”.
4. Aguardar os 60 segundos que o equipamento demora a carregar o *software* e a verificar se todos os sinais elétricos estão a ser recebidos corretamente (*warm up*).
5. Pressionar a tecla MENU, percorrer com as setas ACIMA/ABAIXO até encontrar a opção FILE, selecionar a opção pressionando a tecla ENTER.
6. Percorrer o submenu FILE até encontrar a opção LOAD SETUP, selecionar a opção pressionando a tecla ENTER:
 - a. Percorrer a lista de configurações armazenadas com as setas ACIMA/ABAIXO e selecionar o *setup* WB_AJT_O;
 - b. Aguardar que a configuração selecionada seja carregada para a memória do equipamento, indicação READY, no visor do equipamento.
7. Imediatamente após o início de um ensaio (TJA ou OMEGA) pressionar a tecla START/STOP do vibrómetro para dar início à medição.
8. Imediatamente após o final do ensaio e antes de dar ordem de paragem ao condutor da carrinha concluir a medição pressionando a tecla START/STOP.
9. Após registo dos dados relativos ao ensaio em causa (TJA ou OMEGA) na folha de registo própria, pressionar a tecla MENU:
 - a. Percorrer com as setas ACIMA/ABAIXO até encontrar a opção FILE, selecionar a opção pressionando a tecla ENTER;
 - b. Percorrer com as setas ACIMA/ABAIXO até encontrar a opção SAVE NEXT, selecionar a opção pressionando a tecla ENTER;
 - c. Aguardar que o ficheiro seja guardado e posteriormente pressionar a tecla ESC para voltar ao ecrã inicial.

As listas de verificação do Teste de Julgamento de Ação e do teste de OMEGA incluem informação relevante sobre a sequência de informação que é transmitida ao sujeito de teste, assim como detalhes sobre a configuração dos respetivos equipamentos. Seguidamente são transcritas as referidas listas de verificação.

Lista de verificação Teste de Julgamento de Ação

1. Ligar o equipamento “Teste de Julgamento de Ação” [item No. 1105, Takei & Company, LTD] à tomada de corrente.
2. Verificar que o interruptor principal está na posição OFF.
3. Colocar os interruptores relativos à agulha esquerda e direita na posição COUNTER BUZZ.
4. Repor os três contadores de erros em ZERO, para a agulha da esquerda e para a agulha da direita.
5. Não é permitida a realização de ensaios preliminares, nem qualquer tipo de treino prévio com o equipamento utilizado.

6. Rodar o interruptor principal para a posição ON de modo a colocar a agulha da DIREITA na marca de início do teste (ver imagem do disco). Após alcançada a posição rodar o interruptor principal para a posição OP (operate).
7. Pressionar o botão de RESET para estabelecer o ponto de referência para início do teste.
8. Ler em voz alta as seguintes instruções: “O disco roda a uma velocidade constante. Consegue ver as setas vermelhas no disco em rotação? Com o volante vai ter de mover estas agulhas [apontadas as agulhas], de modo a evitar todas as setas vermelhas e a linha periférica vermelha, mas também deve fazer passar as agulhas atrás das setas, e não pela sua frente. Tem alguma questão? Inicie o teste assim que eu lhe der a indicação para começar. Irei indicar-lhe novamente o fim do teste.”
9. Pressionar o botão START e simultaneamente dar a indicação verbal de início do teste.
10. Aguardar que o sujeito realize o teste sem fornecer qualquer indicação adicional.
11. Dar a indicação verbal de final do teste, quando o disco parar de rodar.
12. Registrar, em folha própria, o número de erros efetuados pelo ponteiro à direita e à esquerda para os três intervalos de tempo:
 - a. Zero minutos até 1 minuto e 10 segundos;
 - b. 1 minuto e 10 segundos até 2 minutos e 20 segundos;
 - c. 2 minutos e 20 segundos até 3 minutos e 30 segundos.

Lista de verificação OMEGA

1. Ligar o equipamento de teste OMEGA ao equipamento de registo (CTSS);
2. Ligar o CTSS à tomada de corrente;
3. Colocar o potenciómetro SON a 1/4 do seu curso;
4. Colocar o interruptor A-M na posição M;
5. Comunicar ao sujeito de teste as seguintes instruções:
 - a. “Utilizando estes dois manípulos deverá fazer avançar este ponteiro desde a sua posição atual até esta posição (indicar posição final). Durante o percurso (mostrar o percurso sinuoso em forma de ómega) não pode tocar com o ponteiro nos limites do percurso.”
 - b. “Esta tarefa que vai realizar deverá ser uma tarefa mais de precisão do que de rapidez. Por isso tome o tempo necessário para realizar este percurso sem tocar nos seus limites. Caso contrário será assinalado um erro e registado o tempo total despendido para o corrigir.”
 - c. “Sempre que tocar com o ponteiro nos limites ouvirá este som (forçar um erro para reproduzir o som). Corrija a posição do ponteiro e continue a avançar pelo percurso.”
 - d. “Percebeu a tarefa que vai realizar?”
6. Colocar o ponteiro de volta na posição inicial;
7. Permitir que o sujeito de teste faça uma primeira simulação ao longo da primeira secção do percurso de teste (5 centímetros);

8. Recolocar o ponteiro na posição inicial, repor os contadores de erros (NE) e da duração total dos erros (DTE) em ZERO;
9. Anunciar o início do teste e simultaneamente acionar o cronómetro.
10. Parar o cronómetro no final do teste;
11. Colocar o interruptor A-M na posição A.
12. Registrar em folha própria:
 - a. O tempo gasto para efetuar o percurso (TT);
 - b. O número de erros (NE);
 - c. A duração total dos erros (DTE).

Cada um dos 45 sujeitos de teste realizou o Teste de Julgamento de Ação e o teste de OMEGA para cada uma das seguintes condições de exposição: veículo parado com o motor desligado; veículo em movimento a velocidade aproximada de 30 km/h, sobre piso regular de betuminoso; e veículo em movimento a velocidade aproximada de 20 km/h, sobre piso irregular de cubos graníticos.

6.2.3. Metodologia prática para determinação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários.

A presente secção apresenta uma explicação detalhada e documentada da metodologia prática empregue na determinação do desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobradores.

No sentido de avaliar a influência da exposição a vibrações mecânicas de corpo inteiro, no desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobradores, considerou-se a utilização de dois testes distintos. Em virtude de se assumir a conjectura de que se pode dividir a exigência das tarefas de condução e manobra dos equipamentos industriais em exigência cognitiva/visual (dos objetos em movimento), cognitiva/motor (da atuação sobre os pedais, volante e alavancas) e cognitiva/aprendizagem (da comparação com situações semelhantes e evoluções previsíveis), considerou-se a realização do Teste de Julgamento de Ação (TJA) e do teste de OMEGA.

O Teste de Julgamento de Ação (*Action Judgement Test*, item No. 1105) foi desenvolvido pela empresa Takei & Company, LTD. Na sua versão original, este teste foi concebido para avaliar a relação entre a atenção distribuída e a ação resultante de condições em constante mudança. O objetivo do teste é avaliar se um condutor (sujeito de teste) consegue manter uma correta distribuição e resistência da atenção, necessárias para a condução em segurança de um veículo automóvel.

O Teste de Julgamento de Ação é composto por um equipamento com motor síncrono, que assegura a rotação a velocidade constante de um disco. Neste disco estão gravadas dezasseis setas vermelhas num fundo branco e uma linha periférica da mesma cor (Figura 17).

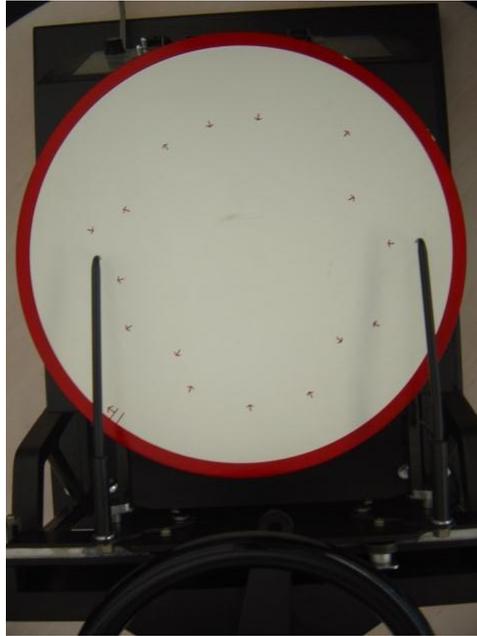


Figura 17 - Pormenor do disco branco utilizado no TJA.

Ao sujeito avaliado é requerida a utilização de um volante, que movimenta duas agulhas (esquerda e direita), de modo a evitar todas as setas e a linha periférica (Figura 18).

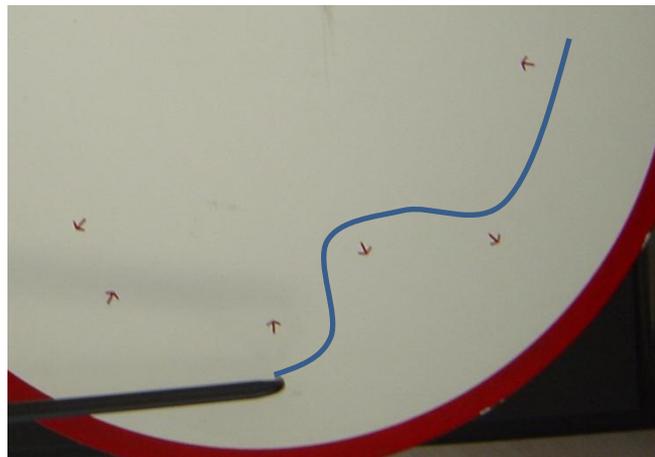


Figura 18 – Exemplo de um trajeto possível para evitar passar com a agulha pela frente das setas vermelhas.

O equipamento possui três contadores elétricos e uma campainha, associados a cada uma das agulhas. Se a agulha esquerda passar pela parte de dentro de uma seta, ou tocar a linha periférica vermelha ou na própria seta, o contador e a campainha são ativados. Ação idêntica acontece para a agulha direita, que possui outros três contadores dedicados (Figura 19). O som da campainha pode ser suprimido por intermédio de um interruptor.

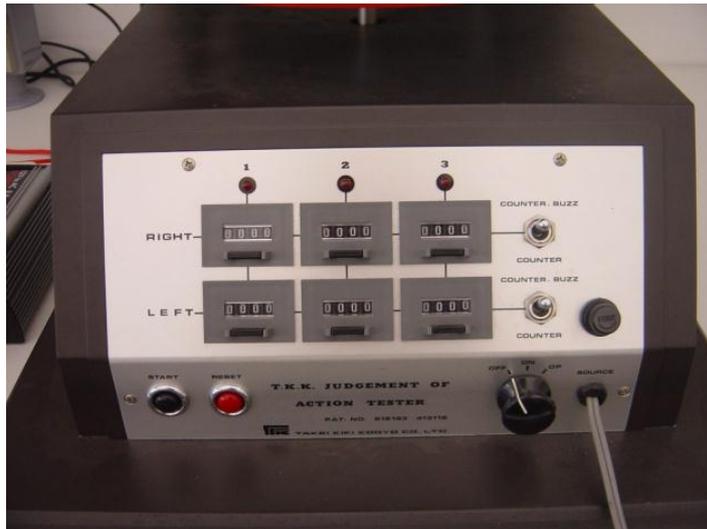


Figura 19 - Mostradores de contagem de erros e controles de operação do equipamento.

O tempo necessário para a condução de cada Teste de Julgamento de Ação é de três minutos e trinta segundos. Os resultados obtidos foram registados num formulário desenvolvido para o efeito e que é reproduzido no Anexo IV.

Não foram permitidos ensaios preliminares, nem qualquer tipo de treino prévio com o equipamento utilizado. As instruções verbais dadas a cada sujeito foram iguais para todos e seguiram o seguinte guião:

“O disco que tem à sua frente irá rodar a uma velocidade constante. Consegue ver as setas vermelhas no disco em rotação?”

Com o volante vai ter de mover estas agulhas [apontadas as agulhas], de modo a evitar todas as setas vermelhas e a linha periférica vermelha, mas também deve fazer passar as agulhas atrás das setas, e não pela sua frente. Tem alguma questão?”

Inicie o teste assim que lhe for dada a indicação para começar. Ser-lhe-á indicado novamente o fim do teste.”

Durante a realização do Teste de Julgamento de Ação, o equipamento registou o número de erros cometidos ao longo de três momentos distintos. Cada um desses momentos tem uma duração de 1 minuto e 10 segundos e totalizam os 3 minutos e 30 segundos de duração total do teste. Um dos pressupostos subjacentes a este teste é referenciado como efeito de treino e é avaliado com base na diferença entre o número de erros que o sujeito de teste comete no primeiro momento de registo (E1) e o número de erros cometidos no terceiro momento de registo (E3). Seguindo uma linha temporal podemos dividir o teste da forma apresentada na Figura 20.

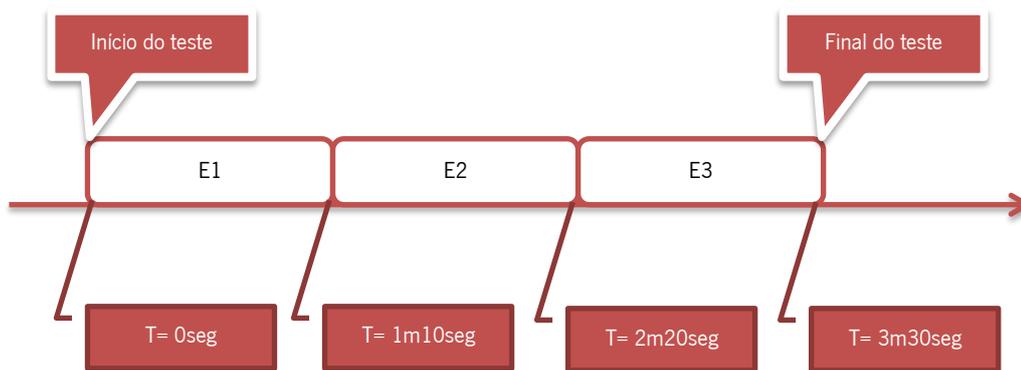


Figura 20 - Representação da linha temporal de realização do Teste de Julgamento de Ação.

É espetável que os sujeitos melhorem a sua performance durante a realização do Teste de Julgamento de Ação, alcançando um menor número de erros na última etapa, comparativamente com a primeira. Deste modo, os autores deste teste consideraram relevante a determinação do “efeito do treino” (Takey and Company, 1996).

O valor do “efeito do treino” é obtido segundo a Equação 10, onde a letra L representa o valor do efeito do treino, a letra A representa o número total de erros registados no primeiro minuto e dez segundos (etapa um) e a letra B representa o número total de erros registados aos três minutos e trinta segundos (etapa três).

$$L = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \quad \text{Equação 10.}$$

O critério de julgamento do Teste de Julgamento de Ação é realizado com base no valor do efeito de treino (L) e no número total de erros (C), sendo depois obtidos os respetivos valores de julgamento na Tabela 5.

Tabela 5 - Critérios de julgamento (adaptado de Takey and Company, 1996).

Classificação	Valor do julgamento	Número total de erros (C)	Valor do efeito de treino (L) %
Aceitável	Excelente	+2	Abaixo de 69
	Favorável	+1	70 - 90
	Boa	0	91 - 104
Não aceitável	Desfavorável	-1	105 - 125
	Pobre	-2	Acima de 126

O teste de OMEGA foi bastante dinamizado por Bonnardel na década de 40, e considerando a sua antiguidade, este teste apresenta ainda inúmeras aplicações práticas, nomeadamente, como instrumento de avaliação da aptidão psicomotora, em baterias de testes psicotécnicos (Bonnardel, 1947; Couchard, 2011). Na sua essência, o referido teste avalia a coordenação psicomotora dos movimentos das mãos, nomeadamente a segurança e a coordenação de movimentos, sendo esta a

vertente do teste se mais de adequa ao atual estudo. Tendo em consideração que a principal preocupação do atual estudo visava encontrar mecanismos de avaliar/quantificar o efeito da exposição a vibrações ocupacionais sobre o desempenho cognitivo/visual, cognitivo/motor e cognitiva/aprendizagem, compreendeu-se que a precisão ou a sensibilidade dos testes selecionados poderiam ditar o sucesso, ou insucesso, da avaliação dos possíveis efeitos ao nível cognitivo. Considerando o modelo sintético de vibração adaptado de Kubo et al. (2001) (ver Figura 5), colocou-se a hipótese da coordenação psicomotora dos movimentos das mãos (segurança e a coordenação de movimentos) ser afetada pela exposição a VCI.

A referência nacional mais antiga encontrada e que menciona claramente a utilização deste método para avaliar a aptidão psicomotora de jovens aprendizes da indústria, data de 1967 e consta de um artigo publicado por Leite dos Reis na revista *Análise Social* (Leite dos Reis, 1967). Neste caso, a autora utilizou o teste de OMEGA com o intuito de verificar se o nível de escolaridade dos aprendizes se refletia na sua aptidão psicomotora. Procedeu, ainda, a uma comparação dos resultados obtidos para a sua amostra com a amostra publicada pelo autor do teste no manual de instruções (jovens aprendizes franceses a frequentar o 1.º ano da escola de aprendizes), tendo encontrado uma curiosa sobreposição das curvas dos resultados.

O desenho prático do teste de OMEGA é bastante simples. Recorrendo a dois manípulos, colocados a 45° do eixo antero-posterior do corpo humano, o sujeito de teste deve fazer avançar um ponteiro ao longo de um percurso sinuoso (com a forma da letra grega ómega). Na Figura 21 é possível verificar que a caixa contendo os dois manípulos e o percurso se encontra ligada a um equipamento de registo. Este equipamento possui dois mostradores eletrónicos (Figura 22). O mostrador da esquerda contabiliza o número total de vezes que o ponteiro tocou nas margens do percurso (número de erros, NE). O mostrador da direita contabiliza o tempo total que o sujeito de teste demorou a corrigir o percurso do ponteiro, afastando-o das margens do percurso (duração total dos erros, DTE).

No caso prático da atual avaliação, considerou-se igualmente importante quantificar o tempo total que o sujeito de teste demorou para efetuar o percurso (tempo total, TT). Este dado adicional possibilitaria, *a posteriori*, validar eventuais diferenças entre sujeitos de teste com resultado zero no número de erros (e consequentemente na duração total dos erros).

Na administração do teste de OMEGA foram fornecidas as seguintes instruções ao sujeito de teste, de acordo com o protocolo mencionado no manual de aplicação (EAP, 1975).



Figura 21 – Base de suporte do teste de OMEGA.

- Com a ajuda destas duas manivelas (apontar) deverá fazer avançar este ponteiro daqui até aqui (mostrar no aparelho o percurso que deve ser percorrido) através desta linha, e sem tocar nas paredes. Ao realizar esta prova deve preocupar-se em ser preciso/cuidadoso, evitando tocar com o ponteiro nas paredes. É importante que seja preciso, mas também que não perca tempo. Cada vez que o ponteiro tocar nas paredes, o aparelho marca erro, o que deve evitar. Sempre que fizer um erro vai ouvir um som (fazer soar o som tocando nos bordos), devendo então, afastar imediatamente o ponteiro do contacto com as paredes do percurso, e continuar até ao fim.

- Compreendeu o que tem a fazer?

- Está pronto? Pode começar.

Se o sujeito comete um ou mais erros nos primeiros 2 cm do percurso, deve colocar-se o ponteiro no ponto de partida e dizer: “Isto foi treino. Vamos começar novamente. (recolocar os contadores e o cronómetro a ZERO)”.

Nunca se deve apressar o sujeito, independentemente do tempo que ele está a gastar. Assim que o sujeito termina a prova devem ser anotados três parâmetros:

- Número total de erros (NE);
- Duração total dos erros (DTE);
- Tempo que o sujeito demorou a realizar a prova (TT).

O tempo de realização da prova e o número total de erros indicam-nos a capacidade de coordenação visual/motora. A duração total dos erros indica-nos sobre o grau de precisão do sujeito.

A título exemplificativo, considere-se a possibilidade de um determinado sujeito de teste completar o percurso sem erros, recorrendo a uma estratégia de micro avanços do ponteiro, reduzindo, deste modo a possibilidade e a probabilidade de cometer erros. Este mesmo sujeito repete o teste para as outras duas condições de exposição a VCI e obtém o mesmo resultado, zero erros. No entanto, comparativamente com o primeiro teste, o sujeito obteve um valor bastante mais elevado na terceira variável introduzida neste estudo, o tempo total. Desta forma, seria possível distinguir o desempenho do sujeito nas diferentes condições de teste recorrendo à terceira variável considerada, o tempo total para completar o percurso (TT).



Figura 22 - Painel frontal do analisador/registador do teste de OMEGA.

Após a realização de cinco ensaios de validação do desenho experimental, concluiu-se que o tempo total (TT) para efetuar o percurso proposto pelo teste OMEGA era demasiado longo. A este tempo (TT) verificado foi acrescentado o tempo pré-determinado para completar o Teste de Julgamento de Ação, acrescido das necessárias explicações aos sujeitos de teste sobre os procedimentos a executar e apurou-se que o tempo global necessário para cada ensaio (que compreende a realização de cada um dos dois testes em três condições distintas de exposição a VCI, por cada sujeito de teste) seria excessivamente longo. Mais concretamente, o tempo previsto para a realização de cada ensaio ultrapassaria a marca dos 75 minutos por cada sujeito de teste. Desta forma, e uma vez que não seria possível assegurar qualquer tipo de gratificação aos participantes, o tamanho da amostra utilizada ficaria comprometido.

A amostra de sujeitos de teste foi selecionada aleatoriamente através de convites endereçados pessoalmente à população frequentadora da Universidade do Minho, Pólo de Azurém. Esta amostra incluiu discentes do 1.º, 2.º e 3.º ciclos de ensino superior, docentes de diferentes departamentos da Escola de Engenharia e funcionários dos Serviços Administrativos e dos Serviços de Ação Social da Universidade do Minho. Totalizou 45 voluntários de ambos os sexos que tinham como único pré-requisito o facto de possuírem habilitação legal para a condução de veículos automóveis ligeiros.

Após serem convidados a participar neste estudo, todos os sujeitos de teste solicitaram mais esclarecimentos sobre os objetivos do estudo e as linhas gerais da metodologia empregue. Um esclarecimento adicional, comum à maioria dos sujeitos de teste, visava a marcação da hora/data de realização dos ensaios e a sua duração aproximada, pois o tempo disponível de cada sujeito de teste para a participação no estudo era um fator-chave na aceitação ou recusa do convite endereçado.

Com este problema em mente, foi necessário pensar em possíveis otimizações do protocolo experimental e verificou-se que a redução do percurso a efetuar no teste de OMEGA, para 1/3 do total, seria a que se apresentava como mais vantajosa. Em primeiro lugar, porque não comprometia de forma irremediável a validação do teste, e em segundo lugar porque reduziria largamente o tempo necessário para a realização do referido teste. Esta otimização e pequenos ajustes no protocolo experimental foram validados com recurso a seis ensaios onde foi possível verificar uma redução significativa no tempo total para completar o percurso (TT). Esta redução conferiu um caráter mais “atrativo” ao estudo em causa, potenciando o número de participações.

De modo a concretizar a proposta de redução do percurso a efetuar no teste de OMEGA para 1/3 do total, o percurso do teste OMEGA foi dividido em três partes iguais (Figura 23), tendo sido traçada uma linha horizontal que assinalava essa divisão. Esta linha foi marcada em papel de acetato transparente, que foi posteriormente fixado no quadrado de alumínio, existente no equipamento, de modo a não comprometer a sua integridade ou a sua funcionalidade.

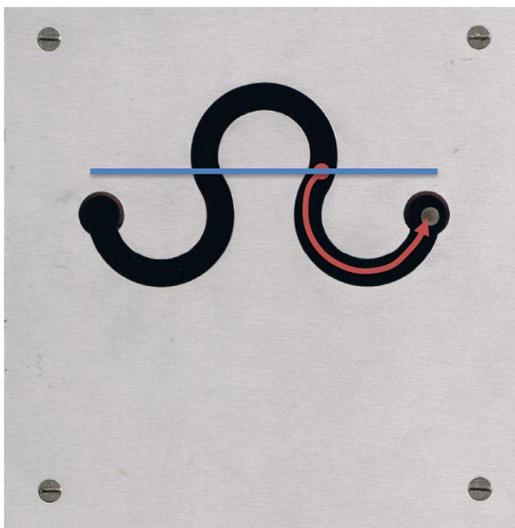


Figura 23 - Detalhe da secção do percurso definido no teste de OMEGA.

A linha curva exibida na Figura 23 representa o percurso do ponteiro que todos os 45 sujeitos de teste tiveram que considerar para completar o teste de OMEGA.

O teste de OMEGA, na sua versão original, não apresenta nenhum condicionalismo de tempo, ou seja, o sujeito de teste pode utilizar todo o tempo que considerar necessário para efetuar

o percurso, movimentando o ponteiro ao longo deste. No entanto, o guia de aplicação do teste sugere que o avaliador caracterize o aspeto motor e o aspeto comportamental do sujeito de teste durante a execução do mesmo. A escala sugerida para estes dois parâmetros possui cinco classes distintas entre A+ e C- (EAP, 1975).

A Tabela 6 apresenta os descritores de cada uma das cinco classes mencionadas.

Tabela 6 - Classificação dos aspetos motor e comportamental observados durante o teste de OMEGA (adaptado de EAP, 1975).

Aspeto motor				
A+	A	B	C	C-
Movimentos rápidos e eficazes.	Movimentos simples e suaves.	Movimentos adaptados.	Movimentos um pouco rígidos.	Movimentos desordenados.
Comportamento				
A+	A	B	C	C-
Atividade, concentração e domínio.	Reações vivas face as dificuldades, reflexão.	Calma, progresso e perseverança.	Ritmo lento e falta de interesse.	Desordenado, nervosismo, lentidão excessiva.

No entanto, na aplicação deste teste psicotécnico, foi considerado que os técnicos que aplicaram o teste não possuíam formação suficiente, no âmbito da Psicologia Cognitiva, que lhes permitisse classificar os sujeitos de teste recorrendo à Tabela 6. Impedidos, por isso, de classificar os sujeitos de teste desta forma, concentrou-se a atenção na Classificação de Precisão obtida pelo valor de NP. Este valor NP é determinado por consulta direta de uma tabela (Tabela 7) que consta do manual de aplicação do teste e na qual estão inscritos os tempos máximos de duração total dos erros (DTE) cometidos durante a realização do teste. A consulta da Tabela 7 revela-se bastante intuitiva e como tem por valor de entrada uma variável registada pelo próprio equipamento de teste (Figura 22), entendeu-se que esta seria exequível e com o rigor necessário à classificação dos sujeitos de teste segundo este critério.

A tabela original de atribuição do valor de precisão NP apresentada no manual de aplicação do método inclui apenas duas colunas. A coluna referente ao valor de NP e a coluna relativa à duração total dos erros (DTE).

Na interpretação dos resultados e classificação dos sujeitos de teste segundo o valor de NP observou-se uma regra prática que se apresenta inscrita na Tabela 7, sob a designação de DTE3. A referida regra resulta da otimização efetuada na aplicação do teste de OMEGA. Como o percurso do teste incluía apenas 1/3 do seu percurso inicial, e seguindo a mesma regra matemática, dividiu-se por três os valores da duração total dos erros (DTE) inscritos na tabela original e obtiveram-se os valores de DTE3.

De acordo com a interpretação proposta pelo manual de aplicação do método, obter-se-ia uma nota de precisão NP de 6 se a duração total dos erros (DTE) registada no equipamento tivesse um valor maior que 60 e menor que 80. Com o percurso reduzido para um terço do total, a mesma

nota de precisão NP de 6 seria obtida se duração total dos erros (DTE) registada no equipamento tivesse um valor maior que 20 e menor que 26,7.

Tabela 7 - Valor de precisão NP, com base na duração total dos erros (DTE) (adaptado de EAP, 1975).

NP	DTE (>)	DTE3 (>)
1	300	100,0
2	210	70,0
3	148	49,3
4	110	36,7
5	80	26,7
6	60	20,0
7	44	14,7
8	31	10,3
9	20	6,7
10	13	4,3
11	9	3,0
12	6	2,0
13	4	1,3
14	2	0,7
15	1	0,3
16	0	0,0

Em virtude da seleção e aplicação do teste de OMEGA, cada ensaio prático gerou um conjunto de quatro variáveis diferentes, o número total de erros (NE), a duração total dos erros (DTE), o tempo total gasto para efetuar o percurso (TT) e o valor de precisão NP, que enriqueceram a diversidade de análises passíveis de serem realizadas.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

CAPÍTULO 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Introdução.

Neste capítulo desta tese são apresentados os principais resultados obtidos, assim como se procede a uma discussão dos mesmos, fundamentada na bibliografia disponível. Sempre que se revelar importante, as tabelas resultantes da análise estatística são incluídas. De contrário, todas as tabelas referentes a análises estatísticas são incluídas no Anexo V deste documento.

Com o sentido de estruturar a apresentação dos resultados obtidos, este capítulo está dividido em três pontos. No primeiro destes é apresentada uma avaliação do perfil de exposição ocupacional a vibrações do corpo inteiro, com base nas avaliações realizadas em 29 diferentes tipos de máquinas/equipamentos. Os resultados obtidos são discutidos segundo o pressuposto de que é possível verificar uma diferença significativa no perfil de exposição a VCI entre as máquinas/equipamentos avaliados.

O segundo destes três pontos inclui a análise comparativa do perfil de exposição a VCI obtido no circuito fechado de teste. Mais concretamente, entre o perfil obtido durante a circulação sobre piso de asfalto e o perfil obtido durante a circulação sobre piso de cubos graníticos.

Por fim, o terceiro ponto contempla a análise e discussão dos resultados obtidos na aplicação dos dois testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários, nomeadamente, o Teste de Julgamento de Ação e o teste de OMEGA.

7.2. Perfil de exposição ocupacional a VCI.

Em primeiro lugar interessa caracterizar o perfil de exposição a VCI segundo a metodologia descrita na secção 6.1.3., intitulada “Metodologia prática utilizada na determinação do perfil de exposição ocupacional a VCI”. Na determinação deste perfil de exposição ocupacional foram seguidas as indicações constantes da norma NP ISO 2631-1:2007. As máquinas/equipamentos avaliadas e que permitiram obter o referido perfil de exposição ocupacional foram divididas em dois grupos.

No primeiro grupo foram incluídas as máquinas/equipamentos que apresentassem valores mais reduzidos de exposição a VCI. No segundo grupo ficaram as máquinas/equipamentos mais pesados e cujos valores de exposição a VCI fossem mais elevados.

A Tabela 8 contém um sumário da descrição das máquinas/equipamentos incluídas no primeiro grupo, assim como os valores médios de aceleração ponderada em frequência, obtidos

para cada um dos três eixos do corpo humano, mais concretamente para o eixo antero-posterior (X), lateral (Y) e vertical (Z). Para numeração das máquinas/equipamentos foi utilizado o critério cronológico da avaliação.

Tabela 8 - Resumo dos valores de aceleração ponderada (média \pm dp) para o grupo 1 de máquinas/equipamentos.

Equipamento n.º	Designação	Marca	Modelo	R.M.S. (m/s ²)		
				Wd_X	Wd_Y	Wk_Z
10	Autocarro, viagem de turismo pela A1.	Scania	114K	0,13 \pm 0,017	0,06 \pm 0,005	0,33 \pm 0,043
11	Autocarro, viagem de turismo pela EN1.	Scania	114K	0,15 \pm 0,023	0,10 \pm 0,007	0,35 \pm 0,083
12	Autocarro, viagem de turismo pela A1.	Volvo	B12	0,09 \pm 0,005	0,10 \pm 0,020	0,30 \pm 0,018
13	Autocarro, viagem de turismo pela EN1.	Volvo	B12	0,12 \pm 0,008	0,12 \pm 0,017	0,34 \pm 0,020
15	Camião RSU, recolha de RSU.	Mercedes	1828	0,15 \pm 0,057	0,22 \pm 0,067	0,26 \pm 0,098
16	Empilhador, movimentação de materiais para reciclagem.	Nissan	D25	0,31 \pm 0,023	0,27 \pm 0,034	0,47 \pm 0,113
18	Empilhador, transporte e elevação de mercadorias.	Doosan	20	0,14 \pm 0,078	0,22 \pm 0,078	0,34 \pm 0,160
19	Empilhador, transporte e elevação de mercadorias.	Doosan	35	0,15 \pm 0,103	0,16 \pm 0,129	0,23 \pm 0,260
20	Empilhador, transporte e elevação de mercadorias.	Doosan	20	0,24 \pm 0,050	0,25 \pm 0,075	0,42 \pm 0,242
21	Empilhador, transporte e elevação de mercadorias.	Doosan	30	0,21 \pm 0,050	0,25 \pm 0,028	0,33 \pm 0,032
22	Empilhador, transporte de madeiras.	Toyota	30	0,02 \pm 0,017	0,01 \pm 0,006	0,09 \pm 0,073
23	Empilhador, transporte de madeiras.	Toyota	60	0,05 \pm 0,067	0,07 \pm 0,088	0,15 \pm 0,096
24	Empilhador, transporte de madeiras.	Toyota	30E	0,43 \pm 0,226	0,35 \pm 0,230	0,42 \pm 0,341
25	Empilhador, transporte de madeiras.	Toyota	25	0,02 (nc)	0,02 (nc)	0,07 (nc)

nc, não calculado por reduzido número de medições (n=2).

Na primeira coluna da Tabela 8 está descrito o número relativo da máquina/equipamento. Este número pode ser utilizado para localizar a máquina/equipamento no Anexo II, onde estão explicitadas a potência (KW), as rotações (RPM), o peso (Kg) de operação destes veículos. Para cada equipamento é ainda possível encontrar, no referido anexo, imagens do veículo e do seu painel de instrumentação principal. Este último ilustra algumas das solicitações visuais associadas à operação destas máquinas/equipamentos.

A análise estatística da Tabela 8 revela valores médios de aceleração ponderada para o eixo vertical do corpo humano (Z) de 0,29 m/s², com desvio-padrão de 0,12 m/s². A seleção do eixo Z

relaciona-se com o facto de ser segundo este eixo do corpo humano que os níveis de aceleração média ponderada se apresentam mais elevados.

Idêntica tabela foi construída para sumarizar a descrição das máquinas/equipamentos incluídas no segundo grupo, assim como os valores médios de aceleração ponderada em frequência encontrados para cada um dos três eixos do corpo humano (X, Y e Z) (Tabela 9).

Tabela 9 - Resumo dos valores de aceleração ponderada (média \pm dp) para o grupo 2 de máquinas/equipamentos.

Equipamento n.º	Designação	Marca	Modelo	R.M.S. (m/s ²)		
				Wd_X	Wd_Y	Wk_Z
1	Giratória, movimentação de terras.	Daewood	DX340LC	0,24 \pm 0,014	0,11 \pm 0,013	0,17 \pm 0,007
2	Rastos, nivelar terras.	Komatsu	D155AX	0,72 \pm 0,043	0,67 \pm 0,062	0,91 \pm 0,096
3	Dumper, transporte de inertes.	Terex	TA 30	0,27 \pm 0,081	0,38 \pm 0,104	0,40 \pm 0,111
4	Pá carregadora, carregar inertes em dumpers.	Fiat Hitachi	FR 220.2	0,41 \pm 0,062	0,47 \pm 0,092	0,44 \pm 0,050
5	Mini Pá carregadora, transporte de areia.	Daewoo	DSL 702	0,40 \pm 0,113	0,58 \pm 0,100	0,83 \pm 0,134
6	Retroescavadora, abertura de valas.	Fiat Hitachi	FB 100.2	0,31 \pm 0,091	0,43 \pm 0,135	0,33 \pm 0,065
7	Rastos, arrastamento de inertes.	Komatsu	D725 AX	0,36 \pm 0,050	0,29 \pm 0,032	0,69 \pm 0,023
8	Cilindro compactador, compactação de inertes.	Caterpillar	CS 663E	0,35 \pm 0,049	0,29 \pm 0,010	1,56 \pm 0,253
9	Dumper, transporte de inertes.	Komatsu	Galeo HM 350	0,59 \pm 0,109	0,74 \pm 0,090	0,70 \pm 0,085
14	Compactador RSU.	Bomag	BC 570 RB	0,36 \pm 0,032	0,49 \pm 0,046	0,57 \pm 0,041
17	Movimentar RSU.	Volvo	L 120 C	0,60 \pm 0,037	0,76 \pm 0,052	0,59 \pm 0,046
26	Trator agrícola, condução em <i>tout-venant</i>	Massey Ferguson	3210F	0,36 \pm 0,009	0,63 \pm 0,015	0,47 \pm 0,022
27	Trator agrícola, condução em asfalto	Massey Ferguson	3210F	0,38 \pm 0,033	0,38 \pm 0,032	0,58 \pm 0,055
28	Trator agrícola, condução em <i>tout-venant</i>	Kubota	B2530	0,31 \pm 0,042	0,59 \pm 0,073	0,74 \pm 0,047
29	Trator agrícola, condução em asfalto	Kubota	B2530	0,25 \pm 0,028	0,37 \pm 0,023	0,62 \pm 0,051

Seguindo a mesma formatação, na primeira coluna da Tabela 9 está descrito o número relativo da máquina/equipamento. Este número pode ser utilizado para localizar a máquina/equipamento no Anexo II, onde estão explicitadas a potência (KW), as rotações (RPM), o peso (Kg) de operação destes veículos. Para cada equipamento é ainda possível encontrar, no referido anexo, imagens do veículo e do seu painel de instrumentação principal. Este último pelas razões atrás mencionadas.

Procedendo a idêntica análise estatística dos valores inscritos na Tabela 9, é possível encontrar valores médios de aceleração ponderada para o eixo vertical do corpo humano (Z) de $0,65 \text{ m/s}^2$, com desvio-padrão de $0,37 \text{ m/s}^2$. De igual forma, a seleção do eixo Z relaciona-se com o facto de ser segundo este eixo do corpo humano que os níveis de aceleração média ponderada se apresentam mais elevados na maioria dos equipamentos.

Com o sentido de validar a hipótese de que seria possível dividir as máquinas/equipamentos analisados em dois grupos, realizou-se o teste estatístico de *Mann-Whitney U*, com a hipótese nula:

H_0 : a distribuição dos valores de aceleração é igual ao longo das duas tabelas.

Os valores de significância obtidos (inferiores a 0,05) conduzem à rejeição da hipótese nula e, por isso, corroboram esta divisão entre os dois grupos de máquinas/equipamentos (detalhes do teste estatístico realizado no Anexo V).

Na bibliografia seleccionada pudemos encontrar numerosos casos de avaliação da exposição ocupacional a VCI. Na maioria desses casos, os autores optam por apresentar os referidos valores de exposição recorrendo à média aritmética dos valores obtidos e respetivo desvio-padrão.

Schwarze et al. (1998) avaliaram 388 condutores profissionais e dividiram-nos por categorias. Na categoria apelidada de “operadores de maquinaria pesada”, é possível encontrar um valor médio de exposição a VCI de $0,67 \text{ m/s}^2$, com desvio-padrão de $0,30 \text{ m/s}^2$, bastante próximo do valor médio obtido para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z) da Tabela 9, nomeadamente, $0,65 \text{ m/s}^2$ (desvio-padrão de $0,37 \text{ m/s}^2$). No entanto, na categoria correspondente a “condutores de empilhadores”, os valores encontrados pelos autores foram relativamente mais elevados que os valores médios da Tabela 8, ou seja, $0,45 \text{ m/s}^2$ de valor médio (desvio-padrão de $0,18 \text{ m/s}^2$) contra os $0,29 \text{ m/s}^2$ (desvio-padrão de $0,12 \text{ m/s}^2$) da referida tabela. Analisando com maior detalhe a Tabela 8, podemos constatar uma variabilidade nos valores relativos a este tipo de veículos. Nomeadamente, conseguimos encontrar um empilhador (Toyota 25) com valores médios de aceleração de $0,07 \text{ m/s}^2$ para o eixo vertical Z do corpo humano e um outro empilhador (Nissan 25D) com valores médios de aceleração bastante mais elevados, $0,47 \text{ m/s}^2$, mas curiosamente mais próximos dos valores encontrados por Schwarze et al. (1998) para esta categoria profissional. De salientar que estes dois empilhadores são equivalentes na capacidade de carga/elevação (a referência numérica dos empilhadores está normalmente associada à sua capacidade de carga, 2,5 toneladas neste caso concreto).

Do conjunto de empilhadores, constantes da Tabela 8, avaliado em tarefas de transporte de madeiras (equipamentos n.º 22 a 25), destacam-se os valores aparentemente mais elevados obtidos para o equipamento número 24 (Toyota 30E).

Contextualizando as condições de avaliação, importa referir que os quatro equipamentos (n.º 22 a 25) realizavam tarefas idênticas, no mesmo tipo de piso, um piso bastante bem conservado de betão. O equipamento número 24 apresenta, inclusive, valores mais elevados de aceleração ponderada em frequência para o eixo antero-posterior do corpo humano (eixo X), quando comparado com os outros dois eixos (eixos Y e Z). Os valores são, nomeadamente 0,43 m/s² para o eixo X, 0,35 m/s² para o eixo Y e 0,42 m/s² para o eixo Z. A particularidade deste equipamento ser movido por um motor elétrico, por oposição aos motores de combustão interna dos restantes três empilhadores, pode ser um dos fatores de influência neste agravamento dos valores das acelerações médias ponderadas. Uma vez que foi possível verificar uma maior capacidade de aceleração e desaceleração do equipamento elétrico em relação aos restantes equipamentos com motor de combustão interna. A influência da capacidade de aceleração inicial dos equipamentos nos resultados da avaliação da exposição ocupacional a VCI já havia sido discutida por Jang & Kook (2004). Estes autores avaliaram cinco empilhadores distintos, com capacidades entre 2 e 7 toneladas e verificaram uma relação negativa entre os níveis de aceleração no eixo antero-posterior (eixo X) e a sensação subjetiva de conforto reportada pelos condutores (Jang & Kook, 2004).

A relevância deste fator foi igualmente analisada por Costa & Arezes (2009) para um tipo particular de empilhadores elétricos apelidados pela indústria de *stackers*. Nesta publicação, estes autores salientam a particularidade deste tipo de equipamentos desenvolver maior força motriz nos instantes iniciais do movimento, força esta que se desenvolve quase exclusivamente segundo o eixo antero-posterior do corpo humano. Acrescentam ainda, os referidos autores, que o próprio mecanismo de controlo da aceleração/movimento destes equipamentos requer um período grande de habituação, e caso não seja proporcionada formação suficiente, os operadores tendem a utilizar estes mecanismos de controlo com se se tratassem de interruptores LIGADO/DESLIGADO, introduzindo desta forma um tipo de movimento característico, que se assemelha a impulsos mecânicos (Costa & Arezes, 2009).

Costa & Arezes (2009) apresentam ainda o fator carga como variável de interesse. No caso dos empilhadores avaliados, os citados autores encontraram diferenças entre os níveis vibracionais registados para a situação transporte de carga e a situação percurso sem carga. Apresentando a situação transporte de carga valores de aceleração média ponderada inferiores à situação de percurso sem carga. A aceleração média ponderada, para o eixo vertical do corpo humano, foi de 1,52 m/s² (desvio-padrão de 0,51 m/s²), na situação de transporte de carga e de 1,63 m/s² (desvio-padrão de 0,53 m/s²) na situação de percurso sem carga (Costa & Arezes, 2009).

Num artigo publicado em 1996, Malchaire et al. procuram caracterizar com detalhe alguns fatores que contribuem para os valores de aceleração registados na operação de empilhadores. Para isso, estes autores selecionaram cinco empilhadores diferentes e avaliaram os níveis vibracionais obtidos em diferentes condições de operação. Nomeadamente, avaliaram a influência de três condutores (com pesos diferentes), quatro tipos de pneus, dois tipos de assento e dois tipos de pisos, nos níveis vibracionais registados.

Aqueles autores concluíram que as principais contribuições para os níveis vibracionais dizem respeito à irregularidade do piso, à velocidade de condução e à qualidade do assento (Malchaire, Piette, & Mullier, 1996). Apesar das diferentes combinações avaliadas por estes autores, os valores mais elevados de aceleração média ponderada foram sempre obtidos para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z). Esta evidência também pode ser observada nos valores registados para os empilhadores, constante da Tabela 8.

No entanto, os valores encontrados por Malchaire et al. (1996) são relativamente mais elevados do que os valores registados na Tabela 8. Comparando os valores obtidos para empilhadores equivalentes (2,5 toneladas), os referidos autores reportam valores de $1,59 \text{ m/s}^2$ para o eixo Z contra os $0,47 \text{ m/s}^2$ verificados num Nissan D25, durante a movimentação de materiais para reciclagem. Sendo que numerosos fatores podem contribuir para esta diferença, nomeadamente, a superfície de trabalho, o estado de conservação e manutenção do empilhador e as posturas e métodos de trabalho do operador.

Por sua vez, Maeda & Morioka (1998) concentraram a sua atenção nos camiões de recolha de Resíduos Sólidos Urbanos. Nesta avaliação, os autores avaliaram os níveis vibracionais em dois camiões com capacidades diferentes (2 e 4 toneladas) e em condições de operação diferentes (parado vazio/cheio, em viagem sobre piso irregular vazio/cheio, em viagem sobre piso regular vazio/cheio e durante a descarga dos RSU). Os valores de vibração, obtidos para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z), variaram entre os $0,8 \text{ m/s}^2$, no caso do camião de menor capacidade, enquanto circulava vazio por uma estrada de piso regular e os $2,45 \text{ m/s}^2$, no caso do camião de maior capacidade enquanto circulava cheio, por uma estrada de piso irregular (Maeda & Morioka, 1998). Os valores reportados por estes autores são superiores aos descritos para o equipamento n.º 15, descrito na Tabela 8, sendo que o camião de recolha de RSU constante da referida tabela possui uma capacidade de carga bastante superior (perto de 12 toneladas). Este fator, por si só, influencia os valores de vibração. Acrescente-se ainda que a avaliação do equipamento n.º 15 foi efetuada durante a realização de percursos efetivos de recolha de RSU, que incluiu paragens para carregar lixo e foram realizadas sobre pisos de betuminoso e cubos graníticos.

Reforçando a ideia de existirem fatores que contribuem para os níveis vibracionais registados, Paddan & Griffin (2002) publicam um estudo relativo a 100 veículos divididos por 14 categorias (automóveis, carrinhas, empilhadores, camiões, tratores, autocarros, *dumpers*, escavadoras, helicópteros, veículos blindados, auto gruas, corta-relvas, auto ceifeiras e camiões de recolha do leite). Concentrando a sua atenção sobre o assento dos veículos, estes autores constataram que a sua existência diminui, por si só, o nível vibracional registado. No entanto, reduções mais significativas dos níveis vibracionais foram alcançadas quando os assentos existentes nos veículos foram substituídos por modelos mais modernos, com um sistema de suspensão incorporado no próprio assento (Paddan & Griffin, 2002). De entre as 14 categorias diferentes de veículos avaliados por estes autores, interessam particularmente os valores obtidos para empilhadores, autocarros, tratores, *dumpers* e escavadoras. No entanto, o facto dos referidos

autores reportarem nesta publicação valores de aceleração média ponderada, calculados para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z), com recurso ao filtro de ponderação W_b (filtro apresentado e sugerido pela norma BS 6841:1987, para o referido eixo) impossibilita uma análise comparativa com os valores expressos na Tabela 8 e Tabela 9 desta publicação. A opção pelo uso do filtro de ponderação W_b em vez do W_k , proposto pela ISO 2631:1997, deve-se ao entendimento de que este último filtro de ponderação valoriza as exposições a VCI com uma componente forte de baixa frequência (Griffin, 1998). Uma breve análise das diferenças entre estes dois filtros pode ser encontrada na secção 2.2., ponderação em frequência.

Na procura de mais fatores de influência no nível de vibração transmitido ao operador, Sherwin et al. (2004) propuseram-se avaliar a influência da pressão dos pneumáticos. Mais concretamente, estes autores realizaram sucessivos ensaios com máquinas de corte e limpeza de árvores, estabelecendo diferentes níveis de pressão nos pneumáticos (20, 50 e 60 Psi).

Os valores obtidos para a aceleração média ponderada no eixo vertical do corpo humano (eixo Z) foram $0,219 \text{ m/s}^2$, $0,276 \text{ m/s}^2$ e $0,491 \text{ m/s}^2$, respetivamente para as pressões nos pneumáticos de 20, 50 e 60 Psi (Sherwin, et al., 2004). Estes resultados salientam a importância da seleção dos pneus, e suas pressões de funcionamento nas máquinas/equipamentos sem suspensão, como é o caso dos empilhadores, tratores agrícolas, escavadoras, giratórias, etc., uma vez que estes são responsáveis pela absorção de uma parte importante das vibrações produzidas pelas irregularidades do terreno.

Rehn et al. (2005) também dedicaram alguma atenção ao tipo de veículos utilizado na limpeza e desmatção de áreas florestais de difícil acesso. Cruzando os dados obtidos durante a avaliação da exposição pessoal a VCI, estes autores encontraram uma influência, estatisticamente significativa, do operador, do modelo do equipamento e do tipo de piso sobre o qual se desloca, nos níveis vibracionais registados (Rehn et al., 2005).

Concentrando as suas avaliações em camiões de transporte de inertes com grande capacidade (*dumpers*), Kumar (2004) cruza os valores de aceleração média ponderada, com variáveis da própria amostra, nomeadamente o sexo do condutor, o seu peso corporal, a idade do veículo e a experiência na condução/operação deste tipo de veículos. Os resultados relativos aos níveis de exposição pessoal a VCI obtidos por este autor não revelam ser afetados pelo sexo do condutor, mas revelam uma relação estatisticamente significativa com o peso corporal do condutor, a idade do veículo e a experiência na condução/operação (Kumar, 2004).

Apesar de as Tabelas 8 e 9 não incluírem avaliações de veículos ligeiros de passageiros, parece pertinente referir o estudo de Funakoshi et al. (2004), onde os autores caracterizam a exposição ocupacional a VCI de motoristas de táxis do Japão. A amostra utilizada por estes autores contemplou 12 veículos da mesma marca e modelo (Nissan Crew 2000cc.), uma vez que esta marca/modelo divide o mercado de veículos táxi com outra concorrente (Toyota Confort). Os valores

de aceleração média reportados por estes autores foram de 0,16 m/s², 0,16 m/s² e 0,31 m/s², respetivamente para o eixo antero-posterior (X), lateral (Y) e vertical (Z) do corpo humano (Funakoshi, et al., 2004). Verifica-se uma interessante analogia entre os valores reportados por estes autores e o perfil de exposição a VCI descrito na Tabela 8 para condutores de autocarros, uma vez que estes dois grupos de condutores profissionais conduzem veículos de transporte de passageiros, sendo o peso e a lotação dos referidos veículos significativamente diferente. No entanto, os valores inscritos na referida tabela variam entre 0,09 e 0,15 m/s², 0,06 e 0,12 m/s² e 0,30 e 0,35 m/s², para os eixos X, Y e Z, respetivamente.

Hoy et al. (2005) realizaram um estudo direcionado para a investigação da eventual relação entre exposição a VCI e “dor nas costas”. Estes autores concentraram a sua amostra em 23 condutores de empilhadores numa empresa de produção de papel. Da caracterização que efetuaram da exposição destes condutores destacam-se os valores médios de exposição a VCI encontrados para este grupo de condutores, nomeadamente, 0,57 m/s² de valor médio (desvio-padrão de 0,12 m/s²) para o eixo vertical do corpo humano (Hoy et al., 2005). Este valor, aparentemente mais elevado do que os anteriormente citados para este eixo, vem reforçar a ideia de que a variabilidade das exposições neste tipo de veículos está bastante dependente da tarefa concreta que os operadores realizam e do estado de conservação do piso, onde essa tarefa é realizada. Este último fator apresenta uma enorme relevância, uma vez que estes equipamentos não possuem suspensão ao nível dos eixos das rodas.

Melo et al. (2005), levaram a cabo um estudo de caracterização da população exposta a VCI no seu ambiente de trabalho e reportaram de igual forma a sintomatologia “dor nas costas”. Mais concretamente, os referidos autores concentraram a sua atenção sobre condutores de autocarros urbanos. Com base nos 66 respondentes, os referidos autores identificaram que 51,1% dos inquiridos apresentava uma exposição prévia a VCI e 56,1% reportavam problemas na coluna vertebral (Melo et al., 2005).

A contribuição do tipo de tarefa desenvolvida para os valores de exposição pessoal a VCI, foi investigada por Newell et al. (2006). Estes autores avaliaram seis tipos diferentes de máquinas de rastos em quatro locais de trabalho distintos, tendo encontrado valores relativamente elevados de exposição a VCI. Nomeadamente, valores de aceleração média ponderada entre:

- 0,65 e 1,12 m/s² para o eixo antero-posterior do corpo humano (eixo X);
- 0,34 e 0,76 m/s² para o eixo lateral do corpo humano (eixo Y);
- 0,51 e 0,96 m/s² para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z).

Os referidos autores consideraram ainda pertinente salientar que a variabilidade registada não depende só da máquina ou local de trabalho avaliado, mas também da tarefa específica que

está a ser realizada (Newell et al., 2006). Os níveis vibracionais apresentados na Tabela 9 para este tipo de equipamentos (equipamento n.º 2 e n.º 7) estão enquadrados pelos valores reportados por estes autores, com a exceção dos valores registados para os eixos X e Y do equipamento número sete, 0,36 e 0,29 m/s², respetivamente. No entanto, e conforme foi referido pelos autores daquela publicação, existe uma enorme variabilidade no perfil dos níveis vibracionais, quando o mesmo equipamento é avaliado em situações de trabalho distintas.

Na Tabela 9 podemos encontrar referenciados os valores de exposição a VCI para dois tipos diferentes de tratores agrícolas. A principal diferença entre estes tratores agrícolas reside no seu peso e na capacidade de força que cada um deles consegue desenvolver. Ambos os equipamentos possuem quatro rodas motrizes e foram avaliados em situações idênticas, nomeadamente durante a circulação entre locais de cultivo, sendo que a variável principal dessa avaliação foi o tipo de piso sobre o qual os tratores se deslocavam, “piso de *tout-venant*” versus “piso de asfalto”.

Da análise dos resultados obtidos é verificável que, de um modo geral, o trator com menos peso e capacidade de força apresenta valores mais elevados de aceleração média ponderada (Kubota B2530, equipamento n.º 28 e 29). Se tivermos em consideração apenas os valores relativos ao eixo vertical do corpo humano (eixo Z), verifica-se que o tipo de piso parece influenciar os valores de exposição a VCI no condutor deste tipo de equipamentos. Nomeadamente, para o equipamento Massey Ferguson 3210F (equipamento n.º 26 e 27) o valor de aceleração média ponderada no eixo Z passou de 0,47 m/s², no “piso de *tout-venant*”, para 0,58 m/s², no “piso de asfalto”. No que respeita ao equipamento Kubota B2530 (equipamento n.º 28 e 29), a situação parece ter sido a inversa, uma vez que o valor de aceleração média ponderada no eixo Z passou de 0,74 m/s², no “piso de *tout-venant*”, para 0,62 m/s², no “piso de asfalto”.

Servadio et al. (2007) investigaram a exposição a VCI em tratores agrícolas. Nomeadamente, estes autores procuraram verificar a influência da escolha de pneumáticos nos níveis de vibrações transmitidas ao condutor destes equipamentos. Para isso, recorreram a um modelo de trator com peso e capacidade de força quase duplicada em relação ao Massey Ferguson 3210F referenciado na Tabela 9. Os referidos autores avaliaram dois tipos de pneumáticos diferentes em duas velocidades de circulação diferentes sobre um piso de asfalto, mais concretamente as velocidades de 40 km/h e 50 km/h. A velocidade elevada imposta à circulação deste trator está relacionada com uma preocupação destes autores, nomeadamente com o facto de os modernos equipamentos agrícolas conseguirem desenvolver velocidades de circulação muito elevadas, tendo em consideração as especificidades destes equipamentos, das quais os autores destacam a não existência de suspensão ao nível dos eixos das rodas.

Os valores de aceleração média ponderada para o eixo vertical (Z) do corpo humano referidos nesta publicação variam entre os 0,31 e os 0,40 m/s², sendo que para ambos os pneumáticos, os valores mais elevados foram encontrados na menor das duas velocidades de circulação (Servadio et al., 2007).

Ao compararmos os valores de aceleração média ponderada, apresentados por estes autores, com os valores constantes da Tabela 9 para, situações análogas, nomeadamente no que se refere ao equipamento n.º 27 e 29 (deslocação sobre piso de asfalto), verificamos uma tendência de redução nos valores de aceleração média ponderada (no eixo Z) à medida que o peso e a capacidade de força do trator agrícola aumentam, ou seja, 0,62 m/s² para o Kubota B2530 (equipamento n.º 29), 0,58 m/s² para o Massey Ferguson 3210F (equipamento n.º 27) e valores de aceleração entre os 0,31 m/s² e os 0,40 m/s² para o modelo avaliado por Servadio et al. (2007).

A exposição ocupacional a VCI resultante da condução de tratores agrícolas também mereceu a atenção de Scarlett et al. (2007). Estes autores concentraram a sua atenção em quatro tipos de tratores agrícolas diferentes, nomeadamente, num modelo de trator sem suspensão, num modelo de trator com suspensão ao nível da cabine do condutor, num modelo de trator com suspensão no eixo anterior ao nível da cabine e num modelo de trator com suspensão integral (eixo anterior e posterior). Recorrendo a um exemplar de cada um dos tipos de tratores agrícolas mencionados, os referidos autores propuseram avaliar os níveis de aceleração média ponderada ao nível do assento dos referidos veículos, enquanto realizavam tarefas rurais “típicas”. Nomeadamente, passagem do arado para revolver a terra dos campos de cultivo, passagem da grade para preparar os terrenos de cultivo, pulverização para controlo de pragas e transporte de reboque com produtos de colheita. Os valores mais elevados de aceleração média ponderada foram obtidos para a tarefa de “passagem da grade”, nomeadamente para o trator agrícola com suspensão no eixo anterior e ao nível da cabine (aceleração ponderada para o eixo Z de aproximadamente 0,6 m/s²) e o valor mais elevado a ser registado no trator com suspensão ao nível da cabine (aceleração ponderada para o eixo Z de aproximadamente 0,8 m/s²).

Curiosamente, todos os modelos de tratores avaliados apresentaram valores de aceleração média ponderada muito semelhantes para a tarefa de transporte de reboque com produtos de colheita (aceleração ponderada para o eixo Z de aproximadamente 0,5 m/s²) (Scarlett, et al., 2007).

Apesar dos valores encontrados por estes autores enquadrarem os resultados expressos na Tabela 9 para os equipamentos descritos pelos n.º 26 a 29, não é possível realizar uma comparação entre eles, uma vez que os tratores constantes da referida tabela circulavam sem reboque.

Podemos encontrar uma excelente base de valores de comparação num estudo epidemiológico realizado por Bovenzi et al. (2006) que envolveu a caracterização dos valores ponderados de aceleração de 74 veículos diferentes, divididos por 15 categorias. O carácter abrangente do estudo realizado por estes autores permitiu construir a Tabela 10 na qual se comparam os valores de aceleração média ponderada para cada um dos eixos (X, Y e Z), obtidos pelos referidos autores, com os valores constantes das Tabela 8 e Tabela 9. Apesar dos valores serem comparáveis, uma vez que todos eles foram obtidos segundo a aplicação da norma ISO

2631:1997, só conseguimos encontrar analogias entre seis tipos de máquinas/equipamentos, respeitando a semelhança provável da tarefa executada durante a avaliação.

Tabela 10 - Comparação dos valores médios de aceleração ponderada R.M.S..

Máquina/Equipamento	[Bovenzi et al. 2006]				[Presente trabalho]			
	Sector de atividade	R.M.S. (m/s ²)			Sector de atividade	R.M.S. (m/s ²)		
		X	Y	Z		X	Y	Z
Dumper	Extração de rocha	0,21	0,25	0,35	Terraplanagem [3, 9]	0,43	0,56	0,55
Escavadora	Extração de rocha	0,24	0,20	0,52	Abertura de valas [6]	0,31	0,43	0,33
Empilhador A	Processamento de rocha	0,30	0,28	0,95	Materiais para reciclagem [16]	0,31	0,27	0,47
Empilhador B	Fábrica de papel	0,11	0,11	0,28	Fábrica de folha de madeira [22 a 25]	0,13	0,11	0,18
Camião de RSU	Serviço público	0,10	0,10	0,24	Serviço público [15]	0,15	0,22	0,26
Autocarro	Serviço de transporte	0,13	0,13	0,43	Serviço de transporte [10 a 13]	0,12	0,09	0,33

[], número relativo da máquina/equipamento.

Da análise da Tabela 10 podemos depreender que, apesar de os valores de aceleração média ponderada não serem iguais, encontram-se concordâncias interessantes entre eles. Nomeadamente, nas categorias empilhador A (processamento de rocha *versus* processamento de materiais para reciclagem) e empilhador B (fábrica de papel *versus* fábrica de folha de madeira), os valores de aceleração média ponderada reportados para os eixos X e Y (antero-posterior e lateral do corpo humano, respetivamente), são bastante semelhantes. Designadamente, 0,30 m/s² *versus* 0,31 m/s², para o eixo X e 0,28 m/s² *versus* 0,27 m/s², para o eixo Y.

No que concerne ao eixo vertical do corpo humano (Z), tanto os valores obtidos por Bovenzi et al. (2006), como os obtidos no presente trabalho, parecem indicar que a qualidade do piso onde se deslocam estes equipamentos contribui significativamente para a aceleração média ponderada segundo esse eixo.

A análise comparativa destes equipamentos (empilhadores A e B) revela uma forte dependência do estado de conservação do piso onde se desloca, considerando os valores obtidos para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z). Revela, ainda, que quanto maior é a capacidade de carga/elevação dos mesmos, maior parecem ser as componentes antero-posterior (eixo X) e lateral (eixo Y) da aceleração.

Da análise global dos valores inscritos na Tabela 10, e da sua distribuição pelos três eixos do corpo humano, podemos depreender que a principal componente da VCI se regista no eixo vertical do corpo humano (eixo Z). Com a exceção da escavadora avaliada no âmbito do presente

trabalho (equipamento n.º6), que deve essa não-concordância ao facto de ter sido avaliada enquanto realizava uma tarefa de abertura de valas, ou seja, com os apoios hidráulicos acionados, resultando numa maior imobilidade do equipamento.

Apesar do número significativo de máquinas/equipamentos avaliados por McCallig et al. (2010), não se segue uma estratégia semelhante à que originou a Tabela 10, para comparação dos valores reportados, uma vez que das seis categorias onde foram incluídas as 114 máquinas/equipamentos, apenas duas podem ser comparadas com os valores constantes da Tabela 9.

Os referidos autores avaliaram a exposição ocupacional a VCI em máquinas/equipamentos existentes em estaleiros de obras de construção civil, mais concretamente, avaliaram empilhadores, mini *dumpers*, corta-relvas (conduzidos na posição sentado), carrinhas de caixa aberta com cabine simples, carrinhas de caixa aberta com cabine dupla e escavadoras. Por essa razão, a comparação dos valores de aceleração média referidos pelos autores apenas será realizada com os valores reportados na Tabela 9 para a retroescavadora (equipamento n.º 6). Acrescente-se que, lamentavelmente, os aludidos autores mencionam apenas as acelerações mais severas obtidas, sem referenciar o eixo do corpo humano a que estas se referem. Desta forma, a comparação possível de ser realizada será entre o valor de $0,43 \text{ m/s}^2$ (desvio-padrão de $0,135 \text{ m/s}^2$) obtido para a aceleração média ponderada no eixo lateral do corpo humano (eixo Y) no equipamento n.º 6 e o valor de $0,2 \text{ m/s}^2$ (desvio-padrão de $1,26 \text{ m/s}^2$), apresentado pelos autores. A grandeza do valor do desvio-padrão reportado pelos referidos autores poderá estar relacionada com o elevado número de escavadoras avaliadas (49), sendo inclusive reportados valores mínimos de $0,20 \text{ m/s}^2$ e máximos de $5,75 \text{ m/s}^2$, para o mesmo conjunto de 49 escavadoras (McCallig, et al., 2010). A diferença entre o valor mínimo e o valor máximo de aceleração média ponderada citada por estes autores ilustra, de uma forma clara, a amplitude de valores de exposição ocupacional a VCI que podem ser encontrados neste tipo de máquinas/equipamentos. Para esta significativa amplitude podem concorrer dois fatores diferentes. O primeiro relaciona-se com a especificidade da tarefa que está a ser desenvolvida aquando da avaliação. O modelo/marca e respetiva potência de operação das máquinas/equipamentos avaliados, constitui o segundo fator de diferença.

Okunribido et al. (2007) caracterizaram os valores de aceleração média ponderada, para três condições distintas, em três autocarros urbanos de marcas/modelos diferentes. Nomeadamente, com o autocarro parado e o motor a trabalhar, com o autocarro a circular num piso de asfalto e, finalmente, com o autocarro a circular num piso irregular de cubos.

As marcas e modelos avaliados foram um miniautocarro da Mercedes (modelo 709D), um autocarro de dois pisos da Leyland (modelo Olympian) e um autocarro de piso único da Volvo (modelo B10BLE).

Lamentavelmente estes autores apresentam apenas os valores de pico e o valor de dose de vibração (VDV), expondo apenas um gráfico com o resumo dos valores médios de aceleração (R.M.S.) (Okunribido, et al., 2007). No entanto, o facto dos referidos autores terem avaliado um autocarro semelhante ao reportado na Tabela 8 (Volvo B12), em duas condições distintas, justifica uma breve análise comparativa.

A análise do referido gráfico resumo, apresentado por Okunribido et al. (2007), permite determinar que, neste tipo de veículos, a componente principal da exposição a vibrações do corpo inteiro ocorre segundo o eixo vertical do corpo humano (eixo Z). Os valores de aceleração média ponderada obtidos para este eixo, pelos referidos autores, foram ligeiramente superiores a $0,4 \text{ m/s}^2$, quando o autocarro viajava num piso de asfalto e cerca de 1 m/s^2 quando se deslocava sobre um piso irregular de cubos.

A avaliação realizada no âmbito do presente trabalho compreendeu, no caso concreto dos autocarros urbanos, a caracterização da exposição quando estes veículos se deslocavam sobre pisos de asfalto, nomeadamente na autoestrada número um (A1) e na estrada nacional um (EN 1). Os valores obtidos no Volvo B12 (equipamento n.º 12 e 13), para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z), foram $0,30 \text{ m/s}^2$ e $0,34 \text{ m/s}^2$, para a A1 e EN 1, respetivamente. Sendo bastante interessante verificar que, apesar das estradas por onde circulavam estes autocarros serem diferentes, é possível encontrar alguma semelhança na ordem de grandeza dos valores de aceleração média ponderada reportados por Okunribido et al. (2007) e os valores dos equipamentos n.º 12 e 13.

Outra publicação relevante sobre autocarros é a de Blood et al. (2010), onde os autores procuram avaliar comparativamente três opções de assento amortecido. Para concretizarem esta análise comparativa, estes autores selecionaram um percurso de viagem que incorporasse “estradas de cidade”, porções de estrada com lombas redutoras de velocidade, vias rápidas recentemente construídas e vias rápidas de construção mais antiga. Ao longo das várias viagens realizadas nestes percursos, os referidos autores calcularam o nível de aceleração média ponderada obtido ao nível do assento para cada ensaio, e os valores relativos aos elementos distintivos de cada parte do percurso. Utilizando o mesmo autocarro, o banco do condutor foi sucessivamente substituído por cada um dos três modelos disponíveis, nomeadamente, dois assentos de marcas diferentes mas com características semelhantes (enchimento de espuma, suspensão por ar comprimido e apoio lombar ajustável), e um terceiro assento igual a um dos anteriores mas com enchimento substituído por silicone.

Os resultados globais obtidos para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z) são ligeiramente superiores aos referenciados na Tabela 8, para os equipamentos n.º 10 a 13. Mais concretamente, os autores citam valores de aceleração média ponderada entre $0,40 \text{ m/s}^2$ e $0,41 \text{ m/s}^2$ para os três modelos de assento, que se comparam com valores entre $0,30 \text{ m/s}^2$ e $0,35 \text{ m/s}^2$ para os dois autocarros avaliados na Tabela 8.

Os referidos autores apresentam também um conjunto de valores de aceleração relativos aos elementos distintivos de cada parte do percurso. Interessa destacar os $0,36 \text{ m/s}^2$ de aceleração média ponderada para o eixo Z do corpo humano obtidos durante a circulação em “estradas de cidade” e porções de estrada com lombas redutoras de velocidade, os $0,43 \text{ m/s}^2$ de aceleração média ponderada, obtidos durante a circulação em vias rápidas recentemente construídas e os $0,51 \text{ m/s}^2$ de aceleração média ponderada, obtidos durante a circulação em vias rápidas de construção mais antiga (Blood, et al., 2010). A amplitude de variação destes valores ajuda a compreender a variabilidade de possíveis valores de aceleração média ponderada passíveis de serem registados quando se avalia a exposição pessoal diária de um condutor profissional de autocarros urbanos.

A influência do tipo de piso na intensidade vibracional média também é reportada por Melo et al. (2003). Os referidos autores encontraram na passagem de “piso de asfalto recente” para “piso de asfalto irregular” e deste para “piso de paralelepípedos” um aumento da intensidade vibracional média segundo os três eixos do corpo humano, reportando ainda uma diminuição do comprimento de onda associado. Mais concretamente, os valores referenciados pelos citados autores para o vetor soma da aceleração ponderada nos três eixos do corpo humano apresentavam valores entre $0,46$ e $0,77 \text{ m/s}^2$ no “piso de asfalto recente”, entre $0,52$ e $1,03 \text{ m/s}^2$ no “piso de asfalto irregular” e entre $0,51$ e $1,12 \text{ m/s}^2$ no “piso de paralelepípedos” (Melo, et al., 2003). Nesta comunicação, os referidos autores encontraram pouca eficácia no sistema de amortecimento incluído no banco do condutor destes veículos, nomeadamente, com valores de avaliação da eficácia da redução da transmissibilidade proporcionada pelo assento (SEAT) superiores a 1. Consideraram os citados autores que para este elevado valor de SEAT contribuiu a má regulação do sistema de amortecimento do banco, uma vez que a maioria dos condutores regulava o sistema de amortecimento em função da sua preferência de resposta às irregularidades do piso, ao invés de o regular segundo o critério de peso corporal.

Em 2011, Johanning publica um artigo sobre as máquinas/equipamentos relacionados com a construção/reparação do caminho-de-ferro. Nesta publicação, o autor coloca especial enfoque na comparação entre a perceção do risco por interpretação do resultado obtido na avaliação dos níveis vibracionais seguindo a aplicação da norma ISO 2631:1997 e o fator de risco calculado seguindo a metodologia do modelo VibRisk¹⁰. O autor considera que a aplicação simples da metodologia descrita na referida norma tende a subavaliar as condições de exposição a VCI, por ignorar as exposições anteriores do operador/manobrador, assim como o seu historial clínico de patologias relacionadas com a exposição ocupacional a VCI. Por ser um conjunto de máquinas/equipamentos relativamente pouco estudados, interessa referir que os valores de aceleração média ponderada, para o eixo vertical (eixo Z) do corpo humano reportados oscilam entre os $0,19 \text{ m/s}^2$ obtidos na máquina/equipamento de nivelção da gravilha, e os $0,67 \text{ m/s}^2$, obtidos na pá carregadora (Johanning, 2011).

¹⁰ No modelo VibRisk é tida em consideração a exposição anterior a VCI, bem como a postura assumida pelo operador/manobrador durante a execução das tarefas que implicam exposição a VCI.

No Anexo II da presente tese é possível encontrar um gráfico relativo à análise espectral em bandas de terços de oitava de todas as máquinas/equipamentos avaliados. Os referidos gráficos expressam as características da exposição ocupacional dos operadores/manobreadores nas situações concretas em que foram avaliados. No entanto, é interessante verificar que em algumas dessas situações, o perfil espectral de exposição revelou componentes importantes na frequência de 3,1 Hz, para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z) e nas frequências de 20 e 25 Hz, para o eixo lateral do corpo humano (eixo Y). Refira-se, a este respeito, e a título exemplificativo, os equipamentos 7 (Komatsu D275 AX), 8 (Caterpillar CS 663E), 10 e 11 (Scania 114K), 12 e 13 (Volvo B12), 14 (Bomag BC 570 RB) e 15 (Mercedes 1828) caracterizados nas Tabelas 8 e 9.

7.3. Perfil de exposição a VCI no circuito fechado de testes.

Conforme descrito na secção 6.2.2. Caracterização do circuito fechado de teste e respetivo perfil de exposição a VCI, foram criadas três situações diferentes de exposição a VCI durante a realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários, nomeadamente:

- Condição 1, que incluía a realização dos testes com o veículo parado (sem exposição);
- Condição 2, que incluía a realização dos testes com o veículo em movimento a velocidade aproximada de 30 km/h, sobre piso regular de betuminoso;
- Condição 3, que incluía a realização dos testes com o veículo em movimento a velocidade aproximada de 20 km/h, sobre piso irregular de cubos graníticos.

A caracterização da exposição a que os voluntários foram expostos durante a realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual seguiu a metodologia descrita na norma NP ISO 2631:2007. Os resultados dessa caracterização estão sumarizados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de aceleração média ponderada obtidos durante a realização dos ensaios.

	Aceleração média ponderada (m/s ²)					
	Condição 2 (piso de betuminoso)			Condição 3 (piso de cubos graníticos)		
	awd eixo-X	awd eixo-Y	awk eixo-Z	awd eixo-X	awd eixo-Y	awk eixo-Z
N	45	45	45	45	45	45
Média	0,08	0,06	0,20	0,22	0,15	0,54
Mínimo	0,07	0,04	0,17	0,18	0,12	0,43
Máximo	0,10	0,11	0,23	0,25	0,20	0,68
Desvio-padrão	0,007	0,012	0,012	0,014	0,019	0,049

Com base num total de 45 voluntários, que realizaram os testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual nas duas condições de ensaio que efetivamente expunham os voluntários a VCI, os resultados revelam um intervalo de valores de aceleração entre os 0,04 m/s², registados para o eixo lateral do corpo humano (eixo Y), na condição de circulação sobre piso de betuminoso, e os 0,68 m/s², registados para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z), na condição de circulação sobre piso de cubos graníticos.

Verifica-se, pela análise da Tabela 11, que foi o eixo vertical (eixo Z) aquele cuja média dos valores de aceleração média ponderada se revelou mais elevada nas duas condições de exposição a VCI. Nomeadamente, os valores médios registados para a aceleração no eixo Z foram de 0,20 m/s² e 0,54 m/s², respetivamente para o piso de betuminoso e para o piso de cubos graníticos. Dentro deste intervalo de valores de aceleração média ponderada para o eixo Z do corpo humano encontramos os valores registados na Tabela 8, relativos à avaliação de dois autocarros de passageiros em duas condições de circulação. Mais concretamente, os referidos autocarros foram avaliados durante viagens em dois pisos de betuminoso diferentes, um relativamente melhor conservado e correspondente ao percurso realizado em autoestrada e outro, também de betuminoso, mas evidenciando maior desgaste, correspondente ao percurso efetuado numa estrada nacional. Os referidos valores de aceleração média ponderada, medidos no assento do condutor, variaram entre os 0,30 m/s², registados para o eixo Z do Volvo B12 (percurso na autoestrada) e os 0,35 m/s² registados para o eixo Z do Scania 114K (percurso na estrada nacional).

Na secção 6.1., perfil de exposição ocupacional a VCI, a análise estatística dos valores de aceleração obtidos para as máquinas/equipamentos incluídos na Tabela 8 tinha revelado valores médios de aceleração ponderada para o eixo vertical do corpo humano (Z) de 0,29 m/s² (desvio-padrão de 0,12 m/s²). Nesse mesmo ponto havia sido já demonstrada a diferença estatisticamente significativa entre os valores médios de aceleração relativos às máquinas/equipamentos constantes nessa tabela e os valores médios de aceleração respeitantes às máquinas/equipamentos referenciados na Tabela 9. Estes últimos apresentavam valores médios de aceleração ponderada para o eixo vertical do corpo humano (Z) de 0,65 m/s² (desvio-padrão de 0,37 m/s²). Se se tentar enquadrar os valores de aceleração média obtidos para as condições 2 e 3 do teste de avaliação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários, nomeadamente, os 0,20 m/s² (desvio-padrão de 0,012 m/s²) obtidos na condição de circulação sobre piso de betuminoso (condição 2) e os 0,54 m/s² (desvio-padrão de 0,049 m/s²) obtidos na condição de circulação sobre piso de cubos graníticos (condição 3), provavelmente consideraremos a condição 2 de exposição a VCI mais próxima dos valores inscritos na Tabela 8 e a condição 3 de exposição a VCI mais próxima dos valores inscritos na Tabela 9.

Revela-se também pertinente a comparação entre os valores de aceleração média reportados por Funakoshi et al. (2004), para automóveis ligeiros em serviço de táxi e os valores registados na Tabela 11, uma vez que estes últimos resultam da exposição a VCI, durante percursos em circuito fechado, efetuados no interior de um veículo classificado como ligeiro de

mercadorias. Nomeadamente, os referidos autores reportaram valores de aceleração média ponderada de 0,16 m/s², 0,16 m/s² e 0,31 m/s², respetivamente para os eixos antero-posterior (X), lateral (Y) e vertical (Z) do corpo humano (Funakoshi et al., 2004). Na referida tabela, verifica-se que os valores de aceleração média ponderada variaram entre 0,07 m/s² e 0,25 m/s², para o eixo X, entre 0,04 m/s² e 0,20 m/s², para o eixo Y, e entre 0,17 m/s² e 0,68 m/s² para o eixo Z. Ou seja, incluem nos seus intervalos de variação, os valores reportados por estes autores.

A representação gráfica dos valores obtidos, para a caracterização do perfil de exposição a VCI durante a realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual, facilita a comparação entre os diferentes eixos do corpo humano, da mesma forma que permite a visualização relativa dos valores obtidos e a sua comparação com o valor de ação de exposição ocupacional a VCI expresso na legislação aplicável (Decreto-Lei n.º 46/2006). Mais concretamente, 0,5 m/s² para uma exposição equivalente de 8 horas. A referência a este valor de ação de exposição é realizada na Figura 24 com recurso a uma linha horizontal.

Com o sentido de facilitar a análise da Figura 24, os valores de exposição foram apresentados agrupados pelos eixos do corpo humano. Assim sendo, torna-se mais fácil verificar que os referidos valores de exposição são bastante diferentes, quando consideramos a circulação do veículo sobre o piso de betuminoso ou sobre o piso de cubos graníticos. A verificação da significância estatística dessa diferença foi realizada com recurso ao programa informático *IBM SPSS Statistics* (versão 19). O teste estatístico selecionado foi o “*Paired sample T-Test*” que permite avaliar se determinados pares de valores são significativamente diferentes entre si. Os resultados obtidos estão sumariados na Tabela 12 e revelam que os valores de exposição média ponderada obtidos para as duas condições de exposição são significativamente diferentes entre si ($p < 0,001$).

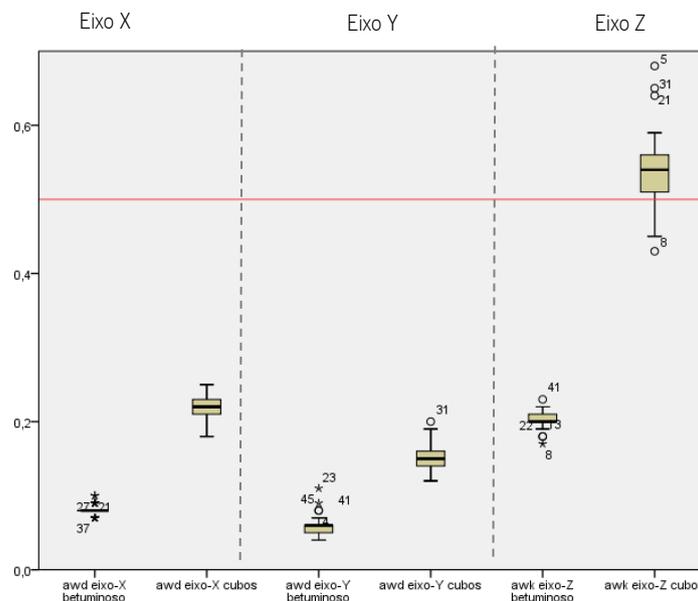


Figura 24 – Gráfico representativo da distribuição dos valores de aceleração média ponderada para os três eixos do corpo humano (X, Y e Z) nas duas condições de circulação.

O facto da análise estatística efetuada ter revelado diferença entre as duas condições de exposição reveste-se de especial importância, uma vez que o objetivo inerente à criação da condição 2 e 3 de exposição a VCI foi o de investigar a eventual influência de duas condições distintas de exposição no desempenho cognitivo e visual dos voluntários.

Tabela 12 - Resumo do “Paired sample T-Test” realizado para as diferenças entre pisos.

	Diferenças entre pares					t	Graus de liberdade	Significância (bilateral)
	Média	Desv. padrão	Erro médio padrão	Intervalo de confiança de 95% entre as diferenças				
				Baixa	Alta			
Par 1 awd eixo X (betuminoso/cubos)	-0,13622	0,01497	0,00223	-0,14072	-0,13173	-61,051	44	<0,001
Par 2 awd eixo Y (betuminoso/cubos)	-0,09067	0,01900	0,00283	-0,09637	-0,08496	-32,015	44	<0,001
Par 3 awk eixo Z (betuminoso/cubos)	-0,33556	0,04683	0,00698	-0,34963	-0,32149	-48,063	44	<0,001

A representação gráfica de extremos e quartis, apresentada na Figura 24, foi selecionada em virtude de conter diversa informação relevante. Esta representação inclui o valor da mediana da aceleração registada para cada eixo do corpo humano (nas duas condições de circulação criadas), cuja representação aparece sob a forma de um pequeno traço negro horizontal dentro de uma pequena caixa. Essa caixa representa o intervalo entre o 1.º e o 3.º quartil. A localização dos extremos da amostra (mínimo e máximo) é assinalada por dois pequenos traços horizontais e corresponde ao intervalo maior visível em torno da mediana. Estes mínimos e máximos da amostra são calculados com base nos próprios quartis, nomeadamente não admitindo que o valor mínimo seja inferior a $Q_1 - 1.5 * (Q_3 - Q_1)$ e o valor máximo superior a $Q_3 + 1.5 * (Q_3 - Q_1)$.

Este tipo de representação gráfica permite ainda a deteção de “outliers”, ou seja, valores que não cabem dentro dos intervalos definidos pelos mínimo e pelo máximo da amostra. Tomando como exemplo a representação dos valores obtidos para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z), durante o percurso sobre cubos irregulares de granito, verifica-se que as amostras números 5, 21 e 31 apresentam valores acima destes intervalos e a amostra número 8 apresenta valores abaixo dos referidos intervalos.

A posição relativa da mediana e o comprimento do intervalo entre o mínimo e o máximo da amostra permite ainda verificar que, no caso dos valores obtidos para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z), durante o percurso sobre cubos irregulares de granito, existe uma assimetria negativa na distribuição dos valores obtidos.

A caracterização da exposição a que os voluntários foram expostos durante a realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual também contemplou a análise do espectro em bandas de terços de oitava. Este tipo de análise espectral das frequências principais de exposição a VCI justifica-se pela necessidade de averiguar quais as frequências de vibração com maiores níveis de aceleração média ponderada, uma vez que o corpo humano não responde de igual forma para todas as frequências do espectro considerado numa situação de exposição a VCI. Estes efeitos são potenciados em determinadas zonas do corpo humano como resultado de um efeito de ressonância entre a frequência de vibração e frequência natural dessas diferentes partes do corpo (Mansfield, 2005).

A Figura 25 representa os valores médios de aceleração ponderada, em bandas de terços de oitava, obtidos durante a realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários. Mais concretamente, ilustra o perfil de exposição obtido a quando da circulação do veículo sobre o piso regular de betuminoso. É possível verificar que existem duas frequências que se destacam pelos níveis de aceleração registados. Nomeadamente, $0,10 \text{ m/s}^2$ na frequência dos 3,1 Hz, para a componente vertical de exposição (eixo Z) e $0,12 \text{ m/s}^2$ na frequência de 25 Hz para a componente lateral (eixo Y).

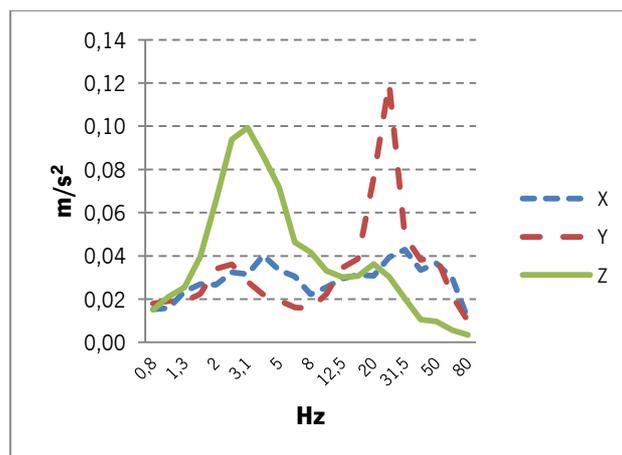


Figura 25 - Gráfico representativo da análise espectral em bandas de terços de oitava relativa ao percurso de betuminoso.

De igual forma, a Figura 26 representa os valores médios de aceleração ponderada, em bandas de terços de oitava, obtidos aquando da circulação do veículo sobre o piso irregular de cubos graníticos. Na referida figura também é possível verificar que existem duas frequências que se destacam pelos níveis de aceleração registados. No que respeita ao eixo vertical do corpo humano (eixo Z), a frequência dos 3,1 Hz continua a apresentar os valores mais elevados de aceleração, nomeadamente $0,27 \text{ m/s}^2$. No que tange ao eixo lateral do corpo humano (eixo Y), verificam-se valores elevados para uma frequência próxima da registada no piso de betuminoso, mais concretamente foram registados valores de aceleração de $0,22 \text{ m/s}^2$ na frequência de 20 Hz.

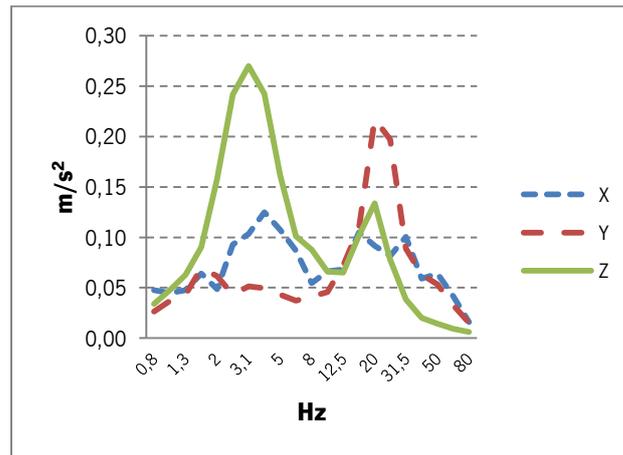


Figura 26 - Gráfico representativo da análise espectral em bandas de terços de oitava relativa ao percurso de cubos graníticos.

É interessante verificar que as frequências para as quais a componente de aceleração média ponderada se verificou mais elevada, nomeadamente 3,1 Hz, 20 Hz e 25 Hz, são normalmente referidas como frequências de interesse nas publicações que reportam ensaios laboratoriais de exposição a VCI (Bonney & Corlett, 2003; Cho & Yoon, 2001; Griefahn & Bröde, 1999; N. J. Mansfield, et al., 2001; N. J. Mansfield, et al., 2006; Matsumoto & Griffin, 1998; Matsumoto & Griffin, 2005; N. Nawayseh & Griffin, 2004; Naser Nawayseh & Griffin, 2005; Subashi, et al., 2006; Wang, et al., 2008). Especialmente quando o objetivo do estudo é mais restrito, ou seja, o intervalo de frequências utilizado não compreende todo o espectro de interesse na exposição a VCI (0,8 a 80 Hz).

Por sua vez, Melo & Penedo (2006), basearam a sua caracterização espectral nas componentes principais da VCI transmitida aos condutores de autocarros urbanos. Os referidos autores verificaram que, para o caso dos percursos urbanos estudados, a componente principal da aceleração de corpo inteiro se desenvolvia segundo o eixo vertical do corpo humano (eixo Z) e apresentava componentes importantes nos intervalos 4 a 5 Hz e 8 a 12,5 Hz do espectro.

Importa reter que a análise estatística das condições de exposição a VCI apresentadas aos voluntários durante a realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual revelou diferença significativa, ou seja, legitimando a pretensão da análise comparativa da performance dos voluntários nas três condições de exposição criadas, veículo parado, veículo em movimento a velocidade aproximada de 30 km/h, sobre piso regular de betuminoso e veículo em movimento a velocidade aproximada de 20 km/h, sobre piso irregular de cubos graníticos.

Tal como já foi referido anteriormente, as velocidades selecionadas e os dois circuitos de teste utilizados foram eleitos com base em duas considerações diferentes. A primeira relacionava-se com o facto de serem representativos de dois perfis de exposição ocupacional a VCI diferentes, um

de nível mais reduzidos (valor médio de a_{wz} de $0,20 \pm 0,012 \text{ m/s}^2$) e outro com valores mais elevados de aceleração (valor médio de a_{wz} de $0,54 \pm 0,049 \text{ m/s}^2$). A segunda consideração coadjuvava o facto de os trajetos e velocidades seleccionados possibilitarem a manutenção das condições de ensaio de um sujeito de teste para o sujeito de teste seguinte, assegurando deste modo a reprodutibilidade dos ensaios.

7.4. Desempenho cognitivo e visual dos voluntários.

Conforme já referido, os voluntários foram seleccionados de forma aleatória através de convites endereçados pessoalmente à população frequentadora da Universidade do Minho, Pólo de Azurém. O grupo de voluntários incluiu discentes do 1.º, 2.º e 3.º ciclo de ensino superior, docentes de diferentes departamentos da Escola de Engenharia e funcionários dos Serviços Administrativos e dos Serviços de Ação Social da Universidade do Minho, totalizando 45 voluntários de ambos os sexos, sendo 20 deles (44%) do sexo feminino. O único pré-requisito consistia no facto de possuírem habilitação legal para a condução de veículos automóveis ligeiros.

A Tabela 13 resume as características particulares desta amostra, nomeadamente a proporcionalidade entre os sexos, a idade e a experiência de condução de veículos automóveis ligeiros. Nesta tabela podemos verificar que a amostra de voluntários foi constituída por 25 indivíduos do sexo masculino (56%), com idades entre os 21 e os 62 anos e experiência de condução de veículos automóveis ligeiros entre 1 a 41 anos. Por seu lado, os voluntários do sexo feminino eram em menor número, apenas 20 (44%), e possuíam idades entre os 21 e os 46 anos e experiência de condução de veículos automóveis ligeiros entre 1 a 28 anos. De um modo geral, os voluntários que participaram na avaliação da influência da exposição a VCI no desempenho cognitivo e visual apresentavam uma idade média de 33,11 anos (desvio-padrão de 10,04 anos) e 13,24 anos de experiência de condução de veículos automóveis ligeiros (desvio-padrão de 9,80 anos).

Tabela 13 - Caracterização dos indivíduos considerados na amostra.

		N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Masculino	Idade	25	34,6	21	62	11,44
	Experiência de condução	25	14,8	1	41	10,99
Feminino	Idade	20	31,3	21	46	7,86
	Experiência de condução	20	11,4	1	28	7,96
Total	Idade	45	33,1	21	62	10,04
	Experiência de condução	45	13,2	1	41	9,80

Com o sentido de verificar se a diferença verificada entre a média de idades e a média de anos de experiência de condução não era significativa, realizou-se o teste estatístico de *Mann-Whitney U*, com a hipótese nula:

H_0 : a distribuição da idade e da experiência de condução é a mesma para ambos os sexos.

Os valores de significância obtidos ($p > 0,05$) conduzem à aceitação da hipótese nula e, por isso, a eventual diferença observada nos resultados obtidos para cada uma das populações (masculina e feminina) não poderá ser atribuída a diferenças na distribuição da amostra. Os detalhes do teste estatístico realizado podem ser encontrados no Anexo V.

A avaliação da influência da exposição a VCI no desempenho cognitivo e visual foi efetuada em dia e hora combinada com cada um dos 45 voluntários. A ordem de exposição a cada uma das três condições diferentes de exposição a VCI foi determinada de forma aleatória, de modo a minimizar eventuais efeitos de aprendizagem/treino sobre os resultados globais dos testes.

Tal como já foi referido anteriormente, as três condições de exposição foram: Condição 1, realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual com o veículo parado (sem exposição); Condição 2, realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual com o veículo em movimento a velocidade aproximada de 30 km/h, sobre piso regular de betuminoso; e Condição 3, realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual com o veículo em movimento a velocidade aproximada de 20 km/h, sobre piso irregular de cubos graníticos.

O resultado final do Teste de Julgamento de Ação é conhecido como “valor do julgamento” e pode ser obtido seguindo duas abordagens diferentes, ambas representadas na Tabela 5. Uma dessas abordagens tem em consideração o valor do efeito de treino e a segunda abordagem utiliza como critério o número total de erros cometidos. Com o sentido de simplificar a apresentação dos resultados obtidos, a primeira abordagem foi codificada como “AJ_L” (*Action Judgment Learning effect*) e a segunda abordagem foi codificada como “AJ_TE” (*Action Judgment Total Errors*).

Na Tabela 5 é possível verificar duas classes distintas de resultados finais após a aplicação do Teste de Julgamento de Ação. Essas duas classes recorrem ao adjetivo “aceitável” para caracterizar o voluntário que realizou o teste em função da expectativa de desempenho de tarefas de condução. Assim, o candidato à obtenção de carta profissional de condução seria classificado como aceitável ou não aceitável para a obtenção desse documento (Takey and Company, 1996). A aparente simplicidade da classificação obtida por aplicação do Teste de Julgamento de Ação esteve entre as principais razões da sua seleção para determinar uma eventual interferência da exposição a VCI no desempenho cognitivo e visual dos operadores/manobreadores.

Recorde-se que o Teste de Julgamento de Ação apresenta um disco branco que se encontrava em rotação a uma velocidade constante e nesse disco estão gravadas 16 setas

vermelhas e uma linha periférica da mesma cor (Figura 17). Ao sujeito avaliado é requerida a utilização de um volante, que movimentava duas agulhas (esquerda e direita) cujo movimento é solidário, de modo a evitar todas as setas, assim como tocar na linha periférica. Por isso, as solicitações cognitivas durante a realização do Teste de Julgamento de Ação são mais específicas, nomeadamente:

- Uma componente visual, caracterizável pela identificação da orientação das setas vermelhas e aferição da passagem das agulhas pela sua parte posterior;
- Uma componente motora, caracterizada pela movimentação do volante que comanda as agulhas, de forma sincronizada com a informação visual;
- É uma componente relacionada com a aprendizagem, uma vez que o disco roda de forma contínua e, por isso, as situações mais problemáticas de passagem das agulhas pela parte posterior das setas são repetidas ao longo do teste e a intervalos regulares.

A classificação final média do Teste de Julgamento de Ação, obtida pelos 45 voluntários em função das três condições de exposição a VCI, está resumida na Tabela 14 que inclui ainda os resultados parciais em função do sexo dos voluntários.

No que diz respeito ao valor do julgamento de ação obtido segundo critério do efeito de treino (AJ_L), a análise dos valores expressos na Tabela 14 revela resultados pertinentes que se comentam de seguida.

Se se considerar o número total de voluntários, independentemente do sexo, verifica-se que a condição mais desfavorável para a realização do Teste de Julgamento de Ação é a condição 2 (carrinha a circular sobre um piso regular de betuminoso). A média dos resultados obtidos é inferior a zero (-0,11), e por isso, o Teste de Julgamento de Ação classificaria este conjunto de voluntários como “não aceitáveis”. Por oposição, registam-se resultados superiores a zero, obtidos pelos voluntários durante a realização do Teste de Julgamento de Ação nas condições 1 e 3 (veículo parado e veículo em circulação sobre um piso irregular de cubos graníticos, 0,47 e 0,29, respetivamente).

Considerando apenas os resultados obtidos pelo conjunto dos voluntários do sexo masculino, verifica-se idêntica conclusão. Os voluntários obtiveram valores inferiores a zero na condição 2 de exposição a VCI (-0,28) e superiores a zero nas condições 1 e 3 (0,60 e 0,56, respetivamente).

Tabela 14 - Resumo dos resultados do Teste de Julgamento de Ação.

		N	Valor do julgamento de ação (segundo o efeito de treino AJ_L)				Valor do julgamento de ação (segundo o total de erros AJ_TE)			
			Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Masculino	Condição 1 (parado)	25	0,68	-2	2	1,345	1,40	-2	2	1,155
	Condição 2 (betuminoso)	25	-0,28	-2	2	1,275	0,68	-2	2	1,492
	Condição 3 (cubos)	25	0,56	-2	2	1,121	0,80	-2	2	1,658
Feminino	Condição 1 (parado)	20	0,20	-2	2	1,399	0,75	-2	2	1,517
	Condição 2 (betuminoso)	20	0,10	-2	2	0,852	0,75	-2	2	1,482
	Condição 3 (cubos)	20	-0,05	-2	2	1,099	0,40	-2	2	1,569
Total	Condição 1 (parado)	45	0,47	-2	2	1,375	1,11	-2	2	1,352
	Condição 2 (betuminoso)	45	-0,11	-2	2	1,112	0,71	-2	2	1,471
	Condição 3 (cubos)	45	0,29	-2	2	1,141	0,62	-2	2	1,614

No caso particular dos voluntários do sexo feminino, os valores obtidos durante a realização do Teste de Julgamento de Ação foram diferentes. Mais concretamente, o pior resultado (“não aceitável”, com -0,05) foi obtido na condição 3 de exposição a VCI, aquela que, segundo os valores apresentados na Tabela 11, seria a condição mais gravosa de exposição. Este grupo de voluntários apresenta um resultado superior a zero para as condições 1 e 2 de exposição a VCI (0,20 e 0,10, respetivamente).

Verifica-se, no entanto, que uma análise aos valores mínimos e máximos obtidos pelos 45 voluntários no Teste de Julgamento de Ação variaram sempre entre -2 e 2, independentemente do subgrupo considerado (voluntários do sexo masculino ou feminino).

De modo a verificar se as diferenças reportadas no resultado final do Teste de Julgamento de Ação, entre os voluntários do sexo masculino e os voluntários do sexo feminino, seriam estatisticamente significativas ao ponto de se poder afirmar que uns e outros tiveram resultados diferentes na realização do Teste de Julgamento de Ação para as condições 2 e 3 de aplicação, foi realizado um teste à independência das amostras. Este teste estatístico possibilita a verificação da existência, ou não, de igualdade nas médias obtidas. Os resultados obtidos estão sintetizados em tabela própria no Anexo V e revelam que, as médias dos resultados obtidos na realização do Teste de Julgamento de Ação não são significativamente diferentes entre si ($p > 0,05$), independentemente das condições de realização do referido teste (condição 1, condição 2 ou condição 3).

No que diz respeito ao valor do julgamento de ação obtido segundo critério do número total de erros (AJ_TE), a análise dos valores expressos na Tabela 14 revela resultados diferentes. Sobretudo, se se considerar o número total de voluntários, independentemente do sexo, verifica-se que a condição mais desfavorável para a realização do Teste de Julgamento de Ação é a condição 3 (carrinha a circular sobre um piso irregular de cubos graníticos). No entanto, os valores obtidos para o referido teste, independentemente das condições de realização, são sempre superiores a zero e, por isso, a classificação dos voluntários seria de “aceitáveis”.

Observando apenas os resultados obtidos pelo conjunto dos voluntários do sexo masculino verifica-se diferente conclusão. Nomeadamente, estes voluntários obtiveram valores inferiores na condição 2 de exposição a VCI (0,68) quando comparados com os valores obtidos para as condições 1 e 3 (1,40 e 0,80, respetivamente). No que se relaciona com os voluntários do sexo feminino, o melhor resultado (0,75) foi obtido tanto para a condição 1, como para a condição 2 de exposição a VCI.

Efetuada uma análise aos valores mínimos e máximos obtidos pelos 45 voluntários no Teste de Julgamento de Ação, é possível verificar que estes variaram sempre entre -2 e 2, independentemente do subgrupo considerado (voluntários do sexo masculino ou feminino). Seguindo a estratégia de análise anterior, e aplicando um teste estatístico à independência das amostras nos resultados obtidos na realização do Teste de Julgamento de Ação, verifica-se que os valores médios não são significativamente diferentes entre si ($p > 0,05$), independentemente das condições de realização do referido teste (condição 1, 2 ou 3). Os resultados estatísticos encontram-se apresentados no Anexo V.

Após o tratamento estatístico dos dados obtidos, realizado com o objetivo de verificar se era possível identificar diferenças entre as classificações obtidas no Teste de Julgamento de Ação em função do sexo dos voluntários, importa determinar se existem efetivamente diferenças nas classificações obtidas pelos voluntários em função do tipo de exposição a VCI. Mais concretamente, interessa determinar se as diferenças entre as classificações expressas na Tabela 14 são estatisticamente significativas para demonstrar um efeito da exposição a VCI no desempenho dos voluntários no teste de Teste de Julgamento de Ação. O teste estatístico escolhido foi o “*Friedman Test*” que compara os valores obtidos por cada um dos elementos do par entre si e verifica se a diferença pode ser atribuída a um fator externo (condição de teste 1, 2 ou 3). A Tabela 15 resume os valores de significância obtidos para os seis pares considerados, nomeadamente, os três pares possíveis para cada critério de obtenção do valor de julgamento de ação (AJ_L ou AJ_TE).

A Tabela 15 apresenta resultados pertinentes para a atual análise, não só quando se compararam os valores obtidos após aplicação do critério do número total de erros (AJ_TE), mas também quando se compararam os valores obtidos após aplicação do critério do efeito de treino (AJ_L).

Tabela 15 – Resultados do “*Friedman Test*” à média dos valores de julgamento de ação.

		N	Qui- quadrado	g.l.	p
Critério do número total de erros (AJ_TE)	AJ_TE parado – AJ_TE betuminoso	45	4,840	1	0,028
	AJ_TE parado – AJ_TE cubos	45	6,000	1	0,014
	AJ_TE betuminoso – AJ_TE cubos	45	0,034	1	0,853
Critério do efeito de treino (AJ_L)	AJ_L parado – AJ_L betuminoso	45	6,737	1	0,009
	AJ_L parado – AJ_L cubos	45	0,758	1	0,384
	AJ_L betuminoso – AJ_L cubos	45	1,690	1	0,194

Iniciando a análise dos pares de valores de julgamento de ação obtidos segundo o critério do número total de erros, verifica-se que existem diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os valores obtidos na realização do teste com o veículo parado e os valores obtidos na realização do teste com o veículo a circular, quer seja sobre um piso regular de betuminoso ou um piso irregular de cubos graníticos.

Abordando os pares de valores de julgamento de ação obtidos segundo o critério do efeito do treino, mantem-se apenas uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os valores obtidos na realização do teste com o veículo parado e os valores obtidos na realização do teste com o veículo a circular sobre um piso regular de betuminoso.

Verificou-se ainda a possibilidade dos fatores idade, experiência de condução ou sexo dos voluntários influenciarem tanto a distribuição do valor de treino (L), como o número total de erros (TE), com recurso a testes de independência das amostras. No entanto, os valores de significância estatística obtidos não revelaram existir influência destes fatores (idade, experiência de condução ou sexo dos voluntários) na distribuição do valor de treino (L), nem no número total de erros (TE). A tabela resumo deste teste estatístico pode ser consultada no Anexo V desta tese.

Os resultados referidos no parágrafo anterior parecem indicar a existência de um efeito da exposição a VCI sobre o desempenho cognitivo e visual dos voluntários. No entanto, esse efeito parece ser mais visível sobre a coordenação motora/visual, colocada em evidência pelo critério do número total de erros, onde se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre a condição de realização do teste com o veículo parado e as restantes duas condições com o veículo em movimento.

Assumindo o pressuposto de que a utilização do critério do efeito de treino coloca maior ênfase na componente cognitiva/aprendizagem, os testes estatísticos realizados não apresentam uma relação tão clara como a anterior, uma vez que apenas foi possível verificar-se uma diferença

significativa ($p < 0,05$) no desempenho entre a condição veículo parado e veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso.

Imediatamente após a conclusão do Teste de Julgamento de Ação, foi proposta aos voluntários a realização do teste de OMEGA. Conforme descrito anteriormente, este teste avalia a coordenação psicomotora dos movimentos das mãos, nomeadamente a segurança e a coordenação de movimentos, servindo, por isso, para avaliar se a coordenação psicomotora dos movimentos das mãos é afetada pela exposição a VCI.

Pelas razões explicitadas no ponto desta tese referente à metodologia, foi realizada uma otimização do protocolo experimental, reduzindo para 1/3 o percurso total do teste de OMEGA e, por isso, os valores de duração total dos erros que serviram de referência para a Classificação de Precisão (NP) foram reduzidos em igual proporção (DTE3) (ver Tabela 7).

A Tabela 16 apresenta um resumo dos principais resultados obtidos pelos voluntários durante a realização do teste de OMEGA. Esta tabela tem em consideração não só as três condições de realização do teste, mas também apresenta uma divisão dos resultados obtidos segundo a variável sexo do voluntário.

Tabela 16 - Resultados do teste OMEGA obtidos pelos voluntários, nas três condições de exposição a VCI.

		N	NE				DTE			
			Mínimo	Máximo	Média	dp	Mínimo	Máximo	Média	dp
Masculino	Condição 1 (parado)	25	0	16	4,8	5,24	0,0	3,6	1,0	1,21
	Condição 2 (betuminoso)	25	0	31	11,9	9,88	0,0	10,7	2,8	2,84
	Condição 3 (cubos)	25	4	85	26,1	17,16	0,4	85,8	10,2	17,32
Feminino	Condição 1 (parado)	20	0	31	6,5	7,47	0,0	13,1	1,9	3,06
	Condição 2 (betuminoso)	20	2	65	15,7	14,44	0,4	19,9	4,3	4,51
	Condição 3 (cubos)	20	13	63	28,6	14,44	1,2	44,8	10,6	10,73
Total	Condição 1 (parado)	45	0	31	5,6	6,31	0,0	13,1	1,4	2,25
	Condição 2 (betuminoso)	45	0	65	13,6	11,93	0,0	19,9	3,5	3,70
	Condição 3 (cubos)	45	4	85	27,2	15,88	0,4	85,8	10,4	14,61

N, número de amostras; NE, número total de erros; DTE, duração total dos erros (em segundos).

No que concerne ao número total de erros (NE) cometidos pelos voluntários durante a realização do teste de OMEGA, da análise da Tabela 16 é possível depreender que este apresenta um valor mínimo de zero erros para a condição 1 (veículo parado), quer no conjunto de voluntários do sexo masculino, quer no conjunto de voluntários do sexo feminino.

Caso se tenha em consideração o resultado médio obtido para este parâmetro de análise (NE), verifica-se que o valor médio vai aumentando à medida que aumenta o valor de aceleração média ponderada a que os voluntários estão sujeitos. Deste modo, o número médio de erros (NE) para o total de voluntários da amostra passa dos 5,6 erros, obtidos na condição de realização do teste com o veículo parado (condição 1), para 13,6 erros, obtidos na condição de realização do teste com o veículo em movimento sobre um piso regular e betuminoso (condição 2) e 27,2 erros, quando o veículo se desloca sobre um piso irregular de cubos graníticos (condição 3). Este aumento progressivo do número de erros em função da condição de exposição é comum aos voluntários, independentemente do seu género.

No que respeita à duração total dos erros (DTE), ou seja, ao tempo total que os voluntários usaram para corrigir os erros cometidos durante a realização do teste de OMEGA, na Tabela 16 é verificável que este parâmetro apresenta um valor mínimo de zero segundos para a condição 1 (veículo parado), quer no conjunto de voluntários do sexo masculino, quer nos do sexo feminino. Este resultado deve-se ao facto de terem existido voluntários, de ambos os sexos, que não cometeram erros durante a realização do referido teste e, por isso, não despenderam tempo na sua correção. No entanto, e considerando os valores médios obtidos para este parâmetro (DTE), verifica-se, à semelhança do parâmetro total de erros (TE), que o valor médio vai aumentando à medida que aumenta o valor de aceleração média ponderada a que os voluntários estão sujeitos. A duração total de erros para o total de voluntários da amostra passa dos 1,4 segundos, obtidos na condição de realização do teste com o veículo parado (condição 1), para 3,5 segundos, obtidos na condição de realização do teste com o veículo em movimento sobre um piso regular e betuminoso (condição 2) e 10,4 segundos quando o veículo se desloca sobre um piso irregular de cubos graníticos (condição 3). Este aumento progressivo da duração total dos erros em função da condição de exposição é comum aos voluntários, independentemente do seu sexo.

No entanto, relativamente ao parâmetro tempo total despendido na realização do teste de OMEGA (TT da Tabela 17), o comportamento desta variável ao longo das três condições de realização do teste (condição 1, 2 e 3) parece ser diferente. Mormente, se se considerarem os valores mínimos obtidos para este parâmetro, verifica-se uma redução do tempo total gasto (TT) por comparação do valor obtido para a condição 1 (veículo parado) com os valores obtidos para as condições 2 (veículo em movimento sobre um piso regular e betuminoso) ou condição 3 (veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos). Mais concretamente, 19,50 segundos, por oposição aos 18,65 segundos e 16,40 segundos, obtidos respetivamente, para a condição 2 e 3 de realização do teste de OMEGA.

Tabela 17 - Resultados do teste OMEGA obtidos pelos voluntários nas três condições de exposição a VCI.

		N	TT				NP			
			Mínimo	Máximo	Média	dp	Mínimo	Máximo	Média	dp
Masculino	Condição 1 (parado)	25	22,40	69,90	40,08	13,046	4	16	10,7	4,87
	Condição 2 (betuminoso)	25	19,25	67,12	40,30	12,440	1	16	6,8	4,53
	Condição 3 (cubos)	25	21,06	110,15	47,89	25,045	1	16	3,5	3,39
Feminino	Condição 1 (parado)	20	19,50	134,21	44,00	25,611	1	16	9,3	5,18
	Condição 2 (betuminoso)	20	18,65	134,21	51,53	26,082	1	10	4,6	2,91
	Condição 3 (cubos)	20	16,40	109,90	54,88	26,096	1	7	2,3	1,86
Total	Condição 1 (parado)	45	19,50	134,21	41,82	19,492	1	16	10,0	5,00
	Condição 2 (betuminoso)	45	18,65	134,21	45,29	20,248	1	16	5,8	4,00
	Condição 3 (cubos)	45	16,40	110,15	51,00	25,467	1	16	3,0	2,86

N, número de amostras; TT, tempo total (em segundos); NP, valor de precisão.

Esta aparente redução do tempo utilizado para fazer avançar o ponteiro ao longo do percurso do teste de OMEGA pode revelar uma diminuição da capacidade de dedicar atenção à tarefa e por isso aumento da velocidade de avanço do ponteiro. Esta estratégia parece comprometer o desempenho dos voluntários, uma vez que, conforme apresentado nos parágrafos anteriores, se verifica um aumento do número de erros (NE) e um aumento do tempo utilizado para a sua correção (DTE).

Contudo, a análise dos valores médios obtidos para este parâmetro (TT), considerando o total da amostra, revela que nem todos os voluntários assumiram a estratégia anteriormente descrita, uma vez que os valores médios do tempo utilizado para realização do teste (TT) aumentam ao longo das três condições de exposição a VCI. Apesar de relativamente próximos uns dos outros, os valores médios do tempo utilizado (TT) foram de 41,82 segundos, obtidos na condição de realização do teste com o veículo parado (condição 1), de 45,29 segundos, obtidos na condição de realização do teste com o veículo em movimento sobre um piso regular e betuminoso (condição 2) e 51,00 segundos quando o veículo se desloca sobre um piso irregular de cubos graníticos (condição 3).

Uma contribuição importante para perceber a aparente redução do tempo utilizado para fazer avançar o ponteiro ao longo do percurso do teste de OMEGA foi investigada por Kubo et al. (2001). Estes autores encontraram uma relação estatisticamente significativa entre a exposição a VCI, segundo o eixo vertical do corpo humano (eixo Z), e um aumento da frequência respiratória e da pressão arterial (mínima e máxima). Relativamente às reações psicológicas dos sujeitos expostos a VCI, estes autores citam um aumento dos sintomas associados ao conceito de fadiga, como por

exemplo, cansaço, olhos cansados, ausência de espírito¹¹, irritação, impaciência, perda de atenção, dor de cabeça, dor nas costas, tonturas, náuseas e rigidez dos ombros. Por isso, é bastante provável que a aparente redução do tempo utilizado para fazer avançar o ponteiro ao longo do percurso do teste de OMEGA esteja diretamente relacionada com a impaciência experienciada por alguns dos voluntários que participaram neste estudo. Este aumento dos sintomas associados ao conceito de fadiga ajudam a explicar, não só a diminuição no valor mínimo do tempo total (TT) gasto para cumprir o percurso do teste de OMEGA, mas também o aumento do número de erros (TE) e o aumento do tempo da sua correção (DTE), uma vez que a perda de atenção durante a condução deste teste tem reflexos diretos nestas duas últimas variáveis.

A influência da exposição a VCI sobre o sistema circulatório foi também verificada por Jiao et al. (2004). Estes autores reportaram diferenças significativas na variabilidade da frequência cardíaca para as duas condições de exposição avaliadas (1,8 e 6 Hz). No mesmo estudo, os autores encontraram efeitos da exposição a VCI sobre a fadiga reportada por voluntários durante uma tarefa de condução simulada. Este facto vai de encontro às evidências apuradas por Kubo et al. (2001) e coloca especial interesse sobre a provável contribuição da fadiga para o aumento do número de erros verificado na realização do teste de OMEGA.

Considerando o valor de precisão (NP), obtido por cada um dos voluntários após a realização do teste de OMEGA, na Tabela 17 é possível observar-se que os resultados variam entre 1 (pior desempenho) e 16 (melhor desempenho), independentemente do fator sexo ou da condição de exposição. Exceção apenas registada para a condição de realização do teste com o veículo parado (condição 1), na qual os voluntários do sexo masculino apresentaram como valor mínimo a nota de precisão 4.

Os valores médios da nota de precisão obtidos (NP) foram de 10,0 na condição de realização do teste com o veículo parado (condição 1), de 5,8 obtidos na condição de realização do teste com o veículo em movimento sobre um piso regular e betuminoso (condição 2) e de 3,0 quando o veículo se desloca sobre um piso irregular de cubos graníticos (condição 3). Estes resultados tornam possível verificar-se que, de um modo geral, a exposição a VCI durante a realização do teste de OMEGA fez reduzir o desempenho dos voluntários.

Para tratamento estatístico dos dados apresentados na Tabela 16 foi selecionado o “*Paired sample T-Test*” em virtude do referido teste comparar as médias de duas variáveis com o sentido de verificar se a diferença média é significativamente diferente de zero. A verificação de que esta diferença média é significativamente diferente de zero resulta na aceitação da seguinte hipótese nula:

H_0 : as médias das duas amostras são significativamente diferentes.

¹¹Tradução livre do termo “*absent-mindedness*” no artigo original.

No caso concreto da sua aplicação aos resultados obtidos pelos 45 voluntários, significaria que o seu desempenho ao longo das três condições de realização do teste de OMEGA foi diferente, confirmando a hipótese de que as diferenças nas condições de realização do teste estariam na base da alteração da performance durante a realização do referido teste.

Uma vez que o conjunto de dados obtidos durante a aplicação do teste de OMEGA é numeroso, optou-se por realizar o tratamento estatístico de subconjuntos de dados. Mais concretamente, foram criados quatro subconjuntos, sendo cada um deles associado a uma variável. O primeiro subconjunto incorpora os dados relacionados com o número de erros (NE) cometidos pelos voluntários durante a realização do referido teste. O segundo subconjunto contém os dados relativos ao tempo total gasto na correção dos referidos erros, duração total dos erros (DTE). O terceiro subconjunto inclui os dados relativos ao tempo total (TT) que os voluntários gastaram para percorrer o traçado sinuoso do percurso de OMEGA. E o quarto subconjunto engloba o valor de precisão (NP) atribuído a cada um dos voluntários, após a análise dos resultados obtidos e aplicação do critério definido na Tabela 7.

A Tabela 18 apresenta um resumo dos resultados do “*Paired sample T-Test*” e nela é possível verificar que foram criados três pares de valores para comparação. Nomeadamente, um primeiro par que estabelece a comparação entre as médias do número total de erros (NE) obtidas na condição 1 (veículo parado) e na condição 2 (veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso). O segundo par estabelece a comparação entre as médias do número total de erros (NE) obtidas na condição 1 (veículo parado) e na condição 3 (veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos). E o terceiro par estabelece a comparação entre as médias do número total de erros (NE) obtidas na condição 2 (veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso) e na condição 3 (veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos).

Tabela 18 – Resultado do *Paired Sample T-Test* para o número total de erros (NE).

	Diferenças entre pares					t	g.l.	p (bilateral)
	Média	Desv. padrão	Erro médio padrão	Intervalo de confiança de 95% entre as diferenças				
				Baixa	Alta			
Par 1 NE parado – NE betuminoso	-8,000	8,426	1,256	-10,531	-5,469	-6,369	44	< 0,001
Par 2 NE parado – NE cubos	-21,644	14,773	2,202	-26,083	-17,206	-9,829	44	< 0,001
Par 3 NE betuminoso - NE cubos	-13,644	14,901	2,221	-18,121	-9,168	-6,142	44	< 0,001

Os valores de significância obtidos para cada um dos referidos pares evidenciam diferenças entre as médias do número total de erros (NE) obtidas, o que se interpreta como um efeito da condição de aplicação do teste de OMEGA sobre o resultado, número total de erros (NE).

Cruzando estes valores de significância com as médias do número total de erros (NE) expressas na Tabela 16, pode arriscar-se a afirmação de que a exposição a VCI “prejudicou” o desempenho dos voluntários, fazendo aumentar a média do número total de erros (NE) de 5,6 na condição 1, para 13,6 na condição 2 e 27,2 na condição 3, a mais gravosa das condições de exposição a VCI.

Na Tabela 19 é apresentado um resumo dos resultados do “*Paired sample T-Test*” para a variável duração total dos erros (DTE), resultante da aplicação do teste de OMEGA. Na referida tabela optou-se por manter os três pares de valores para comparação, referidos anteriormente.

Os valores de significância obtidos para cada um dos referidos pares evidenciam diferenças entre as médias da duração total dos erros (DTE) obtidas, o que se interpreta como um efeito da condição de aplicação do teste de OMEGA sobre o resultado, número total de erros (DTE). Cruzando estes valores de significância com as médias do número total de erros (DTE) expressas na Tabela 16, pode presumir-se de que é provável que a exposição a VCI tenha “prejudicado” o desempenho dos voluntários, fazendo aumentar a média da duração total dos erros (DTE) de 1,4 segundos na condição 1, para 3,5 segundos na condição 2 e 10,4 segundos na condição 3, a mais gravosa das condições de exposição a VCI.

Tabela 19 - Resultado do *Paired Sample T-Test* para a duração total dos erros (DTE).

	Diferenças entre pares					t	g.l.	p (bilateral)
	Média	Desv. padrão	Erro médio padrão	Intervalo de confiança de 95% entre as diferenças				
				Baixa	Alta			
Par 4 DTE parado – DTE betuminoso	-20,800	23,066	3,438	-27,730	-13,870	-6,049	44	< 0,001
Par 5 DTE parado – DTE cubos	-90,133	136,975	20,419	-131,285	-48,982	-4,414	44	< 0,001
Par 6 DTE betuminoso - DTE cubos	-69,333	126,142	18,804	-107,231	-31,436	-3,687	44	< 0,001

Na Tabela 20 é apresentado um resumo dos resultados do “*Paired sample T-Test*” para a variável tempo total (TT) gasto para percorrer o percurso de OMEGA. Na referida tabela optou-se por manter os três pares de valores para comparação, referidos anteriormente.

Tabela 20 - Resultado do *Paired Sample T-Test* para o tempo total (TT).

	Diferenças entre pares					t	g.l.	p (bilateral)
	Média	Desv. padrão	Erro médio padrão	Intervalo de confiança de 95% entre as diferenças				
				Baixa	Alta			
Par 7 TT parado - TT betuminoso	-3,46467	12,29749	1,83320	-7,15924	,22991	-1,890	44	0,065
Par 8 TT parado - TT cubos	-9,17267	23,79802	3,54760	-16,32238	-2,02295	-2,586	44	0,013
Par 9 TT betuminoso - TT cubos	-5,70800	23,58519	3,51587	-12,79378	1,37778	-1,623	44	0,112

Curiosamente, para esta variável do teste de OMEGA, os níveis de significância obtidos na comparação dos pares apenas indiciam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios obtidos na condição 1 (veículo parado) na condição 3 (veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos). Conforme anteriormente referido, alguns voluntários revelaram uma aparente redução no tempo utilizado para fazer avançar o ponteiro ao longo do percurso do teste de OMEGA, comprometendo o seu desempenho (ver valores mínimos obtidos para esta variável na Tabela 16). No entanto, não deixa de ser significativo o efeito da exposição a VCI sobre o desempenho dos voluntários, registado também para esta variável, nomeadamente, o aumento de 41,82 segundos (condição 1) para 51,00 segundos (condição 3) no tempo total (TT) gasto para realizar o percurso de OMEGA.

Na Tabela 21 é apresentado um resumo do “*Paired sample T-Test*” para a variável valor de precisão (NP), atribuído a cada um dos voluntários após a análise dos resultados obtidos na aplicação do teste de OMEGA. Na referida tabela optou-se por manter os três pares de valores para comparação, referidos anteriormente.

Tabela 21 - Resultado do *Paired Sample T-Test* para o valor de precisão (NP).

	Diferenças entre pares					t	g.l.	p (bilateral)
	Média	Desv. padrão	Erro médio padrão	Intervalo de confiança de 95% entre as diferenças				
				Baixa	Alta			
Par 10 NP parado - NP betuminoso	4,244	4,151	0,619	2,997	5,492	6,859	44	< 0,001
Par 11 NP parado - NP cubos	7,089	4,972	0,741	5,595	8,583	9,565	44	< 0,001
Par 12 NP betuminoso - NP cubos	2,844	3,884	0,579	1,677	4,011	4,912	44	< 0,001

Os valores de significância obtidos para cada um dos referidos pares evidenciam diferenças entre as médias do valor de precisão (NP) obtido, o que se interpreta como um efeito da condição de aplicação do teste de OMEGA sobre o valor de precisão (NP). Cruzando estes valores de significância com as médias do valor de precisão (NP) expressas na Tabela 16, pode presumir-se que é provável que a exposição a VCI “prejudique” o desempenho dos voluntários, fazendo diminuir o valor de precisão (NP) de 10,0 na condição 1, para 5,8 na condição 2 e 3,0 na condição 3, a mais gravosa das condições de exposição a VCI.

Considerou-se igualmente pertinente a comparação dos resultados obtidos pelos voluntários durante a aplicação do teste de OMEGA em função do respetivo sexo. Contudo, por serem bastante extensas as tabelas dos testes estatísticos realizados, optou-se pela sua incorporação no Anexo V desta tese.

Com base nos valores desta análise, é possível verificar que as diferenças nos resultados obtidos não são estatisticamente significativas, quando se separou a amostra de 45 voluntários em duas subamostras de 25 e 20 voluntários, do sexo masculino e feminino, respetivamente. A exceção surgiu no tratamento estatístico da variável tempo total (TT) gasto para percorrer o percurso de OMEGA. Para esta variável, e quando se considerou a subamostra dos voluntários do sexo masculino, não foi possível verificar qualquer efeito da condição de exposição a VCI sobre o tempo total (TT).

No que concerne à subamostra dos voluntários do sexo feminino, foi possível obter-se uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre a média do tempo total (TT) obtido na condição 1 (veículo parado) e a média do tempo total (TT) obtido na condição 2 (veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso).

Uma das primeiras publicações de referência sobre a influência da exposição a VCI em tarefas cognitivas deve a sua autoria a Griffin & Hayward (1994). Nesta publicação os autores utilizaram uma amostra de 16 voluntários com idades entre os 19 e os 30 anos, repartidos equitativamente entre os dois sexos, e sujeitaram-nos a VCI, com componentes exclusivamente horizontais (eixo antero-posterior e lateral do corpo humano).

A combinação das catorze frequências de exposição seleccionadas, no intervalo entre 0,5 e 10 Hz, com quatro magnitudes diferentes de exposição a VCI (0,6, 0,8, 1,0 e 1,25 m/s^2) resultou num conjunto de 56 estímulos vibracionais diferentes.

A tarefa cognitiva escolhida pelos autores consistia na leitura de uma notícia retirada de um jornal. A velocidade de leitura foi calculada com base no número de sílabas lidas em 30 segundos e comparada com a velocidade de leitura numa condição sem exposição a VCI.

Os resultados obtidos por estes autores indiciam uma redução da velocidade de leitura entre os 3,15 e os 5 Hz para as magnitudes mais elevadas de exposição a VCI, mais concretamente 1,0 e 1,25 m/s² (Griffin & Hayward, 1994).

Na tese atual, as duas tarefas propostas, Teste de Julgamento de Ação (TJA) e Teste de OMEGA, incluíam também uma componente de solicitação visual.

Mais concretamente, durante a realização do Teste de Julgamento de Ação, os voluntários tinham que reconhecer o sentido da seta vermelha, de modo a evitar passar com a agulha pela sua frente (ver Figura 18). Igual componente visual estava associada ao teste de OMEGA, uma vez que o ponteiro tinha que avançar ao longo do percurso sem tocar nas suas margens (Figura 27).

Os resultados obtidos revelaram uma significativa diminuição da performance dos voluntários nas condições de exposição a VCI, por comparação com a condição de ausência de exposição a VCI.

No que respeita ao Teste de Julgamento de Ação (TJA), e segundo o critério do total de erros (AJ_TE), a referida diminuição foi registada entre a condição veículo parado (condição 1) e a condição veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso (condição 2) e entre a condição veículo parado (condição 1) e a condição veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos (condição 3).

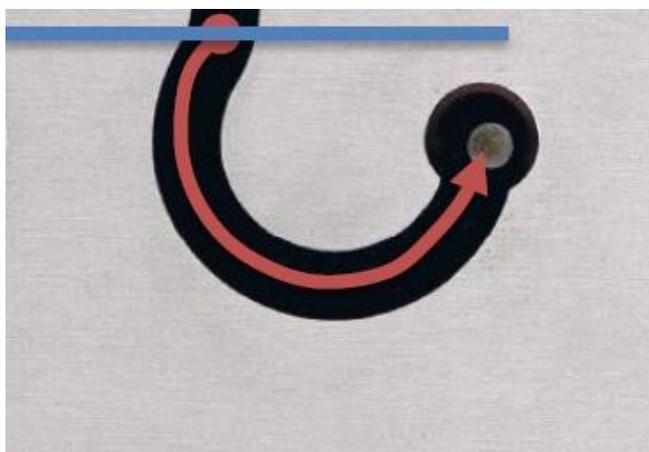


Figura 27 – Detalhe sobre um possível trajeto do ponteiro.

No que concerne ao teste de OMEGA, e utilizando o valor de precisão (NP), a diminuição de performance ocorreu entre a condição veículo parado (condição 1) e a condição veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso (condição 2), entre a condição veículo parado (condição 1) e a condição veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos (condição 3) e entre a condição veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso (condição 2) e a condição veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos (condição 3).

O resumo dos resultados dos testes estatísticos realizados encontra-se na Tabela 15 e na Tabela 21, respectivamente para o Teste de Julgamento de Ação e para o teste de OMEGA. Com base na hipótese apresentada e verificada por Griffin & Hayward (1994), pode inferir-se que a redução da performance visual dos voluntários nas condições de exposição a VCI influenciou negativamente a sua performance no Teste de Julgamento de Ação e no teste de OMEGA.

Griffin & Hayward (1994) apresentam uma hipótese acerca do processo associado à perda de visão em virtude da exposição a VCI. Na formulação desta hipótese, os autores invocam o reflexo vestibulo-ocular, responsável pela estabilização dos olhos sempre que existe movimento rotacional da cabeça, e o reflexo de perseguição, que auxilia os olhos durante o rastreamento de objetos em movimento. Afirmam, os citados autores, que a exposição a VCI com componentes espectrais até 10 Hz não parece interferir com o reflexo vestibulo-ocular. No entanto, a exposição a VCI com componentes superiores a 4 Hz já será suficiente para comprometer o reflexo de perseguição (Griffin & Hayward, 1994).

No caso particular das condições de exposição a VCI dos voluntários durante a realização do Teste de Julgamento de Ação (TJA) e do teste de OMEGA, a Figura 25 e a Figura 26 evidenciam componentes importantes da vibração na frequência de 3,1 Hz, para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z) e nas frequências de 20 e 25 Hz, para o eixo lateral do corpo humano (eixo Y). Ou seja, são frequências capazes de comprometer tanto o reflexo vestibulo-ocular como o reflexo de perseguição e, desta forma, influenciar negativamente o desempenho dos voluntários nos referidos testes cognitivos. Conhecer a componente espectral do estímulo vibracional assume, por isso, uma importância crítica na procura dos efeitos da exposição a VCI sobre a performance do corpo humano.

No que diz respeito às frequências de interesse verificadas aquando do estudo dos efeitos da exposição a VCI sobre o corpo humano, acrescentam-se duas breves referências bibliográficas. A primeira diz respeito à publicação de Ishitake et al. (2002), na qual os autores referem um efeito relevante da exposição a VCI sobre a motilidade intestinal. Mais concretamente, quando essa exposição acarreta componentes importantes de aceleração nas frequências de 4 e 6,3 Hz. Na segunda referência cita-se a publicação de Jiao et al. (2004), na qual os autores expõem a influência da exposição a VCI sobre as atividades nervosas do sistema simpático e parassimpático do corpo humano. Os autores reportam que a exposição a VCI com componentes na frequência de 6 Hz influenciam as duas atividades nervosas referidas, sendo que para a outra frequência estudada, 1,8 Hz, os efeitos apenas parecem se manifestar sobre as atividades do sistema nervoso parassimpático. Estes dois sistemas nervosos fazem parte do sistema nervoso autónomo que regula as condições internas do nosso organismo. A título exemplificativo, pode referir-se que o sistema nervoso simpático é responsável pela dilatação da pupila do olho, inibição da produção de saliva, aceleração do ritmo cardíaco, relaxamento dos brônquios e libertação de açúcar para o sangue. Por outro lado, o sistema nervoso parassimpático é responsável pela contração da pupila do olho,

estimulação da produção de saliva, diminuição do ritmo cardíaco, contração dos brônquios e acumulação de açúcar ao nível do fígado.

O desempenho nos dois testes selecionados, Teste de Julgamento de Ação e OMEGA, envolve uma importante componente visual, conforme referido anteriormente e, por isso, importa voltar a citar Peli & García-Pérez (2003) que esclarecem um ponto importante sobre a percepção do movimento dos objetos pelo sistema visual humano. Nomeadamente, o facto dos movimentos da imagem de objetos na retina, provocados por movimentos reflexos ou voluntários do olho, dificilmente serem interpretados como movimentos do objeto observado.

Os autores referem que o próprio sistema visual parece “descontar” este movimento do olho no movimento do objeto verificado na retina. Por outro lado, os mesmos autores salientam que, se o movimento dos objetos na retina for provocado por vibração mecânica do olho, então este movimento é normalmente interpretado pelo sistema visual como movimento do objeto, a não ser que a frequência de vibração seja muito elevada e, nesse caso, a imagem do objeto aparece turva ou desfocada. Interessa acrescentar que a vibração mecânica do olho acontece sempre que o corpo humano é sujeito a vibrações. Por isso, nas condições 2 e 3 de realização do Teste de Julgamento de Ação e do teste de OMEGA, os voluntários estariam numa situação de exposição que acrescentava um movimento ao objeto (agulha ou ponteiro) sobre o qual lhes era solicitado o controlo manual. Esta situação, por si só, pode ter contribuído para a diminuição do desempenho na realização destas tarefas, uma vez que o sistema nervoso central teria que “resolver” este estímulo visual adicional.

Ainda sobre a componente da performance visual, interessa comparar os resultados obtidos com os resultados apresentados por Lin et al. (2008). Estes autores desenvolveram um procedimento experimental que pressupunha a apresentação de um conjunto de dígitos no monitor, durante um segundo, após o qual cada sujeito de teste dispunha de um teclado numérico para introduzir os algarismos visualizados. De entre os resultados obtidos por estes autores, destacam-se as diferenças estatisticamente significativas verificadas na acuidade visual, por influência da frequência de vibração, da amplitude de vibração e da direção da vibração, relativamente aos eixos do corpo humano.

Colocando especial ênfase na quantificação da eficiência visual/motora, Thullier et al. (2008) apresentaram aos sujeitos de teste, estímulos visuais aleatórios, em diferentes pontos de uma cruz vertical com braços de comprimento igual. A eficiência visual/motora dos sujeitos de teste foi quantificada e os resultados obtidos permitiram que os autores verificassem melhorias significativas da performance dos sujeitos de teste ao longo dos dias de realização da tarefa, revelando um efeito positivo de aprendizagem.

Law et al. (1995) já haviam apresentado um estudo que pretendia avaliar a contribuição do efeito do treino na melhoria do desempenho e constataram que o efeito do treino é mais relevante

na melhoria do desempenho de tarefas complexas (Law, et al., 1995). Com o sentido de evitar que os voluntários que realizaram o Teste de Julgamento de Ação e o teste de OMEGA revelassem idêntico efeito de aprendizagem, tanto os testes como a sequência das condições de exposição a VCI foram aleatoriamente definidas, podendo ser uma qualquer sequência que resulte das combinações possíveis.

Interessados na avaliação da influência da exposição a VCI sobre a componente cognitiva/motora da realização de tarefas, Newell & Mansfield (2008) desenharam um protocolo experimental que permitia avaliar o intervalo de tempo entre o estímulo visual e a execução motora, tempo de reação. A tarefa consistia na apresentação de setas direcionais, em intervalos e ordens aleatórias, às quais os sujeitos respondiam pressionando a seta equivalente num teclado. A mesma tarefa foi repetida em posturas de trabalho sentado diferentes.

Os resultados obtidos neste estudo de Newell & Mansfield (2008) demonstram que a exposição a VCI e a postura influenciaram negativamente o tempo de reação dos sujeitos de teste. Revelaram ainda um aumento significativo no número de erros nas condições de exposição a VCI.

O número de erros cometidos pelos voluntários foi um dos parâmetros de análise do Teste de Julgamento de Ação, inclusive, este parâmetro foi utilizado para atribuição do valor do julgamento de ação (AJ_TE).

A análise estatística dos resultados obtidos para este parâmetro revelou uma diminuição significativa do valor de julgamento de ação (AJ_TE) em função do agravamento das condições de exposição a VCI. Nomeadamente, o valor médio de AJ_TE passou de 1,11 na condição de ausência de exposição a VCI, para 0,71 na condição 2 de exposição a VCI (com valores médios de aceleração ponderada de 0,20 m/s², para o eixo vertical do corpo humano) e para 0,62 na condição 3 de exposição a VCI (com valores médios de aceleração ponderada de 0,54 m/s², para o mesmo eixo do corpo humano).

A variável número de erros cometidos (NE) também é alvo de análise durante a aplicação do teste de OMEGA. Além da contabilização do número total de erros cometidos, o referido teste também contabiliza o tempo total gasto para a sua correção (DTE) e sendo este último parâmetro utilizado na atribuição do valor de precisão (NP). A redução de 10,0 para 5,8 e 3,0, respetivamente para as condições 1, 2 e 3 de exposição, revelou significância estatística e corrobora a hipótese de que a exposição a VCI influencia negativamente o tempo de reação, proposta por Newell & Mansfield (2008).

A influência de alterações da postura de voluntários sentados na transmissão da aceleração transmitida ao corpo inteiro foi investigada por Blüthner et al. (2002). Estes autores realizaram eletromiogramas relativos à resposta dos músculos das costas, à exposição a VCI e em função da postura assumida pelos voluntários. E apesar de não terem conseguido construir um modelo da

transmissão da aceleração ao longo dos diferentes grupos musculares das costas, os autores reportaram respostas significativamente diferentes destes grupos musculares à exposição a VCI, em função da postura assumida pelos voluntários.

Por seu lado, Santos et al. (2008), reportaram um aumento significativo da atividade dos músculos das costas em indivíduos expostos a VCI durante períodos de 60 minutos. Este aumento de atividade foi de igual forma registado através de eletromiogramas e parece apontar para uma das causas da fadiga muscular experimentada pelos voluntários expostos (Santos, et al., 2008).

Estas duas publicações acrescentam um fator adicional a ter em consideração quando se procura aferir os efeitos da exposição a VCI sobre qualquer tipo de tarefa muscular, uma vez que, os próprios músculos reagem individualmente às acelerações a que são sujeitos, aumentando, por isso, a complexidade da tarefa de coordenação motora do sistema nervoso central e, conseqüentemente, prejudicando o desempenho de tarefas desta natureza.

A postura do Homem sentado é frequentemente influenciada pela tarefa que está a ser desempenhada e nomeadamente, se essa tarefa implicar o acionamento de alavancas ou o acompanhamento visual de partes mecânicas da máquina/equipamento operado. A título de exemplo, refira-se a operação de empilhadores e a manobra de retroescavadoras. Relativamente ao primeiro grupo de máquinas/equipamentos, do qual fazem parte os equipamentos números 16 e 18 a 25 da Tabela 8, foram observados, durante os períodos de avaliação da exposição ocupacional a VCI, numerosos momentos em que o operador estendia o tronco ligeiramente à frente para melhor visualizar o encaixe dos garfos sob as estruturas que pretendia elevar e transportar. Também assumia, por vezes, uma rotação/flexão lateral exagerada do tronco, de modo a poder manobrar o empilhador, uma vez que o volume da carga transportada limitava o seu campo de visão. No que diz respeito ao segundo grupo de máquinas/equipamentos, cita-se a postura inapropriada assumida pelo manobrador do equipamento número 6 da Tabela 9, sempre que o braço hidráulico, colocado à retaguarda da máquina, alcançava o fundo da vala que estava a ser aberta.

Face ao exposto, a publicação apresentada por Newell & Mansfield (2008) ganha especial relevo. Na referida publicação os autores avaliaram a relação entre o desempenho de uma tarefa e o efeito combinado de posturas inapropriadas e exposição a VCI. Dos resultados interessa destacar o registo de maiores tempos de reação nas situações de posturas inadequadas combinada com exposição a VCI e o facto dos próprios voluntários avaliarem de forma mais gravosa o esforço desenvolvido para completar a tarefa, para as situações de posturas inadequadas combinada com exposição a VCI.

Também Ljungberg & Neely (2007a) encontraram evidências de que a exposição a vibrações influencia o desempenho cognitivo e visual dos sujeitos expostos a VCI, nomeadamente,

aumentando a velocidade de execução da tarefa, aumentando o número de erros e diminuindo a precisão.

O aumento do número de erros foi, de facto, verificado nos dois testes aplicados, Teste de Julgamento de Ação e teste de OMEGA, importando salientar que este último atribui aos voluntários uma classificação de precisão (NP) em função do seu desempenho. Conforme referido em parágrafos anteriores e registado na Tabela 16, o valor de NP revela uma influência negativa da exposição da VCI sobre o resultado obtido, corroborando deste modo as conclusões apresentadas por Ljungberg & Neely (2007a).

Apesar disso, o efeito da exposição a VCI sobre a performance cognitiva parece não se verificar nos momentos seguintes à exposição. Messina et al. (2009) elaboraram um protocolo experimental que lhes permitiu avaliar as alterações nos tempos de reação de voluntários previamente expostos a VCI. O desenho experimental envolvia uma exposição a VCI durante intervalos de tempo entre 1,5 horas e 2,75 horas, de modo a serem obtidos diferentes valores de dose de vibração (VDV). Imediatamente após essa exposição, os voluntários eram encaminhados para um laboratório, no qual eram registados os tempos de reação a estímulos visuais e auditivos. Os autores não conseguiram encontrar diferenças significativas entre os tempos de resposta dos voluntários antes e depois da exposição a VCI.

Esta constatação reveste-se de grande importância para o presente trabalho uma vez que possibilita a eliminação de um efeito de contágio durante a realização do Teste de Julgamento de Ação e do Teste de OMEGA. Este efeito de contágio poderia ocorrer aquando do sorteio da ordem das condições de realização dos referidos testes, particularmente quando a condição 2, isto é com o veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso, ou a condição 3, com o veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos, se apresentava antes da condição 1, veículo parado. Não são, por isso, previsíveis contribuições indiretas de condições de exposição anteriores para o desempenho dos voluntários na condição 1 de realização dos referidos testes.

A hipótese da idade interferir nas faculdades cognitivas e psicomotoras foi investigada por Shanmugaratnam et al. (2010). Para isso, os referidos autores utilizaram uma tarefa de condução simulada. O primeiro grupo possuía uma idade média de 65 anos e o segundo grupo possuía apenas 22 anos de idade média. A performance durante a condução num simulador foi avaliada tendo em consideração os comportamentos de controlo do veículo, a ocorrência de acidentes ou violações das regras de trânsito, a atenção e o tempo de reação. Os resultados obtidos por estes autores indicam claramente que o grupo dos participantes mais jovens obteve melhor desempenho em todas as tarefas cognitivas e psicomotoras avaliadas.

Apesar da idade dos voluntários do atual estudo não ter sido utilizada como critério de seleção, os 45 voluntários que realizaram o Teste de Julgamento de Ação e o Teste de OMEGA apresentavam entre 21 e 62 anos de idade, com uma média de 33,1 anos de idade (desvio-padrão

de 10,0 anos). Desta forma, a eventual contaminação provocada pela idade dos sujeitos na performance de realização dos referidos testes ficou “diluída” pelo longo espectro de idades dos sujeitos.

Importa ainda referir a sensação de incomodidade resultante da exposição a VCI. Esta sensação de incomodidade é, inclusivamente, referenciada na norma ISO 2631-1:1997, apresentando a mesma no seu Anexo C, uma tabela de apoio à classificação do grau de incomodidade esperado.

A Tabela 22 transcreve os intervalos de aceleração média considerados para cada uma das sensações subjetivas de incomodidade. Note-se que, na referida tabela, os intervalos entre as diferentes categorias são sobreponíveis, ou seja, se durante uma determinada avaliação da exposição a VCI forem obtidos valores de aceleração média ponderada de $0,55 \text{ m/s}^2$, pode-se verificar que a classificação da sensação de conforto tanto poderá indicar a categoria “é um pouco desconfortável” como a categoria “razoavelmente desconfortável”. Tal acontece porque o limite do primeiro descritor termina em $0,63 \text{ m/s}^2$, e o limite do segundo descritor começa em $0,5 \text{ m/s}^2$.

Tabela 22 - Reações em termos de conforto a ambiente com vibrações (adaptado da norma ISO 2631-1:1997).

Valores de aceleração	Sensação de conforto
Menor que $0,315 \text{ m/s}^2$	Não é desconfortável
$0,315 \text{ m/s}^2$ até $0,63 \text{ m/s}^2$	É um pouco desconfortável
$0,5 \text{ m/s}^2$ até 1 m/s^2	Razoavelmente desconfortável
$0,8 \text{ m/s}^2$ até $1,6 \text{ m/s}^2$	Desconfortável
$1,25 \text{ m/s}^2$ até $2,5 \text{ m/s}^2$	Muito desconfortável
Superior a 2 m/s^2	Extremamente desconfortável

NOTA: Com K_x , K_y e K_z igual a 1.

A utilização do referencial de conforto descrito na Tabela 22 pode interessar no caso concreto das condições de exposição a VCI a que estiveram sujeitos os voluntários que participaram neste estudo. Desta forma, cruzando os valores de aceleração obtidos para o eixo vertical do corpo humano (eixo Z) com os intervalos descritos na referida tabela, pode ser obtida uma ideia aproximada do grau de incomodidade experimentado por estes voluntários, durante a realização do Teste de Julgamento de Ação ou do Teste de OMEGA.

Assim, e para a condição 2 de exposição a VCI, que se refere à circulação do veículo sobre um piso regular de betuminoso, os $0,20 \text{ m/s}^2$ de média de aceleração para o eixo Z colocariam os voluntários numa situação de “não é desconfortável”. No entanto, para a condição 3 de exposição a VCI, que se refere à circulação do veículo sobre um piso irregular de cubos graníticos, os $0,54 \text{ m/s}^2$ de média de aceleração para o eixo Z colocariam os voluntários numa situação entre o “é um pouco desconfortável” e o “razoavelmente desconfortável”.

Relativamente à sensação de desconforto, Matsumoto et al. (2006) acrescentam que o simples facto do estímulo vibracional ter origem em mais do que um eixo de vibração do corpo humano potencia a sensação de desconforto reportada. Os autores comparam as respostas obtidas para uma situação de exposição simultânea a vibrações segundo o eixo antero-posterior (eixo X) e vertical (eixo Z) do corpo humano. É, por isso, possível prever que o grau de incomodidade sentido pelos voluntários deveria ter sido bastante superior ao inferido pela análise da Tabela 22.

A anterior afirmação encontra corroboração na publicação de Schust et al. (2006), na qual os autores apresentam os resultados da avaliação da intensidade da vibração reportada por voluntários expostos a três magnitudes diferentes de VCI, isoladamente, segundo os eixos X ou Y do corpo humano, ou de forma combinada, segundo os dois eixos referidos.

De um modo geral, os autores verificaram que a avaliação da intensidade da vibração concordava com o nível de exposição imposto, quando esta exposição a VCI acontecia apenas segundo um dos eixos do corpo humano (eixo X ou Y), ou seja, à medida que aumentava a magnitude de exposição, aumentava, de igual forma, o valor reportado pelos voluntários. No entanto, quando a exposição a VCI resultava da exposição simultânea a acelerações provenientes dos dois eixos considerados, os voluntários reportavam uma intensidade superior à reportada na condição de exposição de eixo único, quando na realidade, a condição de exposição conjunta era inferior em magnitude às duas condições mais elevadas experimentadas pelos voluntários separadamente para cada um dos eixos.

Os citados autores solicitaram também que os voluntários avaliassem o esforço requerido para reagir a uma indicação de acelerar ou travar (acionando pedais distintos em função da indicação). Na avaliação subjetiva do esforço requerido, foi verificado um aumento do valor relativo do esforço, à medida que aumentava a intensidade da exposição a VCI. No entanto, não foi possível verificar uma situação idêntica à reportada para a avaliação da intensidade da exposição a vibrações. Ou seja, quando combinadas as acelerações segundo os eixos X e Y do corpo humano, os voluntários não reportaram valores superiores de esforço requerido, em relação aos valores apresentados para a situação de exposição isolada.

Outro argumento favorável à hipótese de que o grau de incomodidade sentido pelos voluntários deveria ter sido bastante superior ao inferido pela análise da Tabela 22 pode ser encontrado na publicação de Ljunggren et al. (2007). Estes autores desenvolveram um protocolo experimental para avaliar os limiares de perceção humana a vibrações transmitidas ao corpo inteiro, tendo verificado uma maior sensibilidade dos indivíduos expostos a vibrações de baixa frequência (até 8 Hz). Numa segunda situação experimental de exposição a VCI, os voluntários foram sujeitos a sinais vibracionais com duas componentes distintas (duas frequências distintas).

Os autores citados constataram que sinais vibracionais com duas componentes são mais incomodativos que sinais de componente única, uma vez que os limiares de perceção dos

voluntários desciam (Ljunggren, et al., 2007). Os sinais vibracionais de componente única são normalmente utilizados para determinar os limiares de percepção humana a VCI e estão na origem das curvas de ponderação em frequência.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O corpo humano possui vários órgãos sensíveis às vibrações, competindo ao cérebro combinar a informação visual, vestibular, somática e auditiva para perceber os estímulos vibracionais (Nishida, 2008). Sendo, por isso, previsível que a exposição ocupacional a VCI interfira com funções dos sistemas enumerados, resultando essa interferência em efeitos mensuráveis.

De entre os efeitos documentados da exposição a VCI sobre o corpo humano, destacam-se os efeitos sobre:

- A visão, uma vez que, segundo Peli & García-Pérez (2003), se os movimentos da imagem de objetos na retina são provocados por vibração mecânica do olho, esse movimento é interpretado pelo sistema visual como um movimento do objeto. Excetuam-se as situações em que a frequência de vibração é muito elevada e, nesse caso, a imagem do objeto aparece turva ou desfocada;
- O sistema circulatório, afirmando Jiao et al. (2004) que se verifica um aumento da variabilidade da frequência cardíaca e da atividade do sistema nervoso autónomo;
- O sistema digestivo, onde Ishitake et al. (2002) encontrou alterações do ritmo normal de contração dos músculos gástricos;
- O sistema musculoesquelético, tendo Blüthner et al. (2002) verificado um aumento significativo da contração reflexa dos músculos responsáveis pela manutenção da postura e absorção de parte da energia transmitida pela vibração. E as evidências encontradas por Mani et al. (2010) de que a redução do equilíbrio é mais significativa imediatamente após o período de exposição a VCI;
- A cognição, encontrando Newell & Mansfield (2008) uma redução da performance e dos tempos de reação durante a realização de uma tarefa sob exposição a VCI. Verifica-se também um aumento da velocidade de execução da tarefa e, conseqüentemente, uma diminuição da precisão da execução (J. K. Ljungberg & G. Neely, 2007a, 2007b).

Pode, por isso, afirmar-se que a exposição a VCI produz efeitos sobre os tecidos, órgãos e sistemas do corpo dos operadores de máquinas industriais e manobreadores de veículos pesados e que estes estão bem documentados nas publicações científicas.

Ao longo do presente trabalho, e tendo como principal objetivo determinar a influência da exposição ocupacional a VCI em veículos no desempenho cognitivo e visual dos trabalhadores, conceberam-se duas etapas de trabalho distintas.

Numa primeira etapa procurou-se caracterizar, o mais exaustivamente possível, a exposição ocupacional a vibrações dos operadores/manobradores de máquinas e veículos. Com esse intuito desenvolveu-se um trabalho de campo que permitisse avaliar e medir os níveis vibracionais em diferentes operadores de máquinas e veículos.

Na segunda etapa foi necessário conceber um ensaio para determinação dos efeitos da exposição sobre performance cognitiva e visual. Para tal, recorreu-se à concepção e transformação da parte posterior de uma carrinha ligeira de transporte de mercadorias (Citroen Jumper 2.5D), para acomodar dois adultos e os equipamentos de avaliação da performance cognitiva e visual dos voluntários, nomeadamente, os testes de Julgamento de Ação (TJA) e de OMEGA.

Na abordagem à primeira questão foi realizada uma avaliação dos níveis de exposição a VCI dos operadores de veículos industriais e dos operadores de máquinas industriais. Esta divisão, ainda que arbitrária, pressupôs que a condução dos veículos do primeiro grupo implicasse uma exposição a vibrações diferente. Este facto foi verificado pela análise estatística dos valores médios de aceleração ponderada para o eixo vertical do corpo humano (Z) dos equipamentos incluídos no primeiro grupo. Foram verificados valores de $0,29 (\pm 0,12) \text{ m/s}^2$ e de $0,65 \text{ m/s}^2 (\pm 0,37) \text{ m/s}^2$ para o segundo grupo de equipamentos.

O teste estatístico de *Mann-Whitney U* realizado demonstrou que a diferença entre aqueles valores é significativa ($p < 0,05$).

No entanto, foi possível constatar-se uma variabilidade nos valores relativos aos veículos industriais conhecidos pelo nome genérico de empilhadores. Nomeadamente, conseguiu-se encontrar em empilhadores com equivalente capacidade de carga/elevação, um com valores médios de aceleração de $0,07 \text{ m/s}^2$ para o eixo vertical Z do corpo humano e um outro com valores médios de aceleração bastante mais elevados, $0,47 \text{ m/s}^2$.

A segunda questão assumia explicitamente a necessidade de avaliar comparativamente a performance cognitiva e visual dos sujeitos de teste em situação de exposição e não exposição a VCI, partindo-se da conjectura de que se pode dividir a exigência das tarefas de condução e manobra dos equipamentos industriais em exigência cognitiva/visual (dos objetos em movimento, dos próprios painéis do veículo), cognitiva/motor (da atuação sobre os pedais, volante e alavancas) e cognitiva/aprendizagem (da comparação com situações semelhantes e evoluções previsíveis).

Na determinação da influência da exposição a VCI sobre o desempenho cognitivo e visual foi utilizada uma amostra de 45 voluntários. Essa amostra era constituída por 25 indivíduos do sexo masculino com idades entre os 21 e os 62 anos e experiência de condução de veículos automóveis ligeiros entre 1 a 41 anos. Por seu lado, os voluntários do sexo feminino eram em menor número, apenas 20, e possuíam idades entre os 21 e os 46 anos e experiência de condução de veículos automóveis ligeiros entre 1 a 28 anos. De um modo geral, os voluntários que participaram na

avaliação da influência da exposição a VCI no desempenho cognitivo e visual apresentavam uma idade média de 33,1 ($\pm 10,0$) anos e 13,2 ($\pm 9,8$) anos de experiência de condução de veículos automóveis ligeiros.

A avaliação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários foi realizada com recurso a dois testes distintos, nomeadamente o Teste de Julgamento de Ação e o Teste de OMEGA. Estes testes apresentaram robustez suficiente para avaliar simultaneamente o desempenho cognitivo e visual dos sujeitos.

As condições de exposição a VCI utilizadas durante a realização do Teste de Julgamento de Ação e do Teste de OMEGA foram três, nomeadamente com o:

- Veículo parado;
- Com o veículo em movimento a velocidade aproximada de 30 km/h, sobre piso regular de betuminoso e;
- Com o veículo em movimento a velocidade aproximada de 20 km/h, sobre piso irregular de cubos graníticos.

As duas condições de ensaio que efetivamente exponham os voluntários a vibrações, revelaram que foi o eixo vertical (eixo Z) aquele cuja média dos valores de aceleração ponderada se apresentaram mais elevados nas duas condições de exposição a VCI. Nomeadamente os valores médios registados para a aceleração no referido eixo Z foram de 0,20 m/s² e 0,54 m/s², respetivamente para o piso de betuminoso e para o piso de cubos graníticos. Os valores de exposição são bastante diferentes ($p < 0,005$), quando se considera a circulação do veículo sobre o piso de betuminoso ou sobre o piso de cubos graníticos.

A representação dos valores médios de aceleração ponderada, em bandas de terços de oitava, obtidos durante a realização dos testes de avaliação do desempenho cognitivo e visual dos voluntários, possibilitou verificar-se que, relativamente à circulação do veículo sobre o piso regular de betuminoso, existem duas frequências que se destacam pelos níveis de aceleração registados. Nomeadamente, 0,10 m/s² na frequência dos 3,1 Hz, para a componente vertical de exposição (eixo Z) e 0,12 m/s² na frequência de 25 Hz para a componente lateral (eixo Y). De igual forma, foi possível verificar-se que, relativamente à circulação do veículo sobre o piso irregular de cubos graníticos, existem duas frequências que se destacam pelos níveis de aceleração registados. No que concerne ao eixo vertical do corpo humano (eixo Z), a frequência dos 3,1 Hz continua a apresentar os valores mais elevados de aceleração, nomeadamente 0,27 m/s². No que respeita ao eixo lateral do corpo humano (eixo Y), verificam-se valores elevados para uma frequência próxima da registada no piso de betuminoso, mais concretamente foram registados valores de aceleração de 0,22 m/s² na frequência de 20 Hz.

Relativamente aos resultados encontrados pela aplicação do Teste de Julgamento de Ação e do Teste de OMEGA, estes revelaram uma significativa diminuição da performance dos voluntários nas condições de exposição a VCI, por comparação com a condição de ausência de exposição a VCI.

No que diz respeito ao Teste de Julgamento de Ação (TJA), e segundo o critério do total de erros (AJ_TE), a referida diminuição foi registada entre a condição veículo parado e a condição veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso e entre a condição veículo parado e a condição veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos.

No que concerne ao teste de OMEGA, e utilizando o valor de precisão (NP), a diminuição de performance ocorreu entre a condição veículo parado e a condição veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso, entre a condição veículo parado e a condição com o veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos e, finalmente, entre a condição com o veículo em movimento sobre um piso regular de betuminoso e com o veículo em movimento sobre um piso irregular de cubos graníticos.

Com base na hipótese apresentada e verificada por Griffin & Hayward (1994) de que a exposição a vibrações reduz a velocidade de leitura, pode-se inferir que a redução da performance visual dos voluntários nas condições de exposição a VCI influenciou negativamente a sua performance no Teste de Julgamento de Ação e no teste de OMEGA.

O número de erros cometidos pelos voluntários foi um dos parâmetros de análise do Teste de Julgamento de Ação tendo este parâmetro sido, inclusive, utilizado para atribuição do valor do julgamento de ação (AJ_TE). A análise estatística dos resultados obtidos para este parâmetro revelou uma diminuição significativa do valor de julgamento de ação (AJ_TE) em função do agravamento das condições de exposição a VCI. O valor médio de AJ_TE passou de 1,11 na condição de ausência de exposição a VCI, para 0,71 na condição de exposição a VCI com valores médios de aceleração ponderada de 0,20 m/s², para o eixo vertical do corpo humano, e para 0,62 na condição de exposição a VCI com valores médios de aceleração ponderada de 0,54 m/s², para o mesmo eixo do corpo humano.

A variável número de erros cometidos (NE) também foi alvo de análise durante a aplicação do teste de OMEGA. Além da contabilização do número total de erros cometidos, o referido teste também contabiliza o tempo total gasto para a sua correção (DTE). Sendo este último parâmetro utilizado na atribuição do valor de precisão (NP). A redução de 10,0 para 5,8 e 3,0, respetivamente para as condições de exposição a VCI testadas, revelou significância estatística e corroborou a hipótese de que a exposição a VCI influencia negativamente o tempo de reação, anteriormente proposta por Newell & Mansfield (2008).

Ao longo do trabalho desenvolvido para a presente tese foram surgindo perspectivas de trabalho futuras. De entre essas perspectivas destacam-se, nos próximos parágrafos, algumas que parecem mais relevantes.

Uma hipótese de trabalho interessante está relacionada com a verificação da possibilidade de desenvolver novas metodologias de ensaio que permitissem agilizar a recolha de dados e sua posterior análise. Nomeadamente, recorrendo a equipamentos alternativos de aquisição e registo de dados ou, eventualmente, equipamentos de teste alternativos ao Teste de Julgamento de Ação e OMEGA, mas com o mesmo tipo de pressupostos teóricos que os sustentam. São disso exemplo a avaliação, em simuladores de condução, do tempo decorrido entre a apresentação de um estímulo e a efetivação da resposta (*"perception-response time"*) ou a manutenção da distância entre o veículo e um outro que circula à sua frente (*"tracking error"*).

A eletromiografia é uma técnica de análise com muita tradição no estudo do trabalho muscular. No entanto, os mais recentes avanços na sensibilidade dos eletromiógrafos e na sua facilidade de utilização permite colocar a questão sobre a pertinência da utilização da eletromiografia para aferir o trabalho muscular desenvolvido para minimizar os efeitos da exposição a VCI, mais concretamente ao nível da correção de postura.

O tamanho da amostra constitui muitas vezes uma limitação assumida durante a realização de ensaios. Em virtude disso seria interessante aumentar o seu tamanho, de modo a possibilitar a comparação dos efeitos da exposição a VCI ao longo de classes de idade. Com este aumento seria, eventualmente, possível contribuir para um melhor conhecimento dos efeitos cognitivos em função da idade ou histórico de exposição dos voluntários.

Procurar conjuntos específicos de voluntários com históricos de exposição a VCI distintos pode apresentar algumas vantagens. Caso o objetivo seja verificar uma possível relação entre o histórico de exposição e a existência de estratégias de minimização dos efeitos da exposição sobre os órgãos e sistemas do corpo humano.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

BIBLIOGRAFIA

- Baddeley, A. D., Hitch, G., & Gordon, H. B. (1974). Working Memory *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. Volume 8, pp. 47-89): Academic Press.
- Blood, R. P., Ploger, J. D., Yost, M. G., Ching, R. P., & Johnson, P. W. (2010). Whole body vibration exposures in metropolitan bus drivers: A comparison of three seats. *Journal of Sound and Vibration*, 329(1), 109-120.
- Blüthner, R., Hinz, B., Menzel, G., Schust, M., & Seidel, H. (2006). On the significance of body mass and vibration magnitude for acceleration transmission of vibration through seats with horizontal suspensions. *Journal of Sound and Vibration*, 298(3), 627-637.
- Blüthner, R., Seidel, H., & Hinz, B. (2002). Myoelectric response of back muscles to vertical random whole-body vibration with different magnitudes at different postures. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 37-56.
- Bonnardel, R. (1947). *Batterie Securite*. Issy-Les-Moulineaux, France.
- Bonney, R. A., & Corlett, E. N. (2003). Vibration and spinal lengthening in simulated vehicle driving. *Applied Ergonomics*, 34(2), 195-200.
- Bovenzi, M., & Hulshof, C. T. J. (1998). An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 595-611.
- Bovenzi, M., Rui, F., Negro, C., D'Agostin, F., Angotzi, G., Bianchi, S., et al. (2006). An epidemiological study of low back pain in professional drivers. *Journal of Sound and Vibration*, 298(3), 514-539.
- Brookhuis, K. A., van Driel, C. J. G., Hof, T., van Arem, B., & Hoedemaeker, M. (2009). Driving with a congestion assistant; mental workload and acceptance. *Applied Ergonomics*, 40(6), 1019-1025.
- BS. (6841:1987). Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock.
- Cho, Y., & Yoon, Y.-S. (2001). Biomechanical model of human on seat with backrest for evaluating ride quality. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(5), 331-345.
- Costa, N., & Arezes, P. M. (2009). The influence of operator driving characteristics in whole-body vibration exposure from electrical fork-lift trucks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1), 34-38.
- Couchard, P. (2011). Batterie securite Bonnardel. 2011
- Cronin, J. B., Oliver, M., & McNair, P. J. (2004). Muscle stiffness and injury effects of whole body vibration. *Physical Therapy in Sport*, 5(2), 68-74.
- Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de Fevereiro. Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos a vibrações mecânicas.

- Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro. Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos ao ruído.
- Demic, M., & Lukic, J. (2009). Investigation of the transmission of fore and aft vibration through the human body. *Applied Ergonomics*, 40(4), 622-629.
- Dennis, J. P. (1965). Some effects of vibration upon visual performance. *Journal of Applied Psychology*, 49(4), 245-252.
- Dong, R. G., Welcome, D. E., & McDowell, T. W. (2011). Some important oversights in the assessment of whole-body vibration exposure based on ISO-2631-1. *Applied Ergonomics*, In Press, Corrected Proof.
- EAP. (1975). *Safety Batterie* (Éditions Scientifiques ed.). Issy-Les-Moulineaux, France.
- EN. (ISO 5349-2:2001). Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. Brussels, Belgium.
- Funakoshi, M., Taoda, K., Tsujimura, H., & Nishiyama, K. (2004). Measurement of Whole-Body Vibration in Taxi Drivers. *Journal of Occupational Health*, 46, 6.
- Gallais, L., & Griffin, M. J. (2006). Low back pain in car drivers: A review of studies published 1975 to 2005. *Journal of Sound and Vibration*, 298(3), 499-513.
- Griefahn, B., & Bröde, P. (1999). The significance of lateral whole-body vibrations related to separately and simultaneously applied vertical motions. A validation study of ISO 2631. *Applied Ergonomics*, 30(6), 505-513.
- Griffin, M. J. (1990). *Handbook of human vibration*. London: Academic Press.
- Griffin, M. J. (1998). A comparison of standardized methods for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 883-914.
- Griffin, M. J., & Hayward, R. A. (1994). Effects of horizontal whole-body vibration on reading. *Applied Ergonomics*, 25(3), 165-169.
- Hinz, B., Blüthner, R., Menzel, G., Rützel, S., Seidel, H., & Wölfel, H. P. (2006). Apparent mass of seated men—Determination with single- and multi-axis excitations at different magnitudes. *Journal of Sound and Vibration*, 298(3), 788-809.
- Hoy, J., Mubarak, N., Nelson, S., Sweerts de Landas, M., Magnusson, M., Okunribido, O., et al. (2005). Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers. *Journal of Sound and Vibration*, 284(3-5), 933-946.
- IEC. (61672-1:2002). Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications. Geneva, Switzerland.
- IPQ. (NP ISO 2631-1:2007). Vibrações mecânicas e choque - Avaliação da exposição do corpo inteiro a vibrações. Parte 1 - Requisitos gerais. Monte de Caparica, Portugal.
- Ishitake, T., Miyazaki, Y., Noguchi, R., Ando, H., & Matoba, T. (2002). EVALUATION OF FREQUENCY WEIGHTING (ISO 2631-1) FOR ACUTE EFFECTS OF WHOLE-BODY VIBRATION ON GASTRIC MOTILITY. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1), 31-36.
- ISO. (2631-1:1985). Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements.

- ISO. (8041:2005). Human response to vibration - Measuring instrumentation. Geneva, Switzerland.
- ISO. (10816:2009). Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Geneva, Switzerland.
- Jang, H.-K., & Kook, D.-Y. (2004). Objective measurement of the start-motion quality of a forklift truck. *Applied Ergonomics*, 35(5), 467-473.
- Jiao, K., Li, Z., Chen, M., Wang, C., & Qi, S. (2004). Effect of different vibration frequencies on heart rate variability and driving fatigue in healthy drivers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77(3), 205-212.
- Johanning, E. (2011). Vibration and shock exposure of maintenance-of-way vehicles in the railroad industry. *Applied Ergonomics*, 42(4), 555-562.
- Kolich, M., Essenmacher, S. D., & McEvoy, J. T. (2005). Automotive seating: the effect of foam physical properties on occupied vertical vibration transmissibility. *Journal of Sound and Vibration*, 281(1-2), 409-416.
- Kubo, M., Terauchi, F., Aoki, H., & Matsuoka, Y. (2001). An investigation into a synthetic vibration model for humans: : An investigation into a mechanical vibration human model constructed according to the relations between the physical, psychological and physiological reactions of humans exposed to vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(4), 219-232.
- Kumar, S. (2004). Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining. *Applied Ergonomics*, 35(6), 509-520.
- Law, D. J., Morrin, K. A., & Pellegrino, J. W. (1995). Training effects and working memory contributions to skill acquisition in a complex coordination task. *Learning and Individual Differences*, 7(3), 207-234.
- Leite dos Reis, M. C. (1967). O aprendiz no meio industrial português: contribuição para o seu estudo. *Análise Social, Vol. 1*(18), 13.
- Lewis, C. H., & Griffin, M. J. (1998). A comparison of evaluations and assessments obtained using alternative standards for predicting the hazards of whole-body vibration and repeated shocks. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 915-926.
- Lin, C. J., Hsieh, Y.-H., Chen, H.-C., & Chen, J. C. (2008). Visual performance and fatigue in reading vibrating numeric displays. *Displays*, 29(4), 386-392.
- Lings, S., & Leboeuf-Yde, C. (2000). Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992–1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73(5), 290-297.
- Ljungberg, & Neely. (2007a). Cognitive After-effects of Vibration and Noise Exposure and the Role of Subjective Noise Sensitivity. *Journal of Occupational Health*, 49, 6.
- Ljungberg, & Neely. (2007b). Stress, subjective experience and cognitive performance during exposure to noise and vibration. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 44-54.
- Ljungberg, J., Neely, G., & Lundström, R. (2004). Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole-body vibration and noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77(3), 217-221.

- Ljungberg, J. K., & Neely, G. (2007a). Cognitive After-effects of Vibration and Noise Exposure and the Role of Subjective Noise Sensitivity. *Journal of Occupational Health*, 49, 6.
- Ljungberg, J. K., & Neely, G. (2007b). Stress, subjective experience and cognitive performance during exposure to noise and vibration. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 44-54.
- Ljunggren, F., Wang, J., & Ågren, A. (2007). Human vibration perception from single- and dual-frequency components. *Journal of Sound and Vibration*, 300(1-2), 13-24.
- Maeda, S., & Morioka, M. (1998). Measurement of whole-body vibration exposure from garbage trucks. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 959-964.
- Magnusson, M. L., Pope, M. H., Hulshof, C. T. J., & Bovenzi, M. (1998). Development of a protocol for epidemiological studies of whole-body vibration and musculoskeletal disorders of the lower back. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 643-651.
- Malchaire, J., Piette, A., & Mullier, I. (1996). Vibration exposure on fork-lift trucks. *The Annals of Occupational Hygiene*, 40(1), 79-91.
- Mandapuram, S., Rakheja, S., Marcotte, P., & Boileau, P.-É. (2011). Analyses of biodynamic responses of seated occupants to uncorrelated fore-aft and vertical whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 330(16), 4064-4079.
- Mani, R., Milosavljevic, S., & Sullivan, S. J. (2010). The effect of occupational whole-body vibration on standing balance: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(6), 698-709.
- Mansfield, N. J. (2005). *Human Response to Vibration*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Mansfield, N. J., Holmlund, P., & Lundström, R. (2001). APPARENT MASS AND ABSORBED POWER DURING EXPOSURE TO WHOLE-BODY VIBRATION AND REPEATED SHOCKS. *Journal of Sound and Vibration*, 248(3), 427-440.
- Mansfield, N. J., Holmlund, P., Lundström, R., Lenzuni, P., & Nataletti, P. (2006). Effect of vibration magnitude, vibration spectrum and muscle tension on apparent mass and cross axis transfer functions during whole-body vibration exposure. *Journal of Biomechanics*, 39(16), 3062-3070.
- Matsumoto, Y., & Griffin, M. J. (1998). MOVEMENT OF THE UPPER-BODY OF SEATED SUBJECTS EXPOSED TO VERTICAL WHOLE-BODY VIBRATION AT THE PRINCIPAL RESONANCE FREQUENCY. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 743-762.
- Matsumoto, Y., & Griffin, M. J. (2005). Nonlinear subjective and biodynamic responses to continuous and transient whole-body vibration in the vertical direction. *Journal of Sound and Vibration*, 287(4-5), 919-937.
- Matsumoto, Y., Maeda, S., Iwane, Y., & Iwata, Y. (2011). Factors affecting perception thresholds of vertical whole-body vibration in recumbent subjects: Gender and age of subjects, and vibration duration. *Journal of Sound and Vibration*, 330(8), 1810-1828.
- Matsumoto, Y., Ohdo, K., & Saito, T. (2006). Dynamic and subjective responses of seated subjects exposed to simultaneous vertical and fore-and-aft whole-body vibration: The effect of the phase between the two single-axis components. *Journal of Sound and Vibration*, 298(3), 773-787.

- McCallig, M., Paddan, G., Van Lente, E., Moore, K., & Coggins, M. (2010). Evaluating worker vibration exposures using self-reported and direct observation estimates of exposure duration. *Applied Ergonomics*, *42*(1), 37-45.
- Melo, R. B., & Miguel, A. S. (2004). *Considerations on whole-body vibration exposure evaluation procedures*. Paper presented at the ORP 2004 - III International Conference on Occupational Risk Prevention – Filling the gap between practitioners' and scientists' point of views about occupational risk prevention Santiago de Compostela, Spain.
- Melo, R. B., & Penedo, S. (2006). *Coach driver's exposure to whole-body vibration*. Paper presented at the IEA 2006 - 16th Triennial Congress of the International Ergonomics Association – Meeting Diversity in Ergonomics, Maastricht, The Netherlands.
- Melo, R. B., Rôla, S., Miguel, A. S., & Simões, A. (2005). *Whole-body vibration experienced by urban bus drivers*. Paper presented at the CAES'2005 - International Conference on Computer-Aided Ergonomics, Human Factors and Safety: Information Technology, Knowledge Management and Engineering for Enterprise Productivity and Quality of Working Life, Košice, Slovak Republic.
- Melo, R. B., Rôla, S., Simões, A., & Miguel, A. S. (2003). *Whole-body vibration transmission in urban buses*. Paper presented at the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 7th Joint Conference of Ergonomics Society of Korea/Japan Ergonomics Society, Seoul, Korea.
- Messina, A., Schiraldi, C., & Sheldon, A. M. (2009). Influence of vibrations on mental human performance for driving safety in heavy vehicles. *Human System Interactions, 2009. HSI '09. 2nd Conference on*, 580-587.
- Morioka, M., & Griffin, M. J. (2006). Magnitude-dependence of equivalent comfort contours for fore-and-aft, lateral and vertical whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, *298*(3), 755-772.
- Nawayseh, N., & Griffin, M. J. (2004). Tri-axial forces at the seat and backrest during whole-body vertical vibration. *Journal of Sound and Vibration*, *277*(1-2), 309-326.
- Nawayseh, N., & Griffin, M. J. (2005). Effect of seat surface angle on forces at the seat surface during whole-body vertical vibration. *Journal of Sound and Vibration*, *284*(3-5), 613-634.
- Newell, G. S., & Mansfield, N. J. (2008). Evaluation of reaction time performance and subjective workload during whole-body vibration exposure while seated in upright and twisted postures with and without armrests. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *38*(5-6), 499-508.
- Newell, G. S., Mansfield, N. J., & Notini, L. (2006). Inter-cycle variation in whole-body vibration exposures of operators driving track-type loader machines. *Journal of Sound and Vibration*, *298*(3), 563-579.
- Nishida, S. M. (2008). Museu-Escola. Retrieved 2011, 2011
- Okunribido, O. O., Shimbles, S. J., Magnusson, M., & Pope, M. (2007). City bus driving and low back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. *Applied Ergonomics*, *38*(1), 29-38.
- Paddan, G. S., & Griffin, M. J. (2002). Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, *253*(1), 215-241.

- Peli, E., & García-Pérez, M. A. (2003). Motion perception during involuntary eye vibration. *Experimental Brain Research*, 149(4), 431-438.
- Pinto, I., & Stacchini, N. (2006). Uncertainty in the evaluation of occupational exposure to whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 298(3), 556-562.
- Qiu, Y., & Griffin, M. J. (2004). Transmission of vibration to the backrest of a car seat evaluated with multi-input models. *Journal of Sound and Vibration*, 274(1-2), 297-321.
- Rao, S. S. (1995). *Mechanical Vibrations, Third Edition*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Rehn, B., Lundström, R., Nilsson, L., Liljelind, I., & Järholm, B. (2005). Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles—aspects on measurement strategies and prevention. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(9), 831-842.
- Ruiz, R. M. C., & Muñoz, B. L. (1999). *Exposición a vibraciones en el lugar de trabajo*. Madrid.
- Santos, B. R., Larivière, C., Delisle, A., Plamondon, A., Boileau, P.-É., & Imbeau, D. (2008). A laboratory study to quantify the biomechanical responses to whole-body vibration: The influence on balance, reflex response, muscular activity and fatigue. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(7-8), 626-639.
- Scarlett, A. J., Price, J. S., & Stayner, R. M. (2007). Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*, 44(1), 65-73.
- Schust, M., Blüthner, R., & Seidel, H. (2006). Examination of perceptions (intensity, seat comfort, effort) and reaction times (brake and accelerator) during low-frequency vibration in x- or y-direction and biaxial (xy-) vibration of driver seats with activated and deactivated suspension. *Journal of Sound and Vibration*, 298(3), 606-626.
- Schwarze, S., Notbohm, G., Dupuis, H., & Hartung, E. (1998). Dose-response relationships between whole-body vibration and lumbar disk disease - a field study on 388 drivers of different vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 613-628.
- Seidel, H. (2005). On the Relationship between Whole-body Vibration Exposure and Spinal Health Risk. *Industrial Health*, 43(3), 361-377.
- Servadio, P., Marsili, A., & Belfiore, N. P. (2007). Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. *Biosystems Engineering*, 97(2), 171-180.
- Shanmugaratnam, S., Kass, S. J., & Arruda, J. E. (2010). Age differences in cognitive and psychomotor abilities and simulated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 802-808.
- Sherwin, L. M., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Lyons, J., & Ward, S. M. (2004). Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester. *Applied Ergonomics*, 35(3), 253-261.
- Smets, M. P. H., Eger, T. R., & Grenier, S. G. (2010). 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. *Applied Ergonomics*, 41(6), 763-770.

- Subashi, G. H. M. J., Matsumoto, Y., & Griffin, M. J. (2006). Apparent mass and cross-axis apparent mass of standing subjects during exposure to vertical whole-body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 293(1-2), 78-95.
- Summers, J. (2002). Practice and Training in Bimanual Coordination Tasks: Strategies and Constraints. *Brain and Cognition*, 48(1), 166-178.
- Takey and Company, L. (1996). *Item No. 1105, Action Judgment Tester, Operation Manual*. Tokyo.
- Telford, C. W., & Spangler, H. (1935). Training effects in motor skills. *Journal of Experimental Psychology*, 18(1), 141-147.
- Thullier, F., Lepelley, M.-C., & Lestienne, F. G. (2008). An evaluation tool for psychomotor performance during visual motor task: An application of information theory. *Journal of Neuroscience Methods*, 171(2), 183-189.
- Walker, G. H., Stanton, N. A., Kazi, T. A., Salmon, P. M., & Jenkins, D. P. (2009). Does advanced driver training improve situational awareness? *Applied Ergonomics*, 40(4), 678-687.
- Wang, W., Rakheja, S., & Boileau, P. É. (2008). Relationship between measured apparent mass and seat-to-head transmissibility responses of seated occupants exposed to vertical vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 314(3-5), 907-922.

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ANEXO I – Questionário prévio.

Designação do equipamento e/ou local de trabalho: ?? & ??	Especificações da fonte de vibração		
<p>(fotografia da máquina/equipamento)</p>	Tipo de alimentação (gasóleo, gás, etc.)		
	Ano de entrada em funcionamento		
	Peso (kg)		
	Potência (w) ou Rotações (rph)		
	N.º horas de utilização (h)		
	Pavimento de circulação (terra, cimento, etc.)		
	Velocidade média de circulação (km/h)		
	N.º trabalhadores expostos à fonte vibracional		
	Rotina da exposição		
	Exposição diária ao trabalho (h)		
Duração dos períodos de descanso ou interrupção (h)			
Tipo de trabalho (sentado / de pé)			
Descrição do trabalho realizado			
Breve descrição da tarefa executada com a máquina/equipamento.			
Questionário número ##			

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ANEXO II – Caracterização dos veículos e equipamentos avaliados.

EQUIPAMENTO 1

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Giratória	Daewoo	DX340LC	Diesel	-	184	1.750	34.000

Foto equipamento



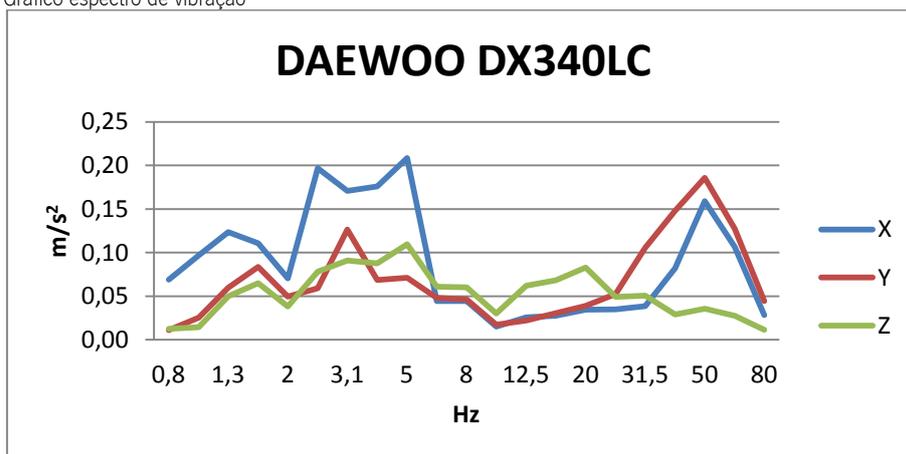
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	11AB0				
Data avaliação:	11/04/2007		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,33
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	18h10
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,237	0,112	0,170	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 2

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Rastos	Komatsu	D155AX	Diesel	-	231	1.900	36.000

Foto equipamento



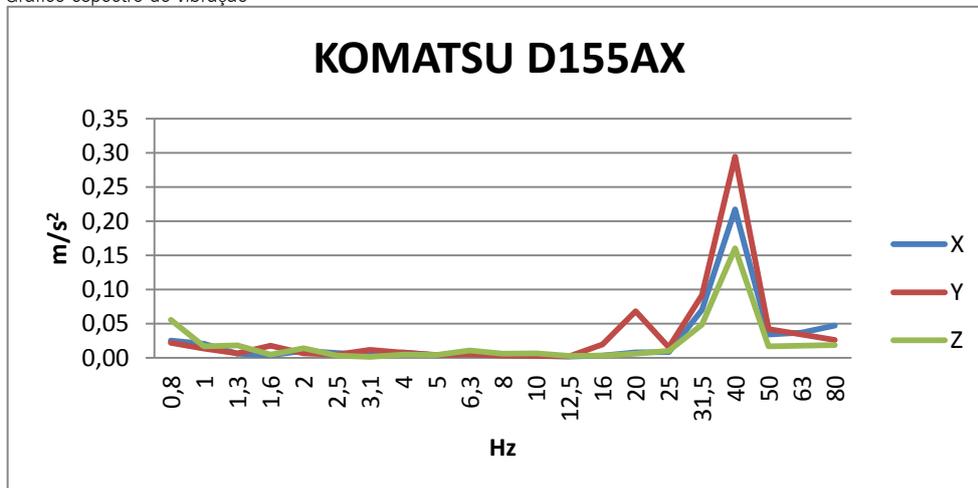
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	11AB2				
Data avaliação:	11/04/2007		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,91
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	2h24
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,721	0,669	0,912	Tempo para valor limite:	12h43

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 3

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Dumper	Terex	TA 30	Diesel	-	287	2.100	28.000

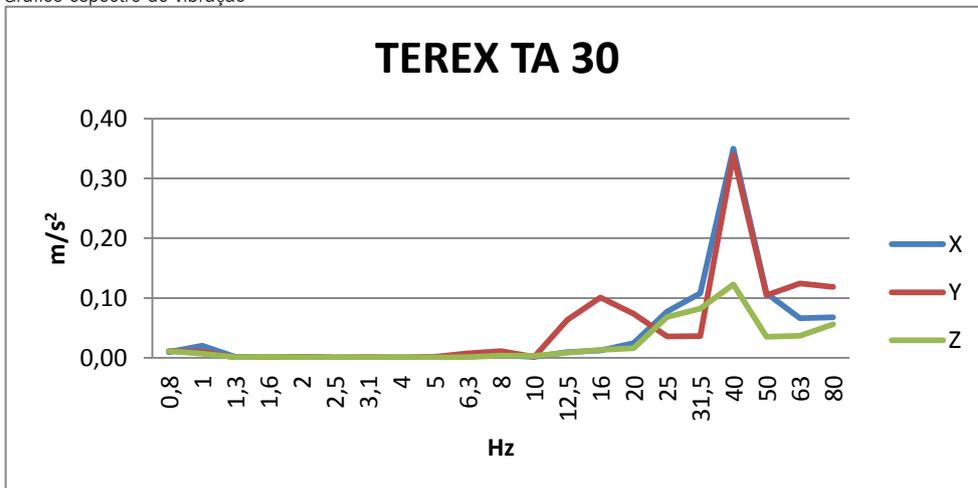
Foto equipamento



Resumo valores vibração

Id.	11AB4				
Data avaliação:	11/04/2007		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,40
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	>24h
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,265	0,381	0,401	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 4

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Pá carregadora	Fiat Hitachi	FR 220.2	Diesel	-	177	-	22.000

Foto equipamento



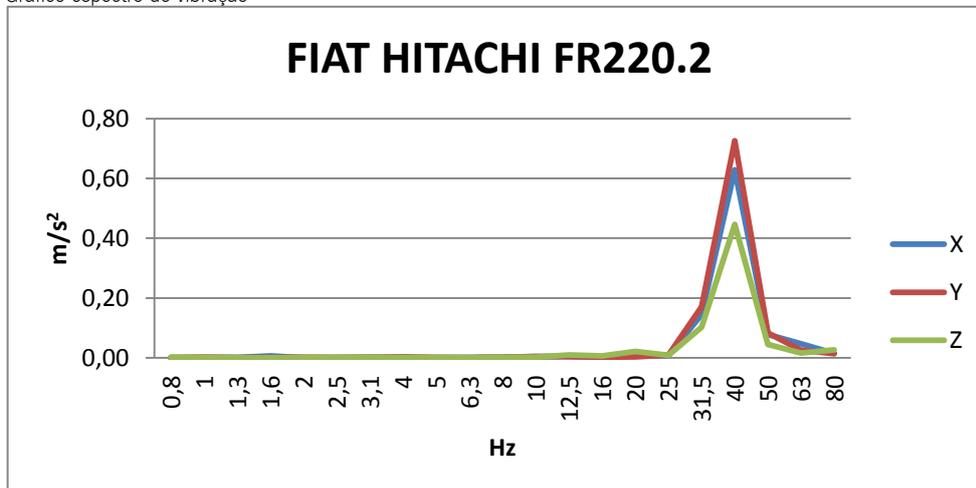
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	11AB6				
Data avaliação:	11/04/2007		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,66
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	4h39
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,414	0,468	0,435	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 5

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Mini Pá carregadora	Daewoo	DSL 702	Diesel	7.500	38	-	2.770

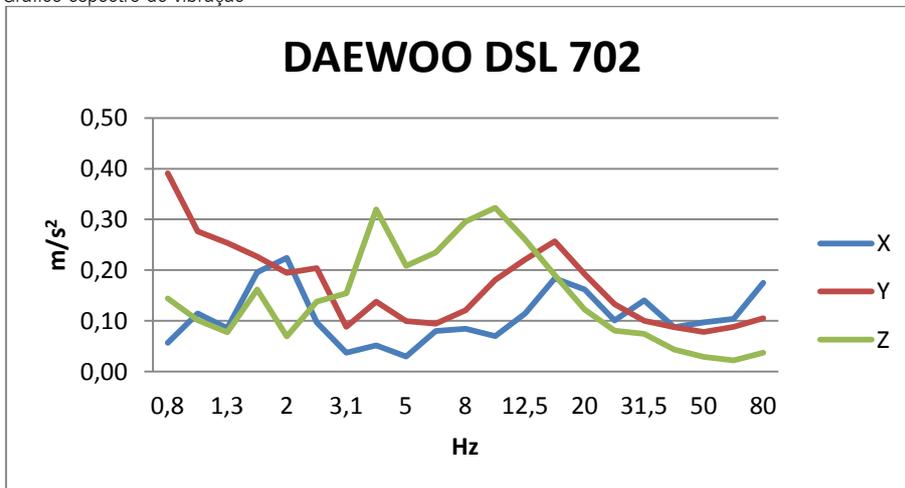
Foto equipamento



Resumo valores vibração

Id.	07JULO				
Data avaliação:	07/07/2008		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,83
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	2h55
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,398	0,576	0,827	Tempo para valor limite:	15h28

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 6

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Retroescavadora	Fiat Hitachi	FB 100.2	Diesel	10.649	79,2	-	7.300

Foto equipamento



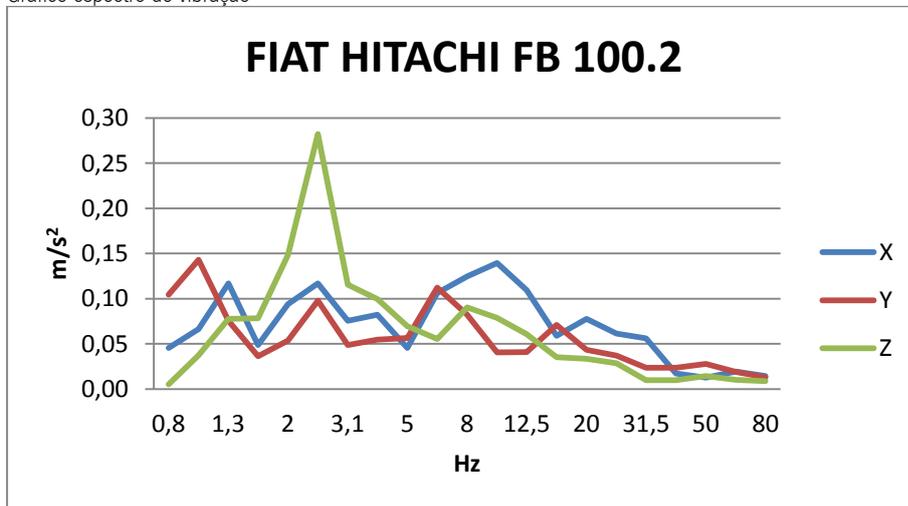
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	25JUNO				
Data avaliação:	25/06/2008		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,61
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	5h28
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,308	0,432	0,329	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 7

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Rastos	Komatsu	D725 AX	Diesel	6.476	306	-	37.680

Foto equipamento



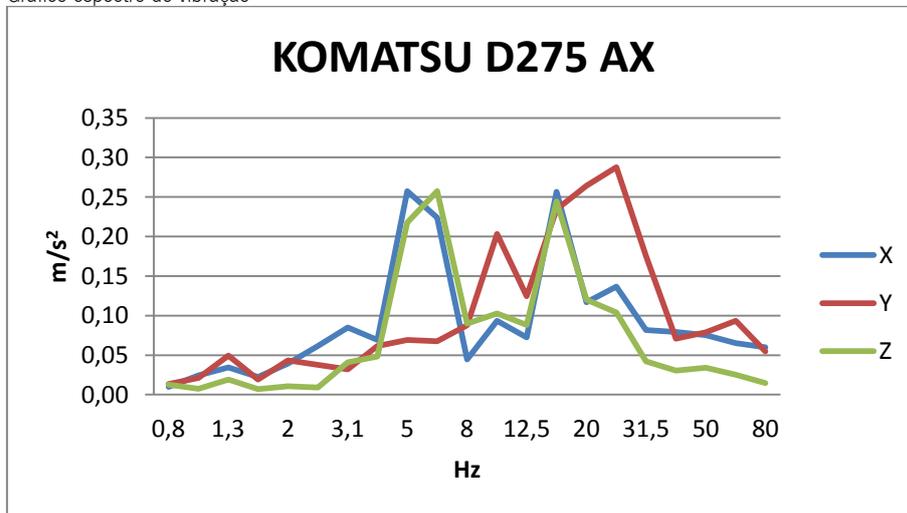
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	08JULO			Duração da exposição:	480min.
Data avaliação:	08/07/2008			A(8) (m/s ²)	0,69
	Assento			Tempo para valor de acção:	4h12
	X	Y	Z	Tempo para valor limite:	22h13
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,363	0,285	0,690		

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 8

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Cilindro compactador	Caterpillar	CS 663E	Diesel	2.500	112	-	11.120

Foto equipamento



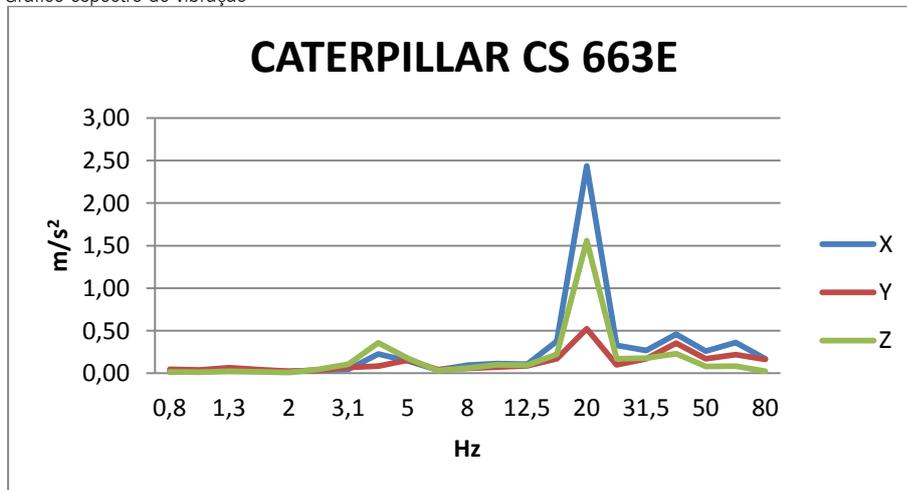
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	08JUL3				
Data avaliação:	08/07/2008		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	1,56
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	00h49
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,348	0,294	1,561	Tempo para valor limite:	4h20

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 9

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Dumper	Komatsu	Galeo HM 350	Diesel	6.970	304	-	31.060

Foto equipamento



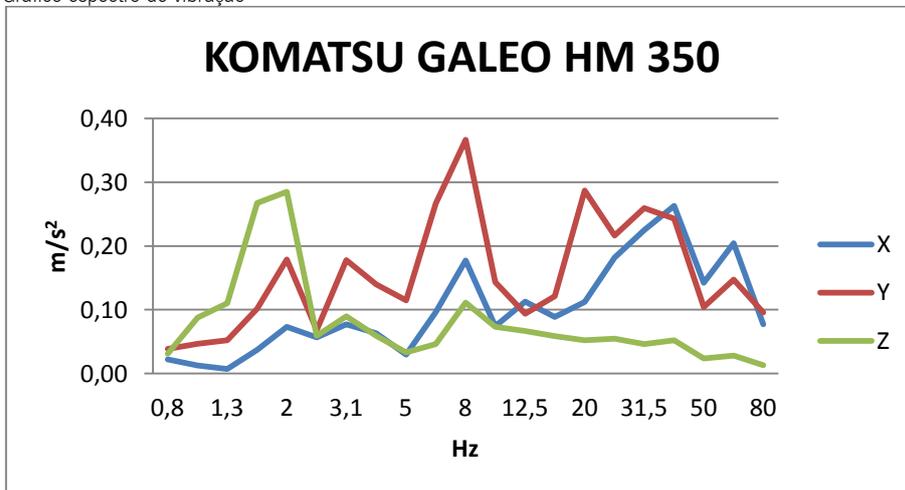
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	08JUL6				
Data avaliação:	08/07/2008		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	1,03
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	1h53
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,590	0,735	0,703	Tempo para valor limite:	9h59

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 10

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Autocarro (A1)	Scania	114K	Diesel	Dez_2005	283	-	19.000

Foto equipamento(*)



Foto painel(*)

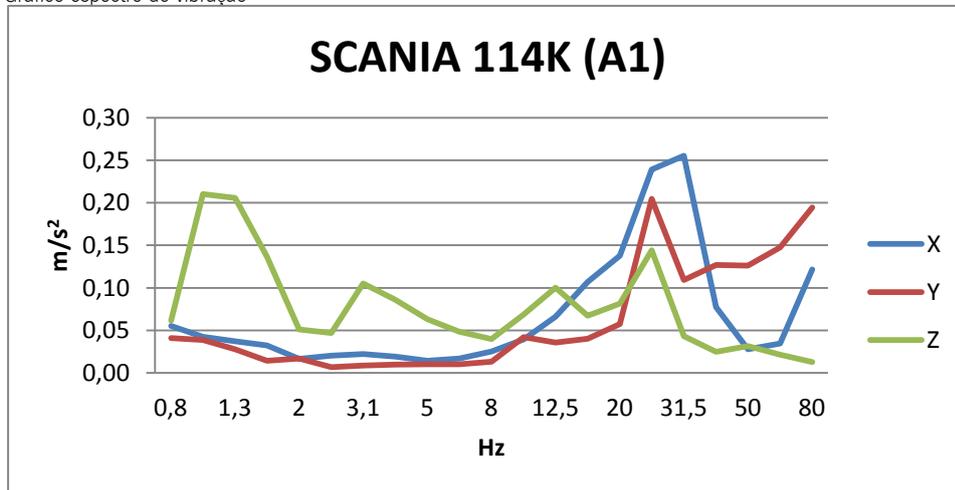


(*) Fotografias de modelos semelhantes ao ensaiado. Os ficheiros das fotos originais apresentavam erro.

Resumo valores vibração

Id.	09FEBO				
Data avaliação:	08/02/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,33
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	18h56
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,131	0,056	0,325	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 11

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Autocarro (N1)	Scania	114K	Diesel	Dez_2005	283	-	19.000

Foto equipamento(*)



Foto painel(*)

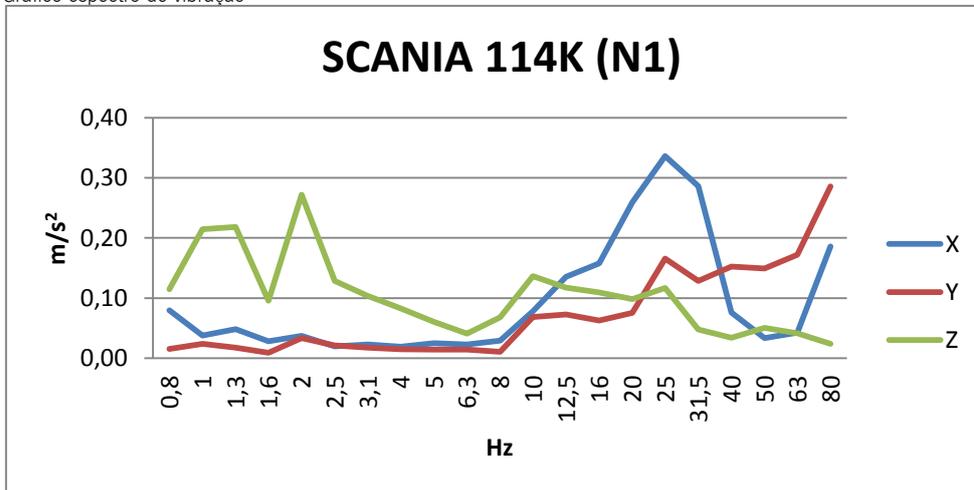


(*) Fotografias de modelos semelhantes ao ensaiado. Os ficheiros das fotos originais apresentavam erro.

Resumo valores vibração

Id.	09FEB15			Duração da exposição:	480min.
Data avaliação:	08/02/2009			A(8) (m/s ²)	0,35
	Assento			Tempo para valor de acção:	16h25
	X	Y	Z	Tempo para valor limite:	>24h
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,148	0,096	0,349		

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 12

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Autocarro (A1)	Volvo	B12	Diesel	Jan_2003	309	-	19.000

Foto equipamento(*)



Foto painel(*)

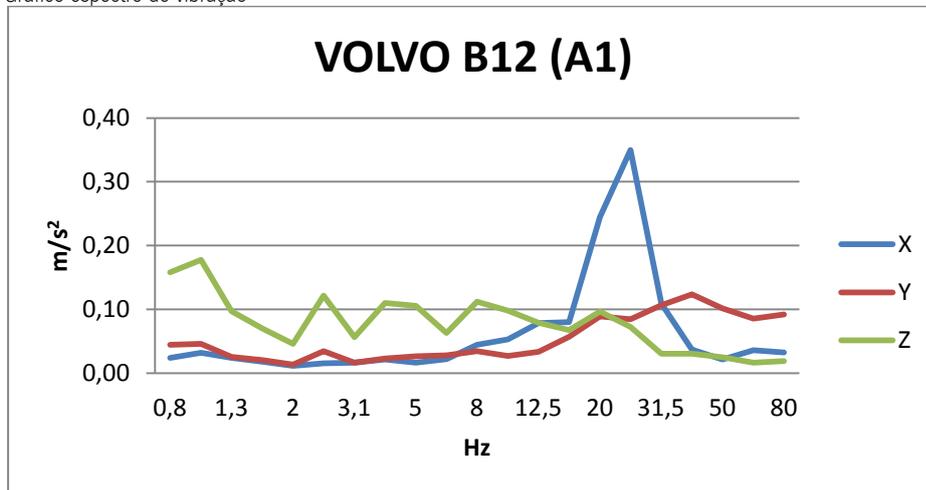


(*) Fotografias de modelos semelhantes ao ensaiado. Os ficheiros das fotos originais apresentavam erro.

Resumo valores vibração

Id.	26JANO				
Data avaliação:	26/01/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,30
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	21h38
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,085	0,095	0,304	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 13

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Autocarro (N1)	Volvo	B12	Diesel	Jan_2003	309	-	19.000

Foto equipamento(*)



Foto painel(*)

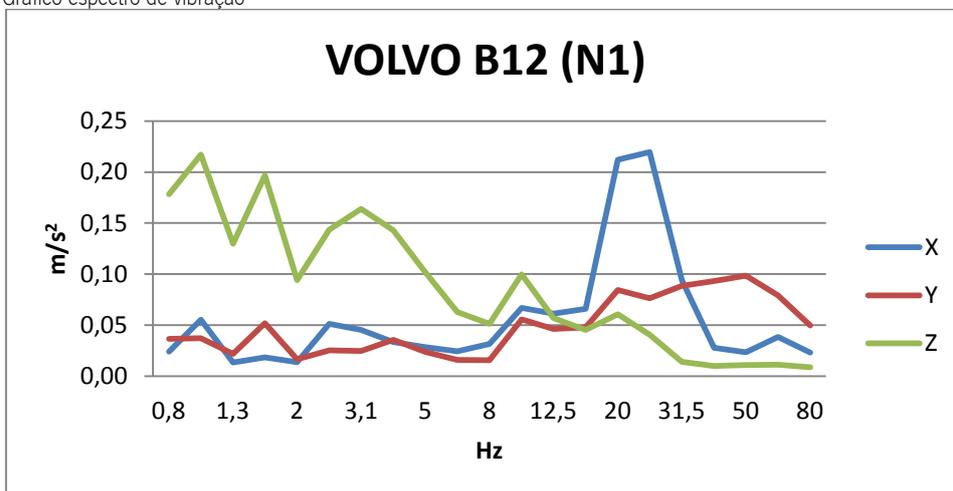


(*) Fotografias de modelos semelhantes ao ensaiado. Os ficheiros das fotos originais apresentavam erro.

Resumo valores vibração

Id.	26JAN16				
Data avaliação:	26/01/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,34
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	17h18
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,115	0,123	0,340	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 14

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Compactador RSU	Bomag	BC 570 RB	Diesel	-	186	2.200	26.000

Foto equipamento(*)

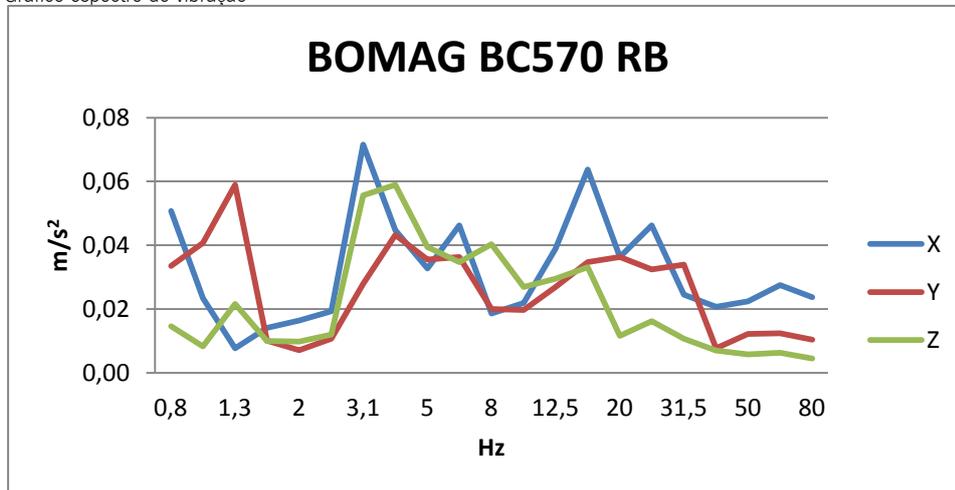


(*) Fotografia de modelo semelhante ao ensaiado. Os ficheiros das fotos originais apresentavam erro.

Resumo valores vibração

Id.	10MARO					
Data avaliação:	10/03/2009			Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,57	
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	6h04	
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,362	0,489	0,574	Tempo para valor limite:	>24h	

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 15

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	rotações (RPM)	Peso (KG)
Camião RSU	Mercedes	1828	Diesel	Jan93	206	2.000	19.000

Foto equipamento(*)

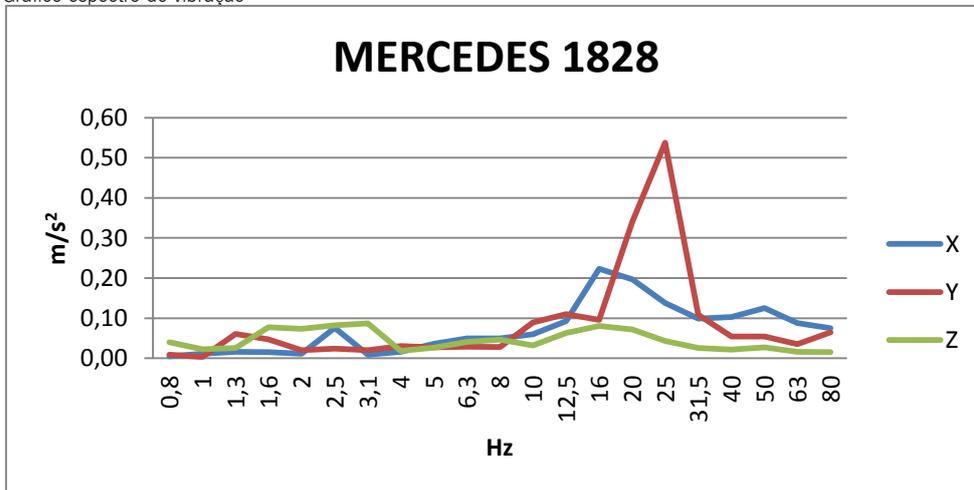


(*) Fotografia de modelo semelhante ao ensaiado. Os ficheiros das fotos originais apresentavam erro.

Resumo valores vibração

Id.	10MAR2				
Data avaliação:	10/03/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,26
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	>24h
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,146	0,218	0,260	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



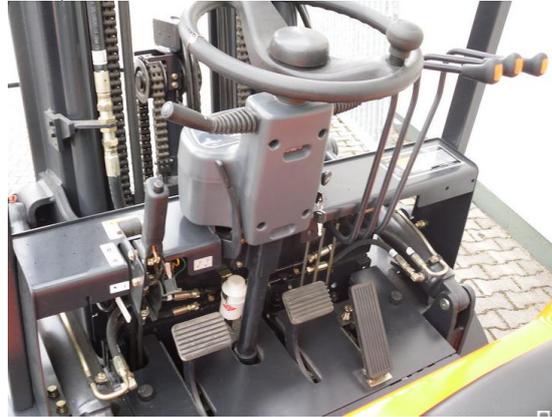
EQUIPAMENTO 16

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Nissan	D25	Diesel	3.651	43	-	-

Foto equipamento



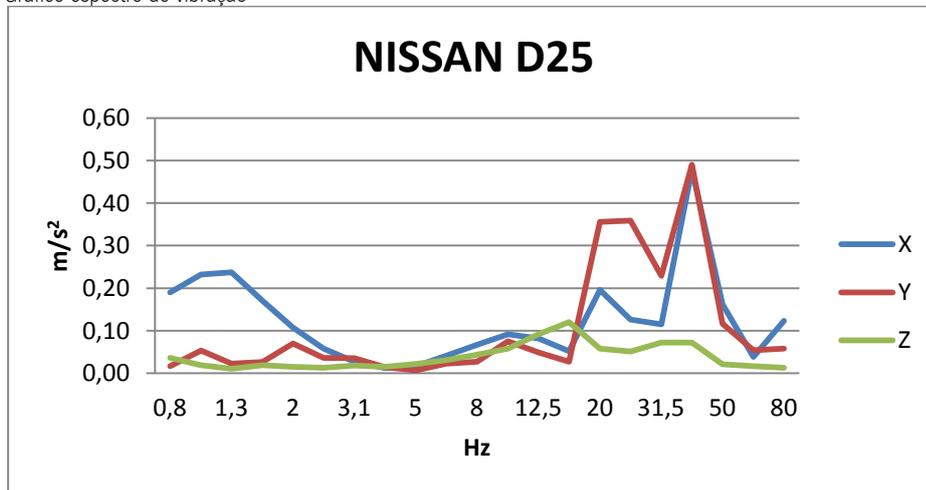
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	10MAR2				
Data avaliação:	10/03/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,47
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	9h15
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,308	0,271	0,465	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 17

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Compactador RSU	Volvo	L 120 C	Diesel	5.688	148	2.100	12.000

Foto equipamento



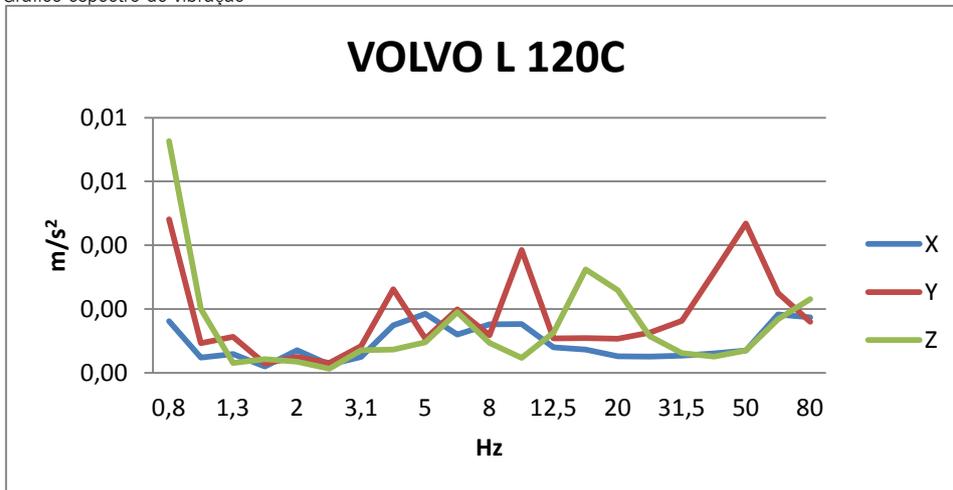
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	10MAR3				
Data avaliação:	10/03/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	1,06
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	1h46
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,601	0,757	0,587	Tempo para valor limite:	9h25

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 18

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Doosan	20	Eléctrico	1.132-33.330	12	-	3.236

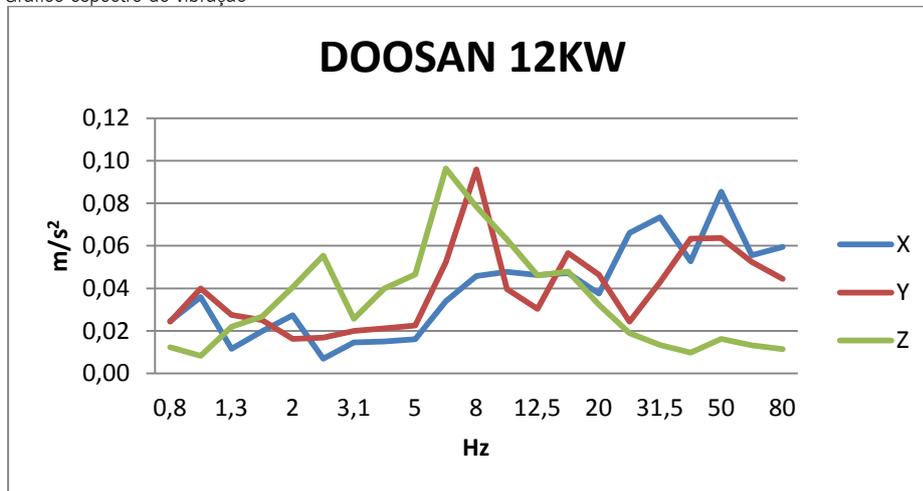
Foto equipamento



Resumo valores vibração

Id.	25MAY9, 26MAY4, 26MAY6, 05JUN1				
Data avaliação:	25 e 26/05/2009 e 05/06/2009			Duração da exposição:	480min.
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,34
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	17h24
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,139	0,219	0,339	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 19

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Doosan	35	Eléctrico	490-31.649	20	-	3.500

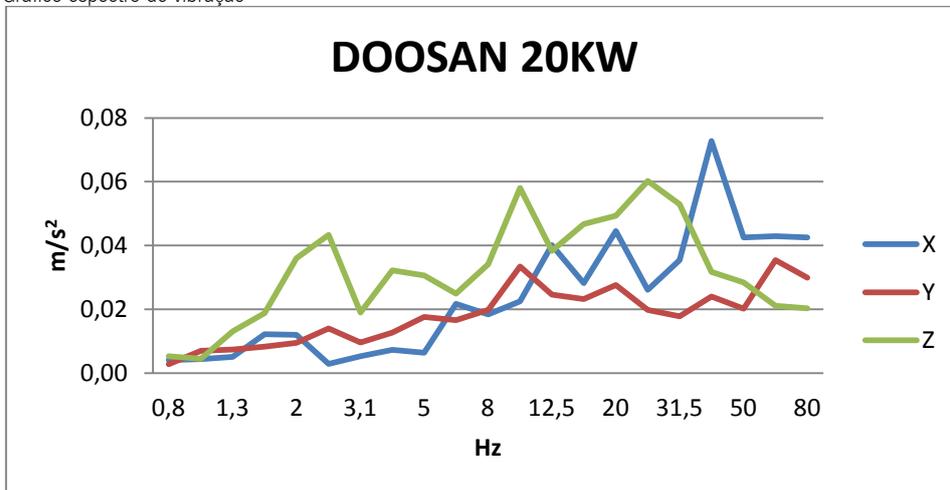
Foto equipamento



Resumo valores vibração

Id.	25MAY8, 26MAY2, 26MAY5, 26MAY9				
Data avaliação:	25 e 26/05/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento		A(8) (m/s ²)	0,23	
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	>24h
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,152	0,156	0,232	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 20

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Doosan	20	Diesel	41.750	54	-	3.800

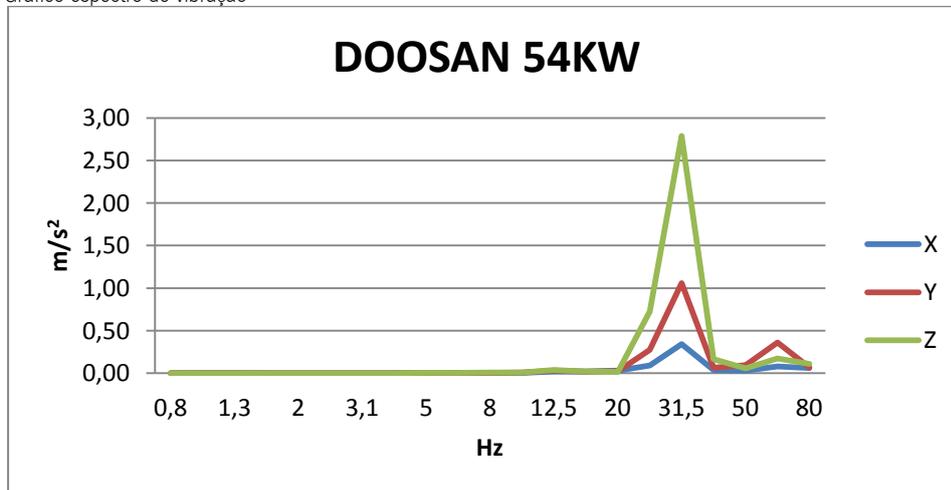
Foto equipamento



Resumo valores vibração

Id.	5JUN9				
Data avaliação:	05/06/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,42
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	11h20
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,235	0,250	0,420	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 21

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Doosan	30	Diesel	5.050	84	-	-

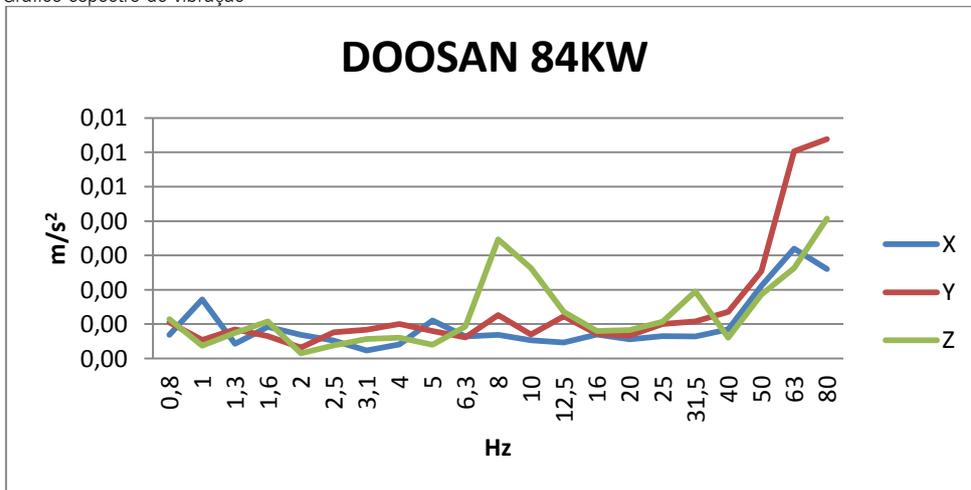
Foto equipamento



Resumo valores vibração

Id.	26MAY7				
Data avaliação:	26/05/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,33
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	18h42
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,206	0,254	0,327	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 22

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Toyota	30	Diesel	14.377	41	2.500	-

Foto equipamento



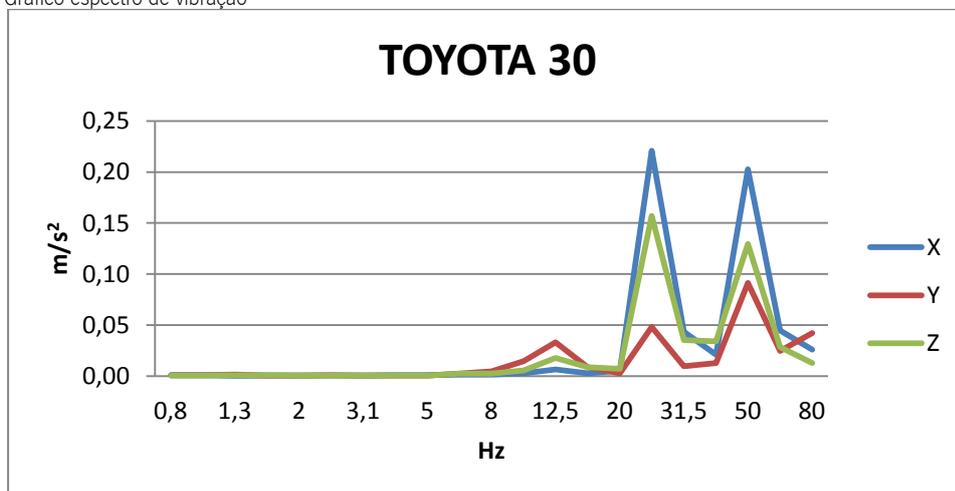
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	21JULO, 21JUL1, 21JUL2				
Data avaliação:	21/07/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,09
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	>24h
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,020	0,010	0,088	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 23

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Toyota	60	Diesel	5.910	90	2.000	-

Foto equipamento



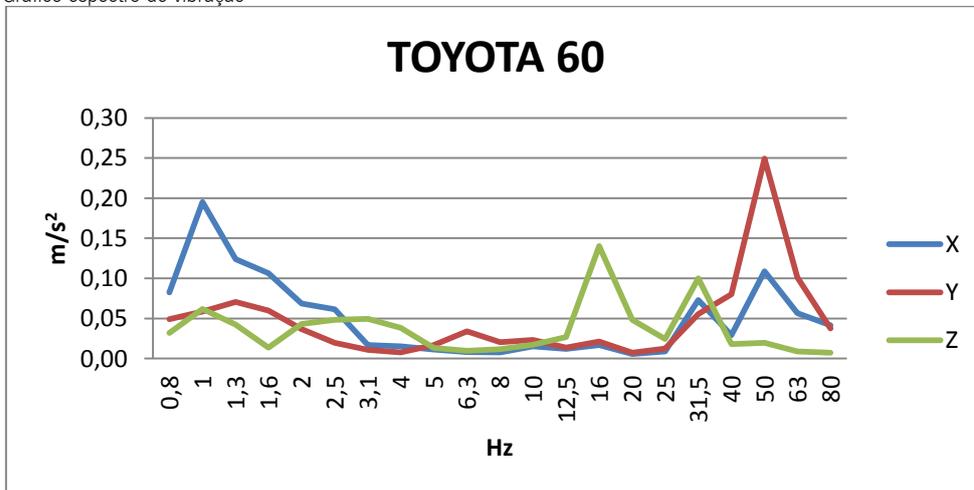
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	21JUL3, 21JUL4, 21JUL5				
Data avaliação:	21/07/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,15
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	>24h
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,052	0,074	0,146	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 24

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Toyota	30	Eléctrica	11.986	17,1	-	3.630

Foto equipamento



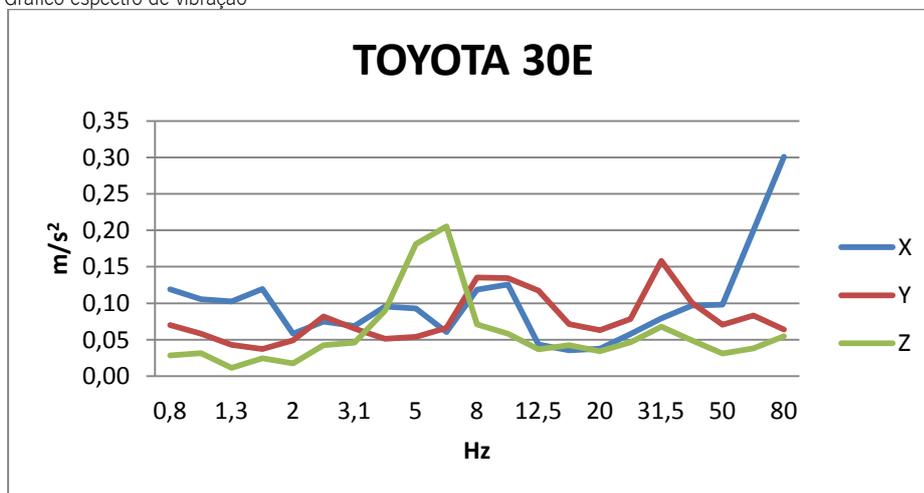
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	21JUL9, 21JUL10, 21JUL11				
Data avaliação:	21/07/2009			Duração da exposição:	480min.
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,43
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	10h40
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,433	0,346	0,423	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 25

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Empilhador	Toyota	25	Diesel	23.479	38	2.400	-

Foto equipamento



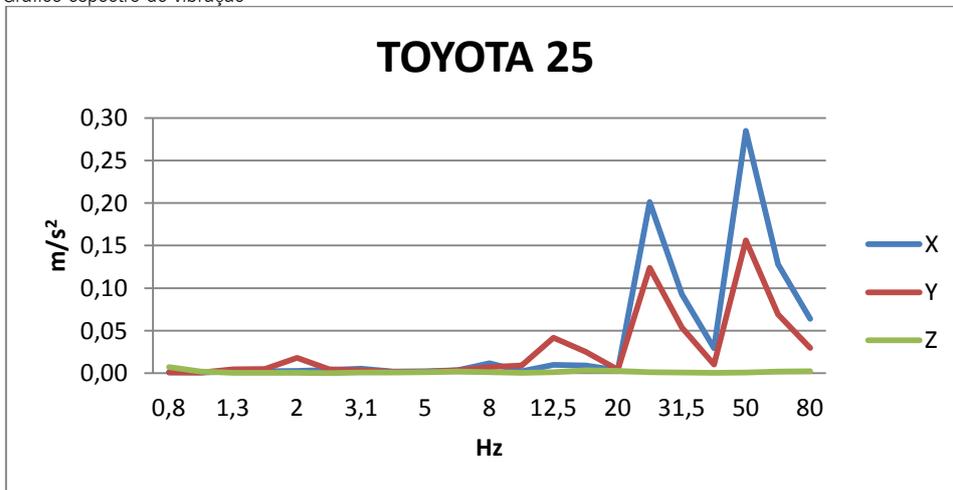
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	21JUL12				
Data avaliação:	21/07/2009		Duração da exposição:	480min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,07
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	>24h
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,020	0,023	0,072	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 26

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Tractor agrícola	Massey Ferguson	3210F	Diesel	786	40	2.600	2470

Foto equipamento



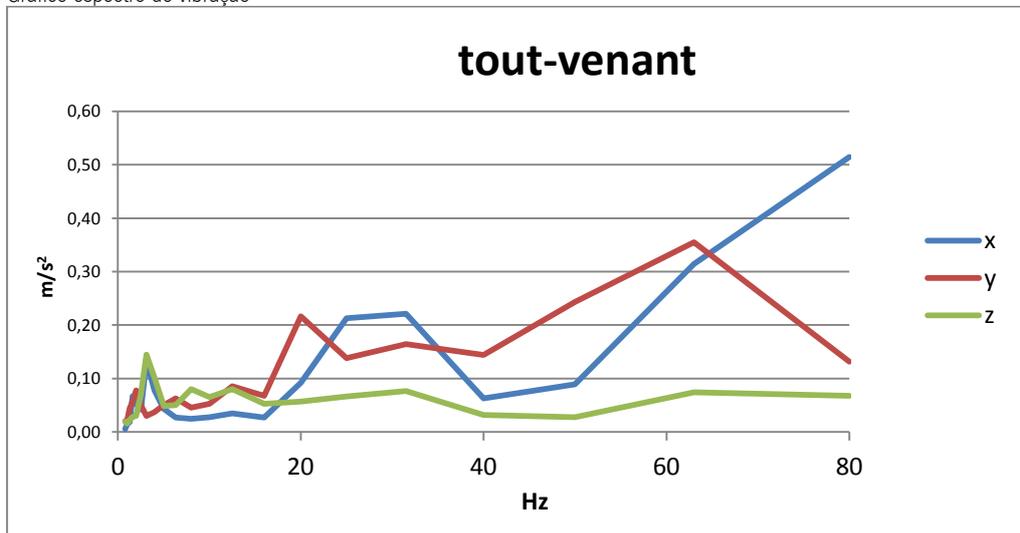
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	09SEP0,09SEP1,09SEP2				
Data avaliação:	09/09/2010		Duração da exposição:	120min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,44
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	2h34
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,361	0,629	0,468	Tempo para valor limite:	13h38

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 27

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Tractor agrícola	Massey Ferguson	3210F	Diesel	786	40	2.600	2470

Foto equipamento



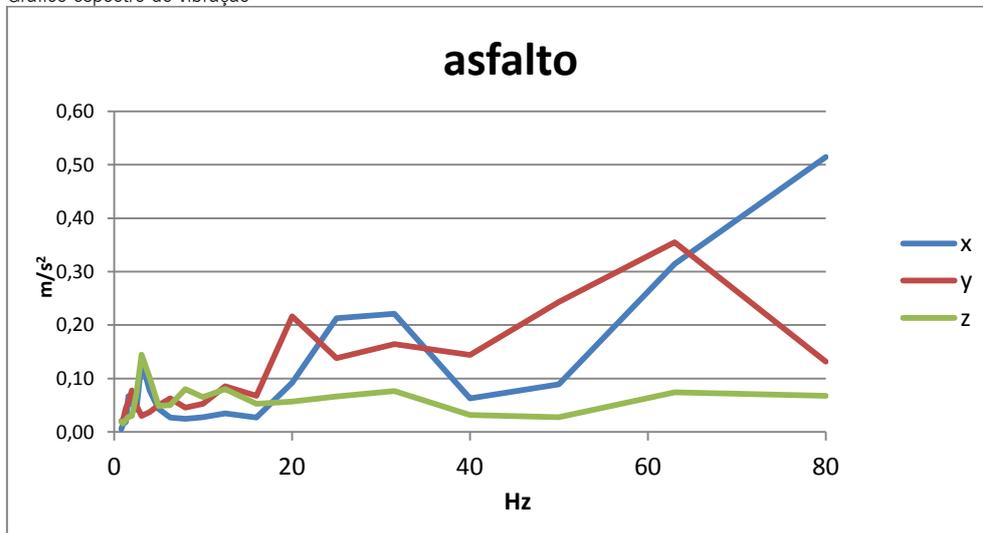
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	09SEP3,09SEP4,09SEP5				
Data avaliação:	09/09/2010		Duração da exposição:	120min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,29
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	6h02
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,376	0,381	0,575	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 28

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	Rotações (RPM)	Peso (KG)
Tractor agrícola	Kubota	B2530	Diesel	35	18	2.700	725

Foto equipamento



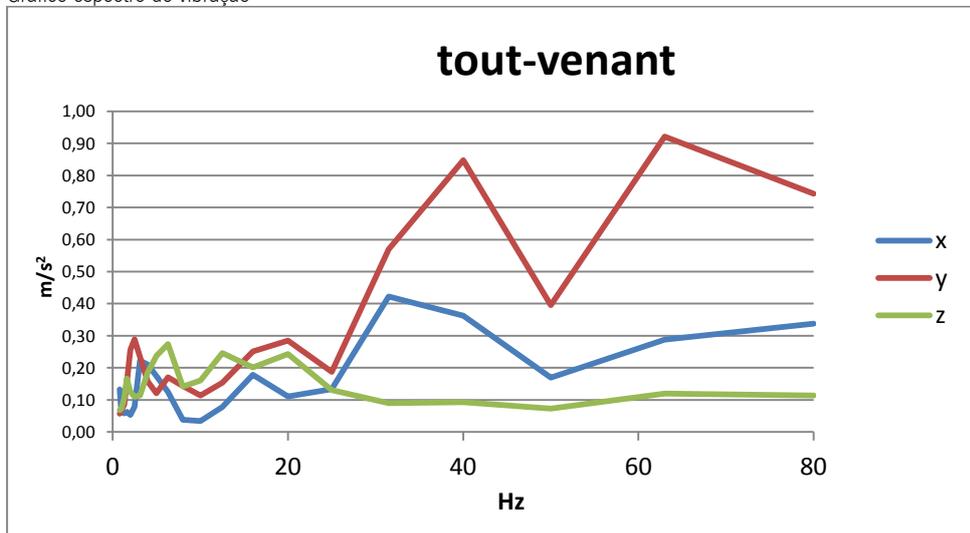
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	09SEP6,09SEP7,09SEP8				
Data avaliação:	09/09/2010		Duração da exposição:	120min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,37
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	3h41
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,310	0,594	0,736	Tempo para valor limite:	19h31

Gráfico espectro de vibração



EQUIPAMENTO 29

Designação	Marca	Modelo	Alimentação	Data entrada ao serviço / Horas	Potência (KW)	rotações (RPM)	Peso (KG)
Tractor agrícola	Kubota	B2530	Diesel	35	18	2.700	725

Foto equipamento



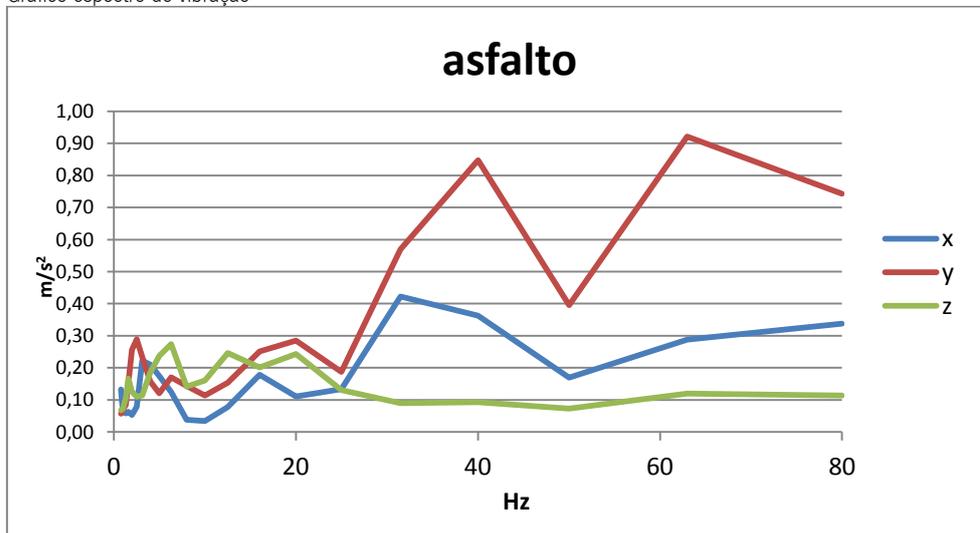
Foto painel



Resumo valores vibração

Id.	09SEP9,09SEP10,09SEP11				
Data avaliação:	09/09/2010		Duração da exposição:	120min.	
	Assento			A(8) (m/s ²)	0,37
	X	Y	Z	Tempo para valor de acção:	5h08
RMS (m/s ²) (NP ISO - 2631:2007)	0,245	0,370	0,624	Tempo para valor limite:	>24h

Gráfico espectro de vibração



(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ANEXO III – Folha de registo *in situ*.

Designação do equipamento e/ou local de trabalho: _____	
Lista de verificação das especificações da fonte de vibração	
Tipo de alimentação (gasóleo, gás, etc.)	
Ano de entrada em funcionamento	
Peso (kg)	
Potência (w) ou Rotações (rph)	
N.º horas de utilização (h)	
Pavimento de circulação (terra, cimento, etc.)	
Velocidade média de circulação (km/h)	
N.º trabalhadores expostos à fonte vibracional	
Lista de verificação da rotina da exposição	
Exposição diária ao trabalho (h)	
Duração dos períodos de descanso ou interrupção (h)	
Tipo de trabalho (sentado / de pé)	
Descrição do trabalho realizado	
Breve descrição da tarefa executada com a máquina/equipamento.	
Data da avaliação: __d__m__a	Tempo de tarefa: ____s
Hora de início: __h__m__s	
Nome do ficheiro: _____	

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ANEXO IV – Folha de registo dos ensaios de TJA e OMEGA.

Página n.º: _____

Anos de experiência em condução: _____ Data: _____
 Idade: _____ Id. Suj.: _____

Registo para: _____

Teste de Julgamento de Accção	1	2	3	Total	1	2	3	Total	1	2	3	Total
Right				erros				erros				erros
Left												
Total	0		0	0	0		0	0	0		0	0
Training effect (L)	#DIV/0!				#DIV/0!				#DIV/0!			

file# _____ file# _____ file# _____

Teste de OMEGA

NE	DTE	TT

file# _____

NE	DTE	TT

file# _____

NE	DTE	TT

file# _____

(--- Página propositadamente deixada em branco ---)

ANEXO V – Tabelas resultantes do tratamento estatístico dos dados

Tabela 1 - Análise comparativa da distribuição dos valores de aceleração média ponderada obtidos para o Grupo I e Grupo II de máquinas/equipamentos.

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of Awd_X is the same across categories of t.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,000	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of Awd_Y is the same across categories of t.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,000	Reject the null hypothesis.
3	The distribution of Awd_Z is the same across categories of t.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Tabela 2 - Análise comparativa da distribuição da idade e da experiência de condução em função do sexo dos voluntários.

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of Idade is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,450	Retain the null hypothesis.
2	The distribution of Experiência de condução is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,443	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Tabela 3 - Resumo do teste à igualdade das médias, “*t-test for Equality of Means*” no conjunto de valores do TJA obtidos segundo o critério “efeito de treino L”.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Valor do Julgamento de AçãoL parado	Equal variances assumed	,032	,859	1,168	43	,249	,480	,411	-,349	1,309
	Equal variances not assumed			1,163	40,122	,252	,480	,413	-,354	1,314
Valor do Julgamento de AçãoL betuminoso	Equal variances assumed	8,221	,006	-1,143	43	,260	-,380	,333	-1,051	,291
	Equal variances not assumed			-1,193	41,813	,239	-,380	,318	-1,023	,263
Valor do Julgamento de AçãoL cubos	Equal variances assumed	,313	,579	1,830	43	,074	,610	,333	-,062	1,282
	Equal variances not assumed			1,834	41,197	,074	,610	,333	-,062	1,282

Tabela 4 - Resumo do teste à igualdade das médias, “t-test for Equality of Means” no conjunto de valores do TJA obtidos segundo o critério “total de erros TE”.

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper	
Valor do Julgamento de AçãoTE parado	Equal variances assumed	4,107	,049	1,632	43	,110	,650	,398	-,153	1,453
	Equal variances not assumed			1,584	34,773	,122	,650	,410	-,183	1,483
Valor do Julgamento de AçãoTE betuminoso	Equal variances assumed	,084	,773	-,157	43	,876	-,070	,446	-,970	,830
	Equal variances not assumed			-,157	40,974	,876	-,070	,446	-,971	,831
Valor do Julgamento de AçãoTE cubos	Equal variances assumed	,001	,972	,823	43	,415	,400	,486	-,580	1,380
	Equal variances not assumed			,828	41,738	,412	,400	,483	-,575	1,375

Tabelas 5a, 5b e 5c – Resumo dos testes de independência das amostras em relação aos fatores idade [a], experiência de condução [b] ou sexo dos voluntários [c], do número total de erros (TE) [1, 2 e 3] e distribuição do valor de treino (L) [4, 5 e 6].

[a] Hypothesis Test Summary			
Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1 The distribution of Total de Erros parado is the same across categories of Classe de idade.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,606	Retain the null hypothesis.
2 The distribution of Total de Erros betuminoso is the same across categories of Classe de idade.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,905	Retain the null hypothesis.
3 The distribution of Total de Erros cubos is the same across categories of Classe de idade.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,099	Retain the null hypothesis.
4 The distribution of Valor de Aprendizagem parado is the same across categories of Classe de idade.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,916	Retain the null hypothesis.
5 The distribution of Valor de Aprendizagem betuminoso is the same across categories of Classe de idade.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,521	Retain the null hypothesis.
6 The distribution of Valor de Aprendizagem cubos is the same across categories of Classe de idade.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,186	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

[b] Hypothesis Test Summary			
Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1 The distribution of Total de Erros parado is the same across categories of Classe de experiência de condução.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,462	Retain the null hypothesis.
2 The distribution of Total de Erros betuminoso is the same across categories of Classe de experiência de condução.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,907	Retain the null hypothesis.
3 The distribution of Total de Erros cubos is the same across categories of Classe de experiência de condução.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,115	Retain the null hypothesis.
4 The distribution of Valor de Aprendizagem parado is the same across categories of Classe de experiência de condução.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,861	Retain the null hypothesis.
5 The distribution of Valor de Aprendizagem betuminoso is the same across categories of Classe de experiência de condução.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,142	Retain the null hypothesis.
6 The distribution of Valor de Aprendizagem cubos is the same across categories of Classe de experiência de condução.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	,475	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

[c] Hypothesis Test Summary			
Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1 The distribution of Total de Erros parado is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,140	Retain the null hypothesis.
2 The distribution of Total de Erros betuminoso is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,631	Retain the null hypothesis.
3 The distribution of Total de Erros cubos is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,160	Retain the null hypothesis.
4 The distribution of Valor de Aprendizagem parado is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,129	Retain the null hypothesis.
5 The distribution of Valor de Aprendizagem betuminoso is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,230	Retain the null hypothesis.
6 The distribution of Valor de Aprendizagem cubos is the same across categories of Sexo.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	,076	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Tabela 6 – Resumo do “Paired sample T-Test” realizado ao conjunto de resultados obtido para teste de OMEGA, considerando apenas os voluntários do sexo masculino.

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Número de Erros parado - Número de Erros betuminoso	-7,080	7,280	1,456	-10,085	-4,075	-4,863	24	,000
Pair 2	Número de Erros parado - Número de Erros cubos	-21,320	15,421	3,084	-27,686	-14,954	-6,913	24	,000
Pair 3	Número de Erros betuminoso - Número de Erros cubos	-14,240	14,601	2,920	-20,267	-8,213	-4,876	24	,000
Pair 4	Duração Total dos Erros parado - Duração Total dos Erros betuminoso	-18,320	22,211	4,442	-27,488	-9,152	-4,124	24	,000
Pair 5	Duração Total dos Erros parado - Duração Total dos Erros cubos	-92,400	166,174	33,235	-160,993	-23,807	-2,780	24	,010
Pair 6	Duração Total dos Erros betuminoso - Duração Total dos Erros cubos	-74,080	152,404	30,481	-136,989	-11,171	-2,430	24	,023
Pair 7	Tempo Total parado - Tempo Total betuminoso	-,21640	12,47759	2,49552	-5,36690	4,93410	-,087	24	,932
Pair 8	Tempo Total parado - Tempo Total cubos	7,80440	23,26306	4,65261	-17,40692	1,79812	-1,677	24	,106
Pair 9	Tempo Total betuminoso - Tempo Total cubos	7,58800	23,88675	4,77735	-17,44796	2,27196	-1,588	24	,125
Pair 10	Nota de Precisão parado (p) - Nota de Precisão betuminoso (p))	3,920	4,377	,875	2,113	5,727	4,478	24	,000
Pair 11	Nota de Precisão parado (p) - Nota de Precisão cubos (p)	7,160	4,516	,903	5,296	9,024	7,928	24	,000
Pair 12	Nota de Precisão betuminoso (p)) - Nota de Precisão cubos (p)	3,240	4,304	,861	1,463	5,017	3,764	24	,001

Tabela 7 – Resumo do “Paired sample T-Test” realizado ao conjunto de resultados obtido para teste de OMEGA, considerando apenas os voluntários do sexo feminino.

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Número de Erros parado - Número de Erros betuminoso	-9,150	9,746	2,179	-13,711	-4,589	-4,199	19	,000
Pair 2	Número de Erros parado - Número de Erros cubos	-22,050	14,307	3,199	-28,746	-15,354	-6,893	19	,000
Pair 3	Número de Erros betuminoso - Número de Erros cubos	-12,900	15,617	3,492	-20,209	-5,591	-3,694	19	,002
Pair 4	Duração Total dos Erros parado - Duração Total dos Erros betuminoso	-23,900	24,305	5,435	-35,275	-12,525	-4,398	19	,000
Pair 5	Duração Total dos Erros parado - Duração Total dos Erros cubos	-87,300	92,484	20,680	-130,584	-44,016	-4,221	19	,000
Pair 6	Duração Total dos Erros betuminoso - Duração Total dos Erros cubos	-63,400	86,270	19,291	-103,776	-23,024	-3,287	19	,004
Pair 7	Tempo Total parado - Tempo Total betuminoso	-7,52500	11,05958	2,47300	-12,70104	-2,34896	-3,043	19	,007
Pair 8	Tempo Total parado - Tempo Total cubos	-10,88300	24,94818	5,57858	-22,55911	,79311	-1,951	19	,066
Pair 9	Tempo Total betuminoso - Tempo Total cubos	-3,35800	23,60067	5,27727	-14,40346	7,68746	-,636	19	,532
Pair 10	Nota de Precisão parado (p) - Nota de Precisão betuminoso (p)	4,650	3,924	,877	2,814	6,486	5,300	19	,000
Pair 11	Nota de Precisão parado (p) - Nota de Precisão cubos (p)	7,000	5,610	1,254	4,374	9,626	5,580	19	,000
Pair 12	Nota de Precisão betuminoso (p) - Nota de Precisão cubos (p)	2,350	3,329	,744	,792	3,908	3,157	19	,005