

Níveis de riscos e Vibração Mão-Braço (VMB) em máquinas de corte de grama¹

Hazard levels and Hand-Arm Vibration (HAV) in grass cutting machines

André Jun Mizushima²
Mário Fedatto Neto³
Herbert Martins Gomes⁴

Resumo

Existe um grande número de equipamentos e máquinas que são operados manualmente por humanos e que expõem seus usuários a determinados níveis de ruído e vibração, durante o uso, tais como: parafusar, forjar, retificar, aparar, serrar, entre outros. Particularmente, na área de corte de gramas, existe uma gama de máquinas portáteis que auxiliam na poda, plantio e colheita, causando vibrações no sistema mão-braço para a pessoa que utiliza essas máquinas, e essa exposição pode ser prejudicial à saúde, dependendo de sua intensidade e seu tempo de exposição. Este trabalho demonstra a construção de um monitor de vibração no sistema mão-braço, durante as atividades diárias de um operador de cortador de grama, enquanto medições simultâneas são feitas em ambas as mãos para avaliar os níveis de vibração. Finalmente, os riscos associados a isso são identificados, e recomendações para mitigá-los são apresentadas para a situação em avaliação.

Palavras-chave: vibração mão-braço (VMB); aparador de grama; ISO 5349.

Abstract

There is a large amount of equipment and machines that are manually operated by humans and that expose their users to certain levels of noise and vibrations during use, such as: screwing, forging, grinding, cutting, sawing, among others. Particularly, in the area of grass cutting, there is a range of portable machines that help with pruning, planting and harvesting, causing vibrations in the hand-arm system to the person who uses these machines, and this exposure can be harmful to health, depending on its intensity and its time exposed. This paper demonstrates the construction of a Hand-Arm Vibration monitor, during the daily activities of a grass trimmer operator, while simultaneous measurements are taken on both hands to evaluate vibration levels. Finally, the risks associated with this are identified, and recommendations to mitigate them are presented for the situation under evaluation.

Keywords: Hand-Arm Vibration (HAV); grass trimmer; ISO 5349.

1 Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil, defendido em nov. 2020, sob a coorientação do Prof. Me. Mário Fedatto Neto e orientação do Prof. Dr. Herbert Martins Gomes.

2 Engenheiro Mecânico pela UFRGS. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7493-2826> . E-mail: andrejun2008@gmail.com

3 Graduado, mestre e doutorando em Engenharia Mecânica pela UFRGS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4909-9286> . E-mail: mario-fedatto@hotmail.com

4 Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) na UFRGS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5635-1852> . E-mail: herbert@mecanica.ufrgs.br

Artigo recebido em 03.05.2022 e aceito 24.06.2022



1 Introdução

Os riscos de vibração do sistema mão-braço (VMB) afetam as pessoas em muitas atividades, setores e ocupações. Os riscos ocupacionais, associados à vibração, aumentam significativamente com o uso de equipamentos que geram altos níveis de vibração e estão associados à sua exposição prolongada. Os problemas relacionados ao risco incluem doenças vasculares (doença dos dedos brancos, fenômeno de Raynaud, calos), doenças neurológicas (perda de sensibilidade, síndrome do túnel do carpo), complicações musculoesqueléticas (fraqueza da mão, osteoartrite do punho e ombro), inflamação dos tendões, entre outros. Estudos mostram que o risco de vibração pode ser controlado e reduzido de forma relativamente barata, por meio de boas práticas e monitoramento contínuo no ambiente de trabalho.

Hoje em dia, o uso de cortadores e aparadores de grama é comum tanto na jardinagem amadora quanto nas atividades profissionais. Apesar dos esforços dos fabricantes em tornar os dispositivos mais leves e eficientes (trocando componentes metálicos por outras ligas ou polímeros), os níveis de vibração podem atingir valores razoáveis que podem comprometer a segurança do uso desses dispositivos. A vibração decorre principalmente da falta de manutenção, por exemplo, devido a fatores como desbalanceamento, desalinhamento, desgaste da alça de apoio, manetes, apenas para citar alguns. A forma ergonômica com que o aparelho é utilizado (a posição da alça de apoio e o próprio aparelho) pode potencializar ainda mais a transmissão dessa vibração para o corpo humano.

Este estudo tem por objetivo descrever a construção e aplicação de um dispositivo de monitoramento simultâneo da vibração percebida pelo sistema mão-braço em operadores de aparadores de grama. Em conjunto, pretende-se adaptar códigos de programação, para medir os níveis de vibração de forma síncrona nos três eixos cartesianos e nas duas mãos, de forma simultânea. Por fim, a partir de medições experimentais com o dispositivo e seguindo-se as recomendações de normas nacionais, como a NR 15 e a NHO 10, assim como normas internacionais como a ISO 5349-1 e a Diretiva 2002/44/EC, classifica-se e avalia-se os riscos de exposição em situações usuais de uso.

2 Revisão bibliográfica

O tema da vibração do sistema mão-braço já é investigado há bastante tempo, tendo Griffin (1990a)

como uma referência no tema sobre vibração no corpo humano. Existem muitos parâmetros relacionados à vibração, e a relação entre eles também é complexa. A sensibilidade e os limites táteis são subjetivos de pessoa para pessoa, no entanto, Griffin (1990a, 1990b) relata relações causais associadas a doenças ocupacionais que remontam ao século XIX, com sintomas como formigamento, perda de sensibilidade e doença dos dedos brancos, citando a primeira atividade relacionada à vibração do sistema mão-braço como sendo a da mineração com picareta.

Manuais e guias sobre o assunto foram criados ao longo dos anos para estabelecer limites considerados seguros para exposição a tais vibrações, até chegarmos, hoje, à Norma Internacional ISO 5349-1, à Diretiva Europeia 2002/44/EC, e às Normas Brasileiras NR 15 e NHO 10.

A vibração ao trabalhar com ferramentas manuais ou equipamentos elétricos por longos períodos de tempo e regularmente pode afetar adversamente as mãos e os braços do usuário. Sem um controle eficaz, os trabalhadores que utilizam tais equipamentos podem sofrer várias formas de lesões conhecidas coletivamente como "Síndrome de Vibração Mão-Braço". Essa é uma condição dolorosa, cujos efeitos podem incluir circulação prejudicada, danos nos nervos e músculos e perda da capacidade de segurar objetos adequadamente. A forma mais conhecida de lesão é a de "dedos brancos" ou "síndrome dos dedos brancos", uma doença particularmente presente no meio industrial bastante comum (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1997). Além disso, qualquer pessoa que use uma máquina manual elétrica na maior parte do tempo de seu trabalho poderá ser afetada por lesões, por vibração nas mãos e nos braços. Portanto, qualquer atividade que ocasione dormência, formigamento ou "branqueamento dos dedos" é considerada suspeita (HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2016).

Na pesquisa de Silveira, Pilatti e Laat (2012), há a percepção de que as consequências para a saúde dos trabalhadores, expostos aos efeitos da vibração no corpo humano, são insidiosas e, muitas vezes irreversíveis, causando, principalmente, lesões nas mãos. Ao final, concluem que é necessário investigar constantemente os efeitos da vibração em operadores de máquinas, uma vez que podem ser considerados prejudiciais, dependendo das situações em que ocorram. Nesse sentido, Mizushima (2020) realiza interessante trabalho em que investiga o eventual risco da exposição à vibração do sistema mão-braço em operador de cortador de grama elétrico, reportando situações

de uso comum e concluindo, para o estudo de caso feito, não haver risco na situação avaliada.

Um estudo, conduzido por Bernardi *et al.* (2018), avaliou os níveis de vibração em roçadeiras na agricultura, ressaltando que frequentemente ocorrem riscos devido ao manuseio inapropriado do equipamento. Também foi apontado que é necessário utilizar-se de medidas preventivas, devendo os trabalhadores fazerem o uso de equipamentos de proteção individual necessários, como luvas anti-vibratórias. Por fim, é ressaltada a relevância do tempo de exposição em relação ao aumento do risco de lesões oriundas da vibração mão-braço e a importância da rotação de escalas de trabalho e de planejamento para treinamento dos trabalhadores.

A respeito de estudos sobre cortadores de grama, há alguns trabalhos que se destacam como o de Hao, Mei e Ripin (2011), que consistiu no desenvolvimento de um dispositivo para efetivamente reduzir a vibração do cabo de um cortador de grama elétrico. Um absorvedor do tipo TVA (*Tuned Vibration Absorber*) foi projetado para ser acoplado ao cabo do cortador elétrico de grama e uma ótima localização desse absorvedor foi identificada analiticamente e experimentalmente. Os resultados mostraram que a presença de um TVA reduziu, com sucesso, as grandes vibrações do cabo, indicando consistentemente que o cortador de grama elétrico, com um absorvedor, tem menor vibração do cabo do que sem o mesmo. Resultados satisfatórios também foram obtidos por Patil (2019), cujo absorvedor de vibração utilizado foi um do tipo multiaxial.

Nesse sentido, especificamente, no estudo de aparadores e cortadores de grama, as contribuições de Azmir *et al.* (2015, 2016), relacionadas à vibração do sistema mão-braço, são bastante importantes. Seus estudos sobre o efeito da VMB no desenvolvimento de distúrbios induzido por vibração, através de cortadores de grama, foram inéditos até então, concluindo que a síndrome da vibração mão-braço (*Hand-Arm Vibration Syndrome*, HAVS) é subdiagnosticada na Malásia, especialmente nos setores agrícolas. Também, em seu trabalho, foi desenvolvido um modelo de previsão de exposição à VMB, através de cortadores de grama (AZMIR, 2016), assim como um estudo da correlação entre causa e efeito da exposição à VMB dos trabalhadores desse setor na Malásia (AZMIR *et al.*, 2018).

3 Fundamentação teórica

De acordo com Mizushima (2020), um objeto está em vibração, quando ele descreve um movimento

oscilatório em torno de uma posição de referência. O número de vezes de um ciclo completo do movimento até a sua posição de referência, é chamado de frequência. Ele é medido em ciclos por segundo ou Hertz (Hz). O movimento pode ser simples e regular composto por apenas uma única frequência ou mesmo mais complexo e irregular, composto por várias componentes de frequência. Devido a suas particularidades, a exposição humana à vibração pode ser classificada em dois tipos: vibração de corpo inteiro e vibração no sistema mão-braço.

A vibração de corpo inteiro (VCI), conhecida internacionalmente como HAV (*Hand-Arm Vibration*), é a vibração transmitida ao corpo como um todo, geralmente em uma faixa de frequência de 1 a 80 Hz. Um exemplo típico dessa vibração é a presente em meios de transporte em movimento, como um ônibus, por exemplo. Já a vibração do sistema mão-braço (VMB), conhecida internacionalmente como HAV (*Hand-Arm Vibration*), é a vibração transmitida às mãos e aos braços, abrangendo uma faixa de frequência de 6,3 a 1250 Hz. Cabe ressaltar que é possível ocorrer a exposição simultânea aos dois tipos de vibração, como, por exemplo, um motorista de caminhão, que estará exposto à vibração de corpo inteiro, transmitida pelo movimento do veículo, e também à vibração do sistema mão-braço, proveniente do volante do veículo.

3.1 Problemas devido à exposição à vibração do sistema mão-braço

A vibração mecânica pode trazer riscos à saúde e segurança dos trabalhadores e, quando transmitida ao sistema braço-mão humano, deve ser analisada e avaliada, em particular quanto a distúrbios vasculares, ósseos ou articulares, neurológicos ou musculares (PORTALE AGENTI FISICI, 2017).

Conforme Silveira, Pilatti e Laat (2012), a exposição a vibrações, relacionada ao aumento da força de preensão necessária no manuseio de equipamentos vibrantes, favorece o desenvolvimento de distúrbios osteomusculares, principalmente ao nível do punho e mãos. Um mal quase invisível, que vem tomando espaço em bancadas de discussão em órgão trabalhistas de nosso País é a doença chamada popularmente de 'mão branca'. A intensa exposição aos impactos produzidos por algumas ferramentas pode provocar má circulação sanguínea nas mãos do operador, levando-o a desenvolver essa doença ainda pouco conhecida.

De acordo com a norma ISO 5349-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR

STANDARDIZATION, 2001a), os principais efeitos, devidos à exposição à vibração no sistema mão-braço podem ser de ordem vascular, neurológica, osteoarticular e muscular. Entre esses efeitos, destacam-se as perturbações osteoarticulares, características de vibrações de frequência menores que 30 Hz e que atingem o punho, cotovelo e o ombro, e as perturbações vasculares, que são identificadas como doença de Raynaud ou doença dos dedos brancos, características de vibrações de frequência entre 40 e 125 Hz e que provocam sintomas como: formigamento, entorpecimento, palidez, picada, queimadura, cianose e até mesmo gangrena. Esse fenômeno está geralmente associado também à exposição dos membros ao frio, quando a atividade metabólica do corpo humano é menor.

3.2 Normas recomendadas para avaliar a VMB

Para avaliar a exposição humana a vibrações, no sistema mão-braço, deve-se seguir as recomendações das ISO 5349-1/2001 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001a) e ISO 5349-2/2001 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001b), da Diretiva Europeia 2002/44/EC (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002) ou, nacionalmente, NR 15 (BRASIL, 2014) e NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013).

A ISO 5349-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001a) trata da medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão, sendo na parte 1 os requisitos gerais e, na parte 2, um guia prático para medição no local de trabalho. Essa não estabelece limites definidos de exposição à vibração seguros, mas indica um gráfico que relaciona a magnitude de vibração (em m/s^2) com o tempo de exposição para que 10% de uma população exposta apresente o problema de doença dos dedos brancos.

O Anexo 8 da NR 15 (BRASIL, 2014) estabelece critérios para caracterização da condição de trabalho insalubre, decorrente da exposição a vibrações de corpo inteiro (VCI) e vibrações de mão-braço (VMB), tendo os procedimentos técnicos para uma avaliação quantitativa dessas vibrações estabelecidos pela NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013), baseada na normativa ISO 5349-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001a). Aqui, estabelece-se que atividades e operações que expõem trabalhadores, sem a devida proteção, a vibrações localizadas ou de corpo inteiro, são caracterizadas como insalubres, se ultrapassados limites prescritos

de exposição, equivalente a uma jornada de trabalho de 8 horas (AREN – aceleração resultante de exposição normalizada) de $5,0 m/s^2$ para VMB. A norma tem como base recomendações das normas ISO 2631 e ISO 5349, mas, diferentemente dessas, especifica claramente qual o limite de exposição diária para a consideração de insalubridade.

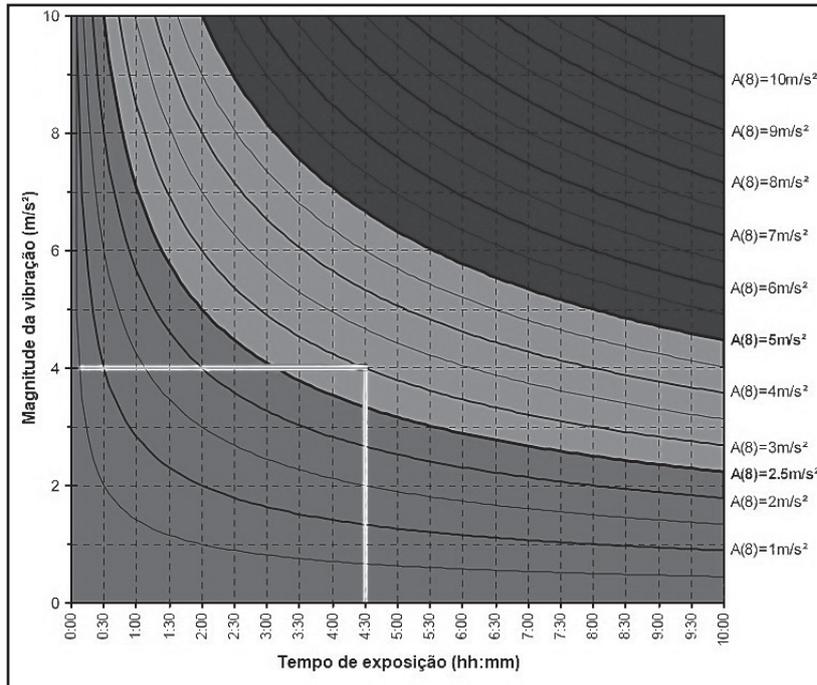
A Diretiva Europeia 2002/44/EC (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002), estabelece prescrições para a segurança, saúde e proteção dos trabalhadores contra os riscos resultantes e/ou suscetíveis do resultado da exposição do indivíduo a vibrações mecânicas. Para o caso da vibração no sistema mão-braço, existem dois valores de referência: (a) Valor de Ação de Exposição diária (VAE), estabelecido em $2,5 m/s^2$; (b) Valor Limite de Exposição diária (VLE), estabelecido em $5,0 m/s^2$. Esses limites indicam, para o VAE um valor abaixo do qual a vibração não tem efeito adverso reportado ou verificado na literatura (condição segura) e, para o caso do VLE, um limite acima do qual há relatos de causa e efeito prejudicial da exposição à vibração para a saúde humana, reportado em artigos científicos da área.

Esses valores de referência correspondem a uma exposição diária à vibração por um período de referência (T_0) de 8 horas de exposição, $A_{(8)}$, definida matematicamente por $A(8) = a_{ve} \sqrt{T/T_0}$, onde a_{ve} é a aceleração vibracional total equivalente. Conforme a Diretiva 2002/44/EC, a exposição a vibrações acima do VAE requer a implementação de um programa com medidas que visem diminuir ou eliminar essa vibração, enquanto a exposição a vibrações acima do VLE requer a imediata diminuição a tal exposição, não sendo permitida a continuidade do trabalho até que esse valor de exposição seja respeitado.

A figura 1 ilustra um gráfico da intensidade de vibração, em relação ao tempo de exposição à mesma, com as curvas representando a exposição diária à vibração $A(8)$.

Como pode-se observar, o gráfico apresenta uma alternativa rápida e prática para análise da exposição diária à vibração para diferentes condições de intensidade de vibração e tempo de exposição. As linhas destacadas em banco no gráfico representam uma situação, na qual um trabalhador esteja exposto a uma vibração de $4 m/s^2$, em um intervalo de tempo de 4 horas e 30 minutos, resultando em uma exposição diária à vibração, $A(8)$, equivalente a $3,0 m/s^2$, valor acima do Valor de Ação de Exposição diária (VAE) estabelecido pela Diretiva 2002/44/EC (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002), de $2,5 m/s^2$.

Figura 1 – Gráfico da exposição diária à vibração A(8)



Fonte: Adaptado de Griffin *et al.* (2006).

4 Desenvolvimento

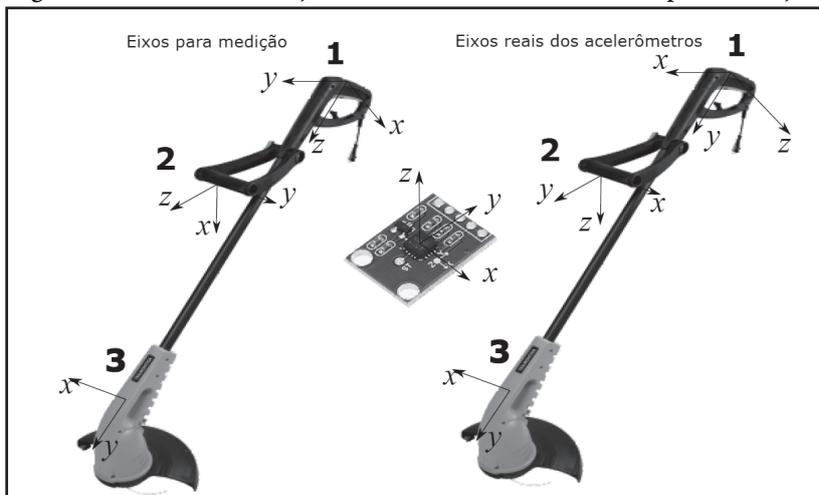
Para realizar a medição dos valores de exposição à vibração do aparador de grama elétrico, igualmente detalhado em Mizushima (2020), foi desenvolvido um sistema composto pelos seguintes materiais:

- 01 aparador de grama elétrico, modelo AP1000T (Tramontina, Brasil);
- 01 placa de aquisição, modelo USB1208-FS (Measurement Computing);

- 01 placa de circuito do acelerômetro com filtros, modelo GY-61 (Analog Devices);
- 03 acelerômetros triaxiais, modelo ADXL335 (Analog Devices);
- 01 par de protetor palmar, modelo Palmex (Hidrolight);
- 01 laptop, modelo EEE PC 1201HA (Asus).

Na figura 2, indica-se o cortador de grama utilizado, assim como, os pontos e orientações dos eixos dos acelerômetros.

Figura 2 – Local e orientação dos acelerômetros utilizados para medição

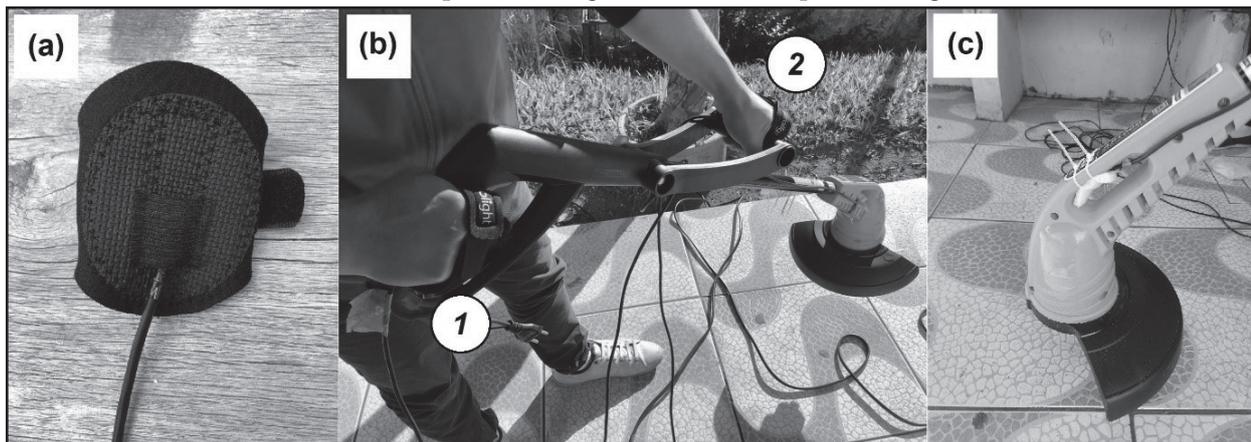


Fonte: Os autores (2020).

O sistema foi montado e calibrado por comparação com um acelerômetro comercial em um dos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS. Em cada protetor palmar, foi acoplado um acelerômetro na região da palma da mão. Um protetor palmar ficou para a mão de acionamento do aparador,

enquanto outro ficou para a mão de sustentação do equipamento. O acelerômetro restante foi fixado no aparador de grama, próximo à região do motor. A figura 3 (a, b, c) apresenta o sistema desenvolvido, com as posições dos três acelerômetros para medição da exposição à vibração no aparador de grama elétrico.

Figura 3 – Sistema desenvolvido para medições em campo. (a) protetor palmar com acelerômetro acoplado na região da palma da mão; (b) protetor palmar na mão de acionamento (1) e na mão de sustentação (2); (c) acelerômetro fixado próximo à região do motor do aparador de grama



Fonte: Os autores (2020).

Conectando o acelerômetro à placa de aquisição com um cabo, o número de canais da placa de aquisição é 8. Três canais são usados para acionar os três eixos da mão, outros três são usados para segurar os três eixos da mão de sustentação e os dois restantes são usados para os eixos x e y do motor. A placa de aquisição e o acelerômetro foram alimentados por um laptop fornecido pelo laboratório. Para o tratamento e armazenamento dos dados obtidos foi utilizado um programa desenvolvido em MATLAB®.

4.1 Medições experimentais realizadas

As medições foram realizadas nas dependências de uma Escola Estadual em Porto Alegre. No local, havia dois tipos de terrenos (referindo-se ao volume de grama): um com baixa e outro com alta densidade de grama. Os dois foram submetidos à operação de corte e às medições vibratórias. Foram realizadas seis medições, divididas em duas ocasiões, num intervalo de vinte dias, conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Informações referentes às medições realizadas em campo

Dia	Medição	Condição	Densidade de grama
1	1	sem corte de grama	-
	2	com corte de grama	Grama escassa
	3	com corte de grama	Grama densa
2	4	com corte de grama	Grama escassa
	5	com corte de grama	Grama densa
	6	sem corte de grama	-

Fonte: Os autores (2020).

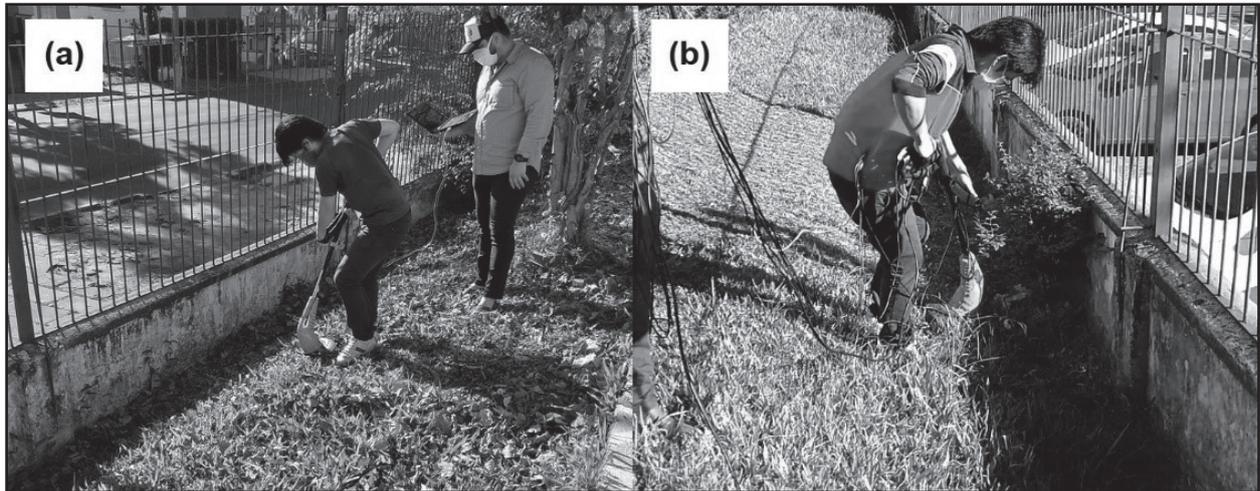
A medição 1 foi realizada sem o corte de grama, para análise do equipamento, antes da série de medições (em vazio, sem esforço cortante). A medição

6, por sua vez, também sem o corte de grama, foi realizada para investigação de um possível desgaste do equipamento, após seu uso.

Para fins comparativos, as medições 2 e 4 foram submetidas à condição de grama escassa, enquanto as medições 3 e 5 foram submetidas, à condição de grama mais densa. Em todas as medições, o manuseio do

equipamento foi realizado por apenas um operador, com o intuito de minimizar o número de variáveis interferentes nas medições. A figura 4 apresenta as fotos do local com essas duas condições de grama.

Figura 4 – Condições da grama local. (a) grama escassa, referente às medições 2 e 4; (b) grama densa, referente às medições 3 e 5



Fonte: Os autores (2020).

Para que essas comparações fossem validadas, foi realizado um monitoramento do crescimento da grama, após o corte do primeiro dia de medição, até que a grama crescesse novamente e atingisse uma condição aproximadamente igual a do primeiro dia de medição. O intervalo para tal crescimento foi de vinte dias corridos.

5 Resultados

A tabela 1 indica os resultados das medições para as diversas situações apresentadas anteriormente. Lembrando que $a_{wirms}(8)$ representa a aceleração RMS em cada eixo, já ponderada pelas curvas correspondentes da norma, e assumidas para 8h de exposição diária. O $a_{ve}(8)$ é correspondente à aceleração total equivalente, obtida pela soma vetorial das acelerações $a_{wirms}(8)$ nos três eixos coordenados.

Assim, corroborando Mizushima (2020), nenhuma das acelerações ponderadas (a_{wirms}) nas medições, sem corte de grama (1 e 6), passam de $0,5 \text{ m/s}^2$, enquanto para as medições com corte de grama (2 a 5), todas elas estão entre $0,6$ e $1,3 \text{ m/s}^2$. Em relação à aceleração total equivalente ($a_{ve}(8)$), nas medições sem corte de grama, os valores ficam abaixo de $0,7 \text{ m/s}^2$, enquanto nas demais medições, o valor fica entre $1,3$ e $2,0 \text{ m/s}^2$. Deve-se lembrar que esses valores estão relacionados às situações que foram medidas *in situ* e representam situações diversas entre si.

A maior aceleração total equivalente foi observada na medição 3, no ponto do acelerômetro 1. Seu valor, extrapolado para 8 horas diárias de trabalho, foi de $1,92 \text{ m/s}^2$, estando abaixo do Valor de Ação de Exposição (VAE), estabelecido em $2,5 \text{ m/s}^2$, conforme a Diretiva 2002/44/EC (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2022) e utilizado pelas normativas brasileiras NR 15 (BRASIL, 2014) e NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013).

Esses valores podem ser melhor comparados na figura 5, na qual é possível observar que os valores de aceleração total equivalente, $a_v(8)$, são sempre maiores que as acelerações ponderadas RMS por definição.

Entretanto, para as medições realizadas, nenhum desses valores sequer ultrapassa o Valor de Ação de Exposição (VAE), conforme a NR 15 (BRASIL, 2014), NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013) e a Diretiva 2002/44/EC (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002).

5.1 Análise quanto à saúde e conforto

Para melhor entendimento quanto à segurança da saúde e do conforto do indivíduo, foram elaborados gráficos de acordo com a ISO 5349-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001a) e a Diretiva 2002/44/

EC (EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK, 2002), ilustrados na figura 6 e na figura 7, respectivamente. O valor de exposição à

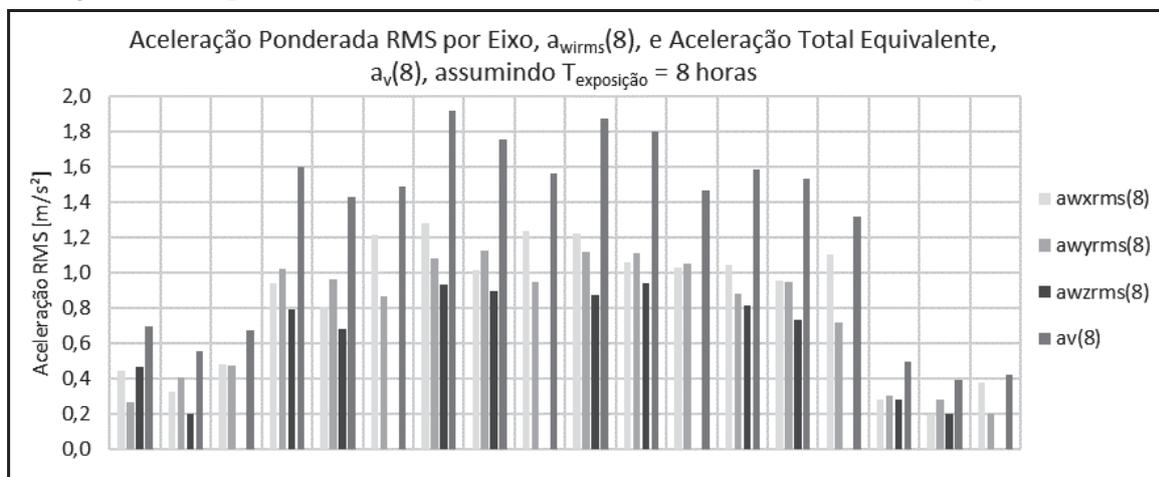
vibração utilizado nos gráficos foi a do acelerômetro 1 da medição 3, uma vez que é o maior dentre todas as medições realizadas (1,92 m/s²).

Tabela 1 – Aceleração Ponderada RMS por Eixo, $a_{wirms}(8)$, e Aceleração Total Equivalente, $a_{ve}(8)$, assumindo $T_{exposição} = 8$ horas [m/s²]

Medição	Acelerômetro	$a_{wxrms}(8)$	$a_{wyrms}(8)$	$a_{wzrms}(8)$	$a_v(8)$
1 (sem corte de grama)	1	0,445	0,265	0,463	0,695
	2	0,325	0,403	0,197	0,554
	3	0,479	0,476	0,000	0,675
2 (com corte de grama)	1	0,938	1,022	0,794	1,598
	2	0,805	0,962	0,681	1,427
	3	1,212	0,863	0,000	1,487
3 (com corte de grama)	1	1,278	1,080	0,932	1,915
	2	1,014	1,124	0,895	1,758
	3	1,237	0,950	0,000	1,560
4 (com corte de grama)	1	1,221	1,120	0,876	1,874
	2	1,059	1,111	0,943	1,801
	3	1,029	1,049	0,000	1,469
5 (com corte de grama)	1	1,041	0,883	0,811	1,587
	2	0,954	0,947	0,730	1,530
	3	1,104	0,713	0,000	1,314
6 (sem corte de grama)	1	0,280	0,299	0,277	0,494
	2	0,192	0,281	0,196	0,392
	3	0,374	0,198	0,000	0,424

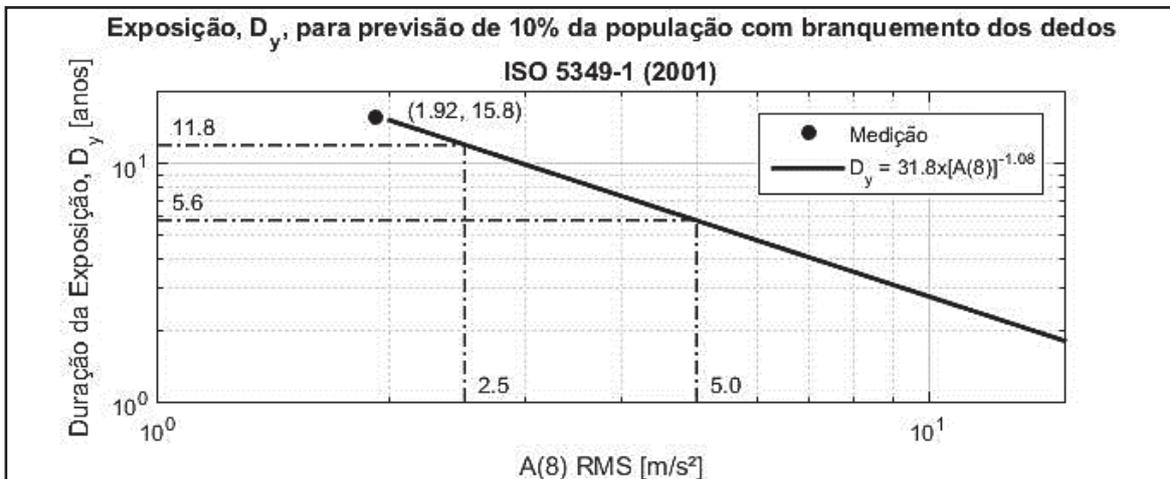
Fonte: Os autores (2020).

Figura 5 – Comparativo das acelerações em cada medição realizada, assumindo exposição de 8h



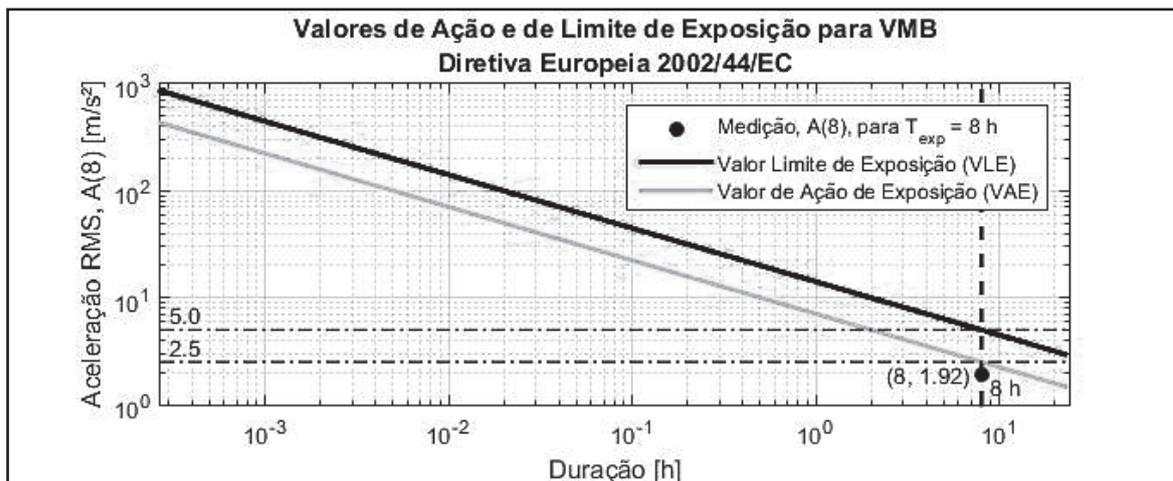
Fonte: Os autores (2020).

Figura 6 – Previsão para 10% de uma população ser acometida com branqueamento dos dedos, devido à exposição a vibrações



Fonte: Os autores (2020).

Figura 7 – Valores de limite de exposição e de tomada de ação, conforme a Diretiva Europeia 2002/44/EC



Fonte: Os autores (2020).

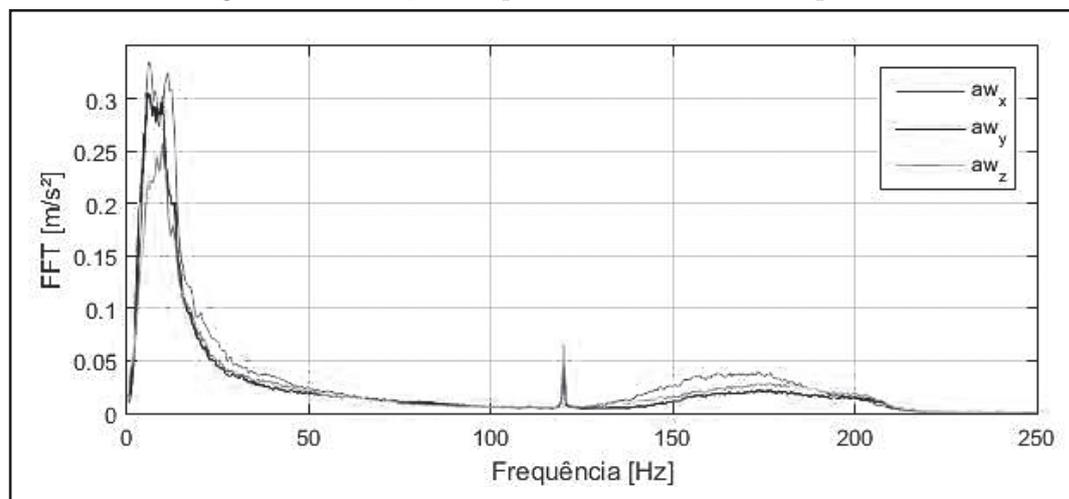
A reta do gráfico da figura 6 acima representa o limite de exposição à vibração que varia, conforme a duração da exposição (em anos) e da intensidade da vibração (m/s^2). Quanto à avaliação, segundo a norma ISO 5349-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2001a), para a pior situação observada, o ponto preto em destaque indica que, para $A(8) = 1,92$ m/s^2 , somente após 15,8 anos 10% da população exposta apresentaria a doença dos dedos brancos.

Valores de exposição à vibração abaixo do VAE podem ser observados na figura 7. Se o ponto estiver entre as linhas verde e vermelha, devem ser tomadas medidas para reduzir a exposição à vibração. Se o

ponto estiver acima da linha vermelha, o indivíduo está enfrentando uma condição insalubre e possíveis problemas de saúde.

A fim de identificar possíveis frequências de ressonância e/ou frequências de operação importantes do cortador de grama, optou-se por uma transformada rápida de Fourier do sinal de aceleração ao longo do tempo, nesse caso particular. Essas frequências serão destacadas no gráfico como valores altos, em relação a todo o espectro de medição. A figura 8 mostra um gráfico com a aceleração ponderada do eixo FFT (*Fast Fourier Transform*), em função da frequência, medição de referência 3, no ponto do acelerômetro 1.

Figura 8 – Aceleração FFT para diferentes faixas de frequência



Fonte: Os autores (2020).

Conforme o gráfico da figura 8, a região de maior aceleração é em torno dos 10 Hz, que, muito provavelmente, provém da movimentação da operação de balançar para esquerda e direita, ao cortar grama. O pico na faixa de 120 Hz é resultado da vibração do desbalanceamento do motor elétrico. Já as acelerações correspondentes à região dos 175 Hz, possivelmente decorrem da estrutura (geometria, dimensões, material) do próprio cortador de grama.

Segundo o banco de dados do Portale Agenti Fisici (2017), para equipamentos do mesmo grupo (aparadores de grama) e com potência aproximada ao equipamento utilizado neste trabalho (1,0 kW), os valores máximos de exposição à vibração, conforme declarados pelos fabricantes, estão entre 2,4 m/s² e 7,0 m/s². Os valores medidos neste trabalho estão, em sua totalidade, abaixo dessa faixa, possivelmente por se tratar de um equipamento alimentado por energia elétrica.

6 Conclusões

No presente trabalho, foi desenvolvido um dispositivo de monitoramento das vibrações transmitidas ao sistema do braço, através da atividade de utilização de um cortador de grama elétrico para avaliar seu nível de vibração e os riscos associados a tal atividade.

Com base nos resultados da análise da exposição humana à vibração, no sistema mão-braço, para as condições de medição, utilizadas neste trabalho, tais atividades não representam risco à saúde do operador, e o uso da máquina pode ser considerado seguro.

Observou-se também que o fato de estar cortando grama gera mais vibração ao operador do que

somente com o equipamento ligado “em vazio”, o que era bastante óbvio. Além disso, o fator da densidade da grama, afeta diretamente a demanda da máquina de corte e, portanto, a intensidade de vibração transmitida ao sistema mão-braço, conforme já esperado.

Um fato importante obtido e reportado por este trabalho é que, entre os pontos de medição, o ponto com maior vibração é a da mão que aciona o aparelho (acelerômetro 1). Isso se deve ao fenômeno de transferência de vibração causada pela geometria do dispositivo (estilo haste), onde a mão de apoio atua como suporte, tornando a mão motriz um ponto de equilíbrio, o que amplifica as vibrações naquele local. Outro fator é que a mão do gatilho pressiona o dispositivo, aumentando a rigidez na região, o que sabidamente favorece o aumento das vibrações transmitidas.

Como sugestão final, mesmo não sendo necessário, caso se pretenda amortecer as vibrações transmitidas ao operador, pode-se utilizar técnicas como a incorporação de amortecedores ou utilização de luvas anti-vibração. Outra alternativa é adotar um cronograma de trabalho em que se diminua o tempo de exposição à vibração, por meio do rodízio entre os trabalhadores.

Referências

AZMIR, N. A. **Prediction model of hand arm vibration exposure among hand-held grasscutters in Malaysia**. 2016. Thesis (Doctor of Philosophy) – Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Batu Pahat, 2016.

AZMIR, N. A. *et al.* Effect of hand arm vibration on the development of vibration induce disorder among

- grass cutter workers. **Procedia Manufacturing**, v. 2, p. 87-91, 2015. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.015.
- AZMIR, N. A. *et al.* Hand-Arm Vibration disorder among grass-cutter workers in Malaysia. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 22, n. 3, p. 433-38, 2016. DOI: 10.1080/10803548.2016.1150571.
- AZMIR, N. A. *et al.* Significant correlation study between cause and effect of the Hand-Arm Vibration exposure among grass cutters. **MATEC Web of Conferences**, n. 150, 2018.
- BERNARDI, B. *et al.* Occupational risks related to vibrations using a brush cutter for green area management. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 25, n. 2, p. 255-258, 2018. DOI: 10.26444/aaem/75684.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria n.º 1.297 de 13 de agosto de 2014. Aprova o Anexo 1 – Vibração – da Norma Regulamentadora n.º 9 – Programas de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), altera o Anexo 8 – Vibração – da Norma Regulamentadora n.º 15 – Atividades e Operações Insalubres, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 ago. 2014.
- EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK. **Directive 2002/44/EC**: on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). Bilbao, 2002.
- FUNDACENTRO. **Normas de Higiene Ocupacional NHO 10**: avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços: procedimento técnico. São Paulo, 2013.
- GRIFFIN, M. J. **Handbook of human vibration**. London: Academic, 1990a.
- GRIFFIN, M. J. Measurement and evaluation of whole-body vibration at work. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 6, n. 1, p. 45-54, 1990b. DOI: 10.1016/0169-8141(90)90049-8.
- GRIFFIN, M. J. *et al.* **Guide to good practice on Hand-Arm Vibration**. 2006. Disponível em: <https://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/HAV%20Good%20practice%20Guide%20V7.7%20English%20260506.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- HAO, K. Y.; MEI, L. X.; RIPIN, Z. M. Tuned Vibration Absorber for suppression of Hand-Arm Vibration in electric grass trimmer. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 41, n. 5, p. 494-508, 2011. DOI: 10.1016/j.ergon.2011.05.005.
- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Hand-Arm Vibration at work**. 2016. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/vibratIon/hav/index.htm>. Acesso em: 23 set. 2020.
- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Vibration solutions**: practical ways to reduce the risk of Hand-Arm Vibration injury. 1997. Disponível em: <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg170.pdf>. Acesso em: 4 set. 2020.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-1**: mechanical vibration: measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration: part 1: general requirements. Genève, 2001a.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-2**: mechanical vibration: measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration: part 2: practical guidance for measurement at the workplace. Genève, 2001b.
- MIZUSHIMA, A. J. **Avaliação da vibração no sistema mão-braço em operadores de máquinas de corte de grama**. 2020. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.
- PATIL, S. S. Grass trimmer Hand-Arm Vibration reduction using multi-axial vibration absorber. **Noise & Vibration Worldwide**, v. 50, n. 8, p. 245-253, 2019. DOI: 10.1177/0957456519869926.
- PORTALE AGENTI FISICI, **Vibrazioni al sistema mano-braccio**: descrizione del rischio. 2017. Disponível em: https://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_index.php?lg=IT. Acesso em: 11 jun. 2020.
- SILVEIRA, J. W. P.; PILATTI, L. A.; LAAT, E. F. Efeitos da vibração no corpo humano. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 2., 2012, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: APREPRO, 2012.

