

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO NO SISTEMA MÃO-BRAÇO EM OPERADORES DE  
MÁQUINAS DE CORTE DE GRAMA

por

André Jun Mizushima

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2020.

## CIP - Catalogação na Publicação

Mizushima, André Jun  
Avaliação da vibração no sistema mão-braço em  
operadores de máquinas de corte de grama / André Jun  
Mizushima. -- 2020.  
15 f.  
Orientador: Herbert Martins Gomes.  
Coorientador: Mário Fedatto Neto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto Alegre,  
BR-RS, 2020.

1. Vibração corpo humano. 2. Vibração mão-braço. 3.  
Cortadores de grama. 4. NR 15. 5. ISO 5349. I. Gomes,  
Herbert Martins, orient. II. Neto, Mário Fedatto,  
coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

André Jun Mizushima

AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO NO SISTEMA MÃO-BRAÇO EM OPERADORES DE  
MÁQUINAS DE CORTE DE GRAMA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Coorientador: Prof. Me. Mário Fedatto Neto

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Edson Hikaro Aseka

Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Porto Alegre, novembro de 2020.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos vivificar. Sem Ele, nada existiria para ser desfrutado.

Aos meus queridos pais, Osamu e Yumiko, por todo amor, carinho, ensinamentos e valores transmitidos a mim para que eu me tornasse o que sou hoje, buscando sempre ser uma pessoa cada vez melhor.

À minha amada esposa Fernanda, que sempre esteve ao meu lado com sua amizade, seu companheirismo, seu carinho e principalmente sua compreensão, me dando forças para seguir em frente independentemente das circunstâncias.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Herbert Martins Gomes, pela oportunidade, paciência e dedicação para me instruir no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Me. Mário Fedatto Neto, por todo o suporte e orientação para o enriquecimento deste trabalho.

À Escola Estadual de Ensino Fundamental Venezuela e sua Diretora Tânia Sales, por cederem seu espaço para a realização de medições para este trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela sua qualidade de ensino, junto a todos os professores que conheci ao longo do curso, contribuindo para minha formação acadêmica.

A todos os amigos que fiz durante a graduação, pela amizade e por todos os momentos que passamos juntos durante esses anos.

*“Ser o homem mais rico do  
cemitério não me interessa...  
Ir para a cama à noite dizendo  
que fizemos algo maravilhoso,  
isso é o que importa para mim.”*

*Steve Jobs*

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – 2020

AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO NO SISTEMA MÃO-BRAÇO EM OPERADORES DE  
MÁQUINAS DE CORTE DE GRAMA

**André Jun Mizushima**  
[andrejun2008@gmail.com](mailto:andrejun2008@gmail.com)

**Resumo.** *É grande a quantidade de equipamentos e máquinas operadas por pessoas de forma manual que executam as mais diversas tarefas. Parafusar, martelar, lixar, cortar, serrar, entre outros, são algumas destas tarefas que podem ser executadas com o auxílio de maquinário. Todas estas máquinas expõem seus usuários a certos níveis de ruído e de vibração durante sua utilização. Especificamente na área de corte de vegetais, há uma série de outras máquinas que auxiliam na poda, plantio e colheita de vegetais, que da mesma forma também induzem vibração no sistema mão-braço de quem os utilizam, podendo esta exposição ser danosa à sua saúde dependendo de sua intensidade e de seu tempo de exposição. Este trabalho propõe a construção de um dispositivo de monitoramento da vibração no sistema mão-braço, com medição simultânea para as duas mãos, em operadores de cortadores de grama em uma situação usual de atividade diária a fim de avaliar os seus níveis de vibração e riscos associados a esta atividade. O trabalho também propõe a adaptação de códigos para a gravação, processamento e comparação das vibrações frente a Normas Brasileiras de Higiene Ocupacional assim como Normas Internacionais específicas. Ao final, são indicados quais os riscos relativos a tal operação e recomendações para mitigar esta exposição das situações que foram avaliadas.*

**Palavras-chave:** *vibração corpo humano, vibração mão-braço, cortadores de grama, NR 15, ISO 5349.*

**Abstract.**

*There is a large amount of equipment and machines manually operated by people that perform the most diverse tasks. Screwing, hammering, sanding, cutting, sawing, among others, are some of these tasks that can be performed with the help of machines. All of these machines expose their users to certain levels of noise and vibration during the use. Specifically in the cutting vegetables area, there are a number of other machines that assist in the pruning, planting and harvesting of vegetables, which likewise also induce vibration in the hand-arm system of those who use them, and this exposure can be harmful and unhealthy depending on your intensity and the exposure time. This paper proposes the construction of a vibration monitoring device in the hand-arm system, simultaneous measurement for both hands, in lawn mower operators in a usual situation of daily activity in order to assess their vibration levels and risks associated with this activity. The paper also proposes the adaptation of codes for recording, processing and comparing vibrations against Brazilian Occupational Hygiene Standards as well as International Standards. At the end, it is indicated the risks related to such an operation and recommendations to mitigate this exposure of the situations that were evaluated are suggested.*

**Keywords:** *human body vibration, hand-arm vibration, grass trimmer, NR 15, ISO 5349.*

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objetivos .....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
3	FUNDAMENTAÇÃO.....	3
3.1	Vibração no Corpo Humano .....	3
3.2	Patologias devido à Exposição do Sistema Mão-Braço a Vibrações.....	4
3.3	Normas Recomendadas para Vibrações no Sistema Mão-Braço .....	5
3.4	Limites de Exposição Humana à Vibração .....	5
3.5	Transmissibilidade .....	6
4	METODOLOGIA.....	7
4.1	Materiais e Sistema Desenvolvido .....	8
4.2	Medições Experimentais Realizadas .....	9
5	RESULTADOS .....	10
5.1	Aceleração Ponderada RMS e Aceleração Total Equivalente .....	10
5.2	Análise da Vibração Mão-Braço quanto à Saúde e ao Conforto.....	11
5.3	Transmissibilidade .....	12
6	CONCLUSÕES .....	14
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
	ANEXO .....	17
	APÊNDICE .....	19

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo mecânico do corpo humano, sujeito a vibração vertical, com suas frequências de ressonância. ....	3
Figura 2 - Síndrome de Raynaud em duas situações: (a) em seu estágio inicial; (b) em seu estágio avançado. ....	4
Figura 3 - Gráfico da exposição diária à vibração $A(8)$ . ....	6
Figura 4 - Curva de ponderação em frequência $Wh$ para vibração mão-braço, incluindo filtro de banda. ....	7
Figura 5 - Sistema de coordenadas biodinâmico e basicêntrico para vibração mão-braço. ....	8
Figura 6 - 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. ....	9
Figura 7 - Gráfico referente à Tabela 4. Comparativo das acelerações em cada medição realizada, assumindo $T_{exposição} = 8$ horas. ....	10
Figura 8 - Previsão para 10% de uma população ser acometida com branqueamento dos dedos devido à exposição a vibrações. ....	11
Figura 9 - Valores de limite de exposição e de tomada de ação, conforme a Diretiva Europeia 2002/44/EC. ....	11
Figura 10 - Aceleração FFT para diferentes faixas de frequência. ....	12
Figura 11 - Transmissibilidade para diferentes faixas de frequência (caso C, medição 1). ....	14
Figura 12 - Especificações técnicas do aparador de grama AP1000T. ....	17
Figura 13 - Especificações técnicas dos acelerômetros ADXL335. ....	18
Figura 14 - Local e orientação dos acelerômetros utilizados para medição. ....	19
Figura 15 - Densidade de grama local. (a) baixa densidade, referente às medições 2 e 4; (b) alta densidade, referente às medições 3 e 5. ....	19
Figura 16 - Gráfico referente à Tabela 3. Comparativo das acelerações em cada medição realizada, assumindo $T_{exposição} = T_{medição}$ . ....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações referentes às medições realizadas em campo. ....	9
Tabela 2 - Transmissibilidade através do equipamento referente à medição 1. ....	13
Tabela 3 - Aceleração Ponderada RMS por Eixo, $a_{wirms}$ , e Aceleração Total Equivalente, $a_v$ , assumindo $T_{exposição} = T_{medição}$ [m/s <sup>2</sup> ].....	20
Tabela 4 - Aceleração Ponderada RMS por Eixo, $a_{wirms}(8)$ , e Aceleração Total Equivalente, $a_v(8)$ , assumindo $T_{exposição} = 8$ horas [m/s <sup>2</sup> ].....	20

## **1 INTRODUÇÃO**

Os riscos da vibração no sistema mão-braço afetam pessoas em muitas atividades, setores e ocupações. Os perigos relacionados às doenças ocupacionais associados à vibração aumentam consideravelmente com o uso de equipamentos que gerem altos níveis de vibração, associados com um tempo prolongado à exposição.

Entre os problemas correlacionados ao risco estão desordens de caráter vascular (doença dos dedos brancos, fenômeno de Raynaud, calosidades), distúrbios neurológicos (perda de sensibilidade, síndrome do túnel do carpo) e complicações musculoesqueléticas (fraqueza nas mãos, osteoartrite do pulso e ombro, inflamação de tendões, entre outros).

Investigações na literatura têm demonstrado que os riscos de vibração podem ser controlados e reduzidos de forma relativamente barata, através de boas práticas no ambiente de trabalho e monitoramento constante.

### **1.1 Motivação**

O uso de cortadores de grama é bastante comum nos dias de hoje, quer seja em atividades de jardinagem amadora assim como em atividades profissionais. Apesar dos esforços dos fabricantes em construir dispositivos mais leves e eficientes (trocando partes metálicas por outras ligas ou polímeros), os níveis de vibração podem chegar a valores razoáveis podendo comprometer a segurança do uso destes equipamentos.

A vibração por vezes origina-se, principalmente, da falta de manutenção, originada, por exemplo, por desbalanceamento, desalinhamento, empunhaduras, entre outros fatores. A forma ergonômica de como os equipamentos são utilizados (local para apoios das mãos e do próprio equipamento) podem potencializar ainda mais a transmissão desta vibração para o corpo humano.

### **1.2 Objetivos**

Este trabalho tem por objetivo construir um dispositivo de monitoramento da vibração recebida pelo sistema mão-braço em operadores de cortadores de grama. Como objetivo secundário, pretende-se adaptar códigos em software MATLAB<sup>®</sup> para medir os níveis de vibração de forma síncrona nos três eixos cartesianos e nas duas mãos, de forma simultânea. Serão seguidas as recomendações de normas nacionais, como a NR 15 (2014) e a NHO 10 (2013), assim como normas internacionais como a ISO 5349-1 (2001) e a Diretiva 2002/44/EC, com o intuito de classificar e avaliar os riscos de exposição em situações usuais de uso do equipamento.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O tema da vibração do sistema mão-braço já é investigado há bastante tempo, tendo Griffin (1990) uma das compilações mais completas no tema sobre vibração no corpo humano. São muitos os parâmetros associados à esta vibração e complexas são suas relações. Há subjetividade referente aos limites de sensibilidade e táteis entre pessoas, entretanto, relações de causa e efeito associadas a doenças ocupacionais são relatadas neste livro que datam do século XIX, com sintomas como formigamento, perda de sensibilidade e a doença dos dedos brancos, citando uma das primeiras atividades relacionadas à mineração com picaretas.

Manuais e guias sobre o assunto foram criados anos depois, com o intuito de estabelecer limites considerados seguros para a exposição a este tipo de vibração até chegarmos aos dias de hoje com as normas internacionais ISO 5349 (2001) e Diretiva Europeia 2002/44/EC (2002), além das normas brasileiras NR 15 (2014) e NHO 10 (2013).

A exposição à vibração de trabalho prolongado e regular com ferramentas manuais ou equipamentos elétricos pode ter efeitos adversos nas mãos e nos braços dos usuários. Sem controles eficazes, os trabalhadores que usam esse equipamento podem sofrer várias formas de danos, conhecidos coletivamente como "síndrome de vibração mão-braço". Esta é uma condição dolorosa e os efeitos podem incluir circulação sanguínea prejudicada, danos aos nervos e músculos e perda da capacidade de segurar adequadamente. A forma mais conhecida de dano é o "dedo branco vibratório", que é uma doença industrial prevalente (Health and Safety Executive, 1997).

Ainda, qualquer indivíduo que utilize máquinas manuais motorizadas como maior parte de seu trabalho estará sujeito ao desenvolvimento de lesões provocadas pela vibração em suas mãos e braços. Portanto, qualquer atividade que ocasione dormência, formigamento ou "branqueamento dos dedos", deverá ser considerado como suspeito (Health and Safety Executive, 2016).

Os autores Silveira, Pilatti e Laat (2012), em seu estudo sobre os efeitos da vibração no corpo humano, constataram que as consequências para a saúde dos trabalhadores expostos a esse tipo de agente são insidiosas e muitas vezes irreversíveis, causando, principalmente, lesões nas extremidades dos membros superiores (mãos) e que, por esse motivo, há até normas específicas para este tipo de atividade danosa. Ao final, concluíram que é necessário investigar constantemente os efeitos da vibração nos seres humanos, uma vez que são considerados prejudiciais e diminuem não só o tempo de vida das máquinas, mas de quem as opera.

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 inadequado do equipamento, como, por exemplo, o impacto da cabeça de corte no solo, sendo importante, portanto, a realização de controles regulares e intervenções de manutenção para garantir a segurança dos operadores. 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 antivibratórias. Por fim, é ressaltada a relevância do tempo de exposição em relação ao aumento do risco de lesões oriundas da vibração mão-braço (VMB) e a importância da rotação 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 et al. (2011), que consistiu no desenvolvimento de um dispositivo para reduzir efetivamente 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 localização ótima 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. Resultados satisfatórios também foram obtidos por Patil et al. (2019), cujo absorvedor de vibração utilizado foi um do tipo multiaxial.

Outro autor, provavelmente um dos que mais tem contribuído com trabalhos relacionados à vibração mão-braço de cortadores de grama é Azmir et al. (2015 e 2016), com estudos sobre o efeito da VMB no desenvolvimento de distúrbios induzido por vibração através de cortadores de grama, concluindo que a síndrome da vibração mão-braço (HAVS, na sigla inglesa) é subdiagnosticada na Malásia, especialmente nos setores agrícolas. Também 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 aos trabalhadores na Malásia (Azmir et al. 2018).

### 3 FUNDAMENTAÇÃO

A vibração é um tema bastante amplo, portanto, neste trabalho é apresentada apenas uma abordagem em relação à exposição do corpo humano a vibrações em operações de trabalho, como foco na vibração no sistema mão-braço.

#### 3.1 Vibração no Corpo Humano

Conforme Fernandes (2000), citado em Kaderli (2010), um corpo é dito em vibração quando ele descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. O número de vezes de um ciclo completo do movimento, durante o período de um segundo, é chamado de frequência, medido em ciclos por segundo ou Hertz (Hz). Este movimento de vibração pode ser regular, constituído por uma única frequência, ou irregular, com vários componentes de movimento em diferentes frequências.

Um sinal de vibração pode ser representado em um gráfico de amplitude de vibração x tempo ou amplitude de vibração x frequência, este chamado de espectro de frequência. Além da frequência e da amplitude de vibração, geralmente representada pela aceleração, em  $m/s^2$ , existem outros parâmetros importantes que podem ser identificados em um sinal vibratório, como por exemplo, valor RMS (*Root Mean Square*), valor de pico, valor pico-a-pico, valor médio, fator de forma, fator de crista. Entre estes, o valor RMS, também conhecido como valor eficaz, é o mais importante, pois permite, segundo Fernandes (2000), avaliar a média de energia contida no movimento vibratório, mostrando o potencial destrutivo da vibração. Para uma função variável contínua  $a(t)$  definida sobre o intervalo de tempo  $T_1 \leq t \leq T_2$ , o seu valor RMS é dado pela expressão:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [a(t)]^2 dt} \quad (1)$$

Conforme Griffin (1990), para uma análise de vibração, o corpo humano pode ser considerado um sistema biomecânico, podendo ser modelado como um sistema linear, aproximado a um sistema massa-mola-amortecedor. Para vibrações de corpo inteiro, a faixa de frequência é de 1 a 80 Hz. Já para vibrações no sistema mão-braço, a faixa de frequência pode chegar até 1250 Hz. Quando a frequência de uma excitação externa atinge o valor de uma dessas frequências naturais, o fenômeno de ressonância pode ocorrer, aumentando os efeitos da vibração sobre a saúde. A Figura 1 apresenta um modelo muito utilizado para demonstrar as frequências de ressonância do corpo humano, sujeito a vibração vertical.

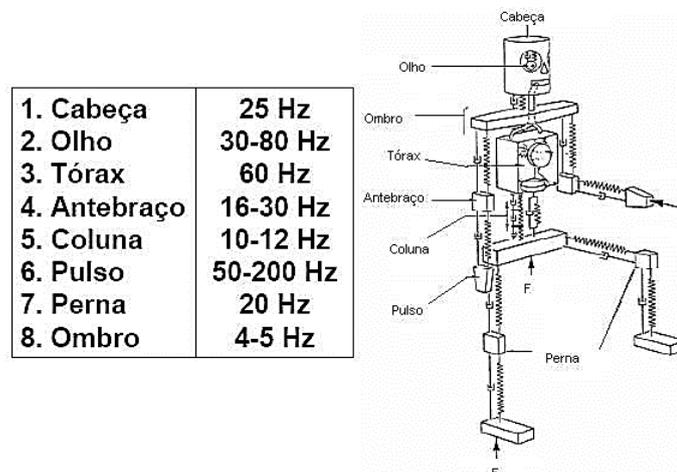


Figura 1 - Modelo mecânico do corpo humano, sujeito a vibração vertical, com suas frequências de ressonância. (Fonte: Brüel & Kjaer, apud Savionek, 2010)

Segundo Savionek (2010), 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 WBV (*Whole Body 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 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. Um exemplo típico dessa vibração é a presente nas ferramentas manuais oscilatórias, como um martetele rompedor, por exemplo.

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.

### 3.2 Patologias devido à Exposição do Sistema Mão-Braço a Vibrações

A vibração mecânica que, quando transmitida ao sistema braço-mão humano, traz riscos à saúde e segurança dos trabalhadores, em particular distúrbios vasculares, ósseos ou articulares, neurológicos ou musculares (Portale Agenti Fisici - PAF, 2017).

Conforme Silveira et al. (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 esta doença ainda pouco conhecida.

De acordo com a norma ISO 5349 (2001), 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 gangrena. Esse fenômeno está geralmente associado também à exposição dos membros ao frio, quando a atividade metabólica do corpo humano é menor. A Figura 2 ilustra duas situações decorrentes doença de Raynaud, com estágios inicial e avançado.

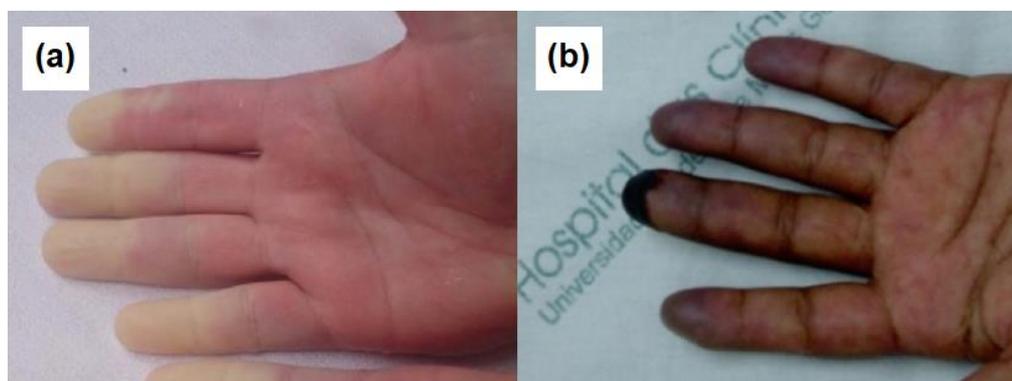


Figura 2 - Síndrome de Raynaud em duas situações: (a) em seu estágio inicial; (b) em seu estágio avançado. (Fonte: tuasaude.com/sintomas-da-doenca-de-raynaud)

### 3.3 Normas Recomendadas para Vibrações no Sistema Mão-Braço

Para avaliar a exposição humana a vibrações no sistema mão-braço, deve-se seguir as recomendações das ISO 5349-1 e ISO 5349-2 (internacional), da Diretiva 2002/44/EC (união europeia) ou da NR 15 e NHO 10 (Brasil).

A ISO 5349 (2001) trata da medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida à mão, sendo a Parte 1 os requisitos gerais e a Parte 2 um guia prático para medição no local de trabalho.

A Diretiva 2002/44/EC 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.

O Anexo 8 da NR 15 (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 (2013), baseada na normativa ISO 5349 (2001).

### 3.4 Limites de Exposição Humana à Vibração

Conforme descrito por Savionek (2010), devido a diversos efeitos causados ao corpo humano e ao grau de severidade que os mesmos podem atingir, a exposição a vibrações é tema da legislação aplicada à saúde e segurança no trabalho.

A norma ISO 2631-1 (1997), direcionada à vibração de corpo inteiro, define limites diários a uma exposição de 8 horas, sendo aproximadamente  $0,43 \text{ m/s}^2$  para o que seria o limite de ação e  $0,87 \text{ m/s}^2$  para o que seria o valor limite de exposição (limite de insalubridade). Entretanto estes valores são presumidos, já que não são ditos explicitamente como tal, mas apenas indicado através do gráfico de zonas de precaução de orientação à saúde, construído a partir de casos bem documentados e objetivamente observados. A norma ISO 5349-1 (2001), direcionada à vibração mão-braço, não estabelece limites definidos de exposição à vibração seguros, mas indica um gráfico que relaciona a magnitude de vibração (em  $\text{m/s}^2$ ) com o tempo de exposição para que 10% de uma população exposta apresente o problema de doença dos dedos brancos.

No Brasil, o Anexo 8 da NR 15 estabelece 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  $1,1 \text{ m/s}^2$  para VCI e  $5,0 \text{ m/s}^2$  para VMB. A norma tem como base recomendações das normas ISO 2631 e ISO 5349, mas, diferentemente destas, especifica claramente qual o limite de exposição diária para a consideração de insalubridade.

Na União Europeia, no entanto, vigora a Diretiva 2002/44/EC (2002), determinando que seus países membros implementem em sua legislação os requisitos mínimos de saúde e segurança por ela definidos, relativos à exposição dos trabalhadores aos riscos provenientes de vibrações. Para o caso da vibração no sistema mão-braço, existem dois valores de referência: (a) Valor de Ação de Exposição diária (VAE), estabelecido em  $2,5 \text{ m/s}^2$ ; (b) Valor Limite de Exposição diária (VLE), estabelecido em  $5,0 \text{ m/s}^2$ .

Esses valores de referência correspondem a uma exposição diária à vibração por um período de referência de 8 horas,  $A(8)$ , definida nos capítulos 4 e 5 da norma ISO 5349-1 (2001) e expressa de acordo com a Equação 3, apresentada posteriormente neste texto.

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

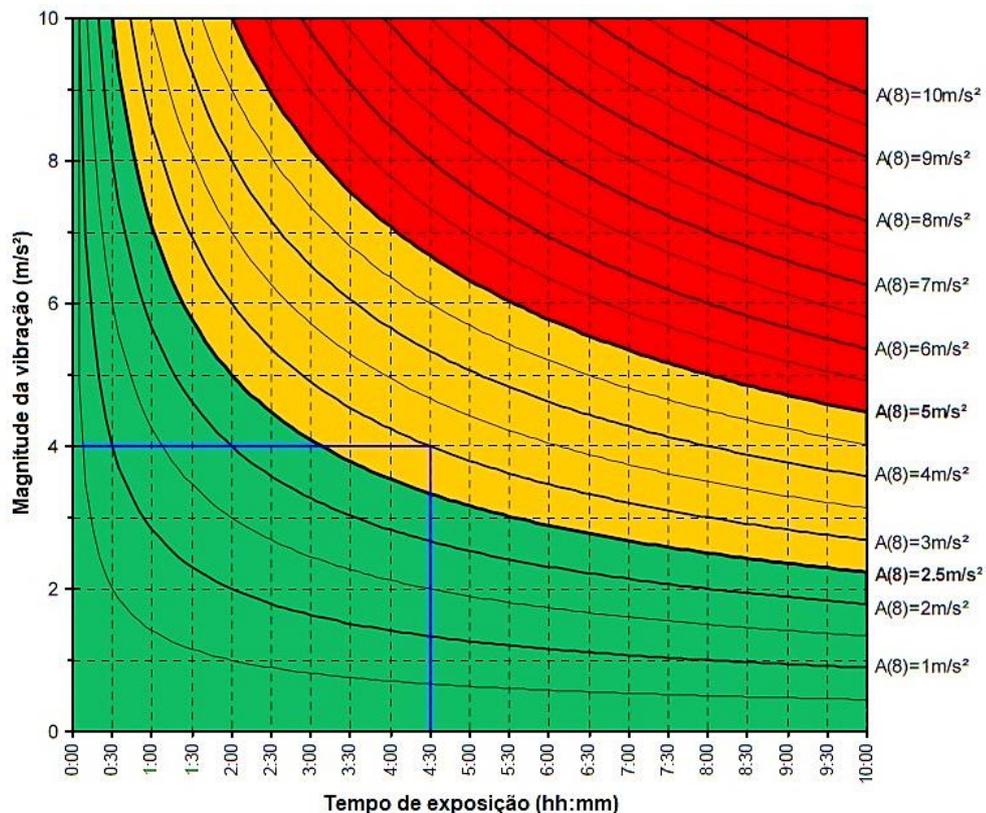


Figura 3 - Gráfico da exposição diária à vibração  $A(8)$ . (Fonte: Adaptado de Griffin et al., 2006)

Como pode-se observar, o gráfico da Figura 3 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 azul no gráfico representam uma situação na qual um trabalhador esteja exposto a uma vibração de  $4 \text{ m/s}^2$  em um intervalo de tempo de 4 horas e 30 minutos, resultando em uma exposição diária à vibração,  $A(8)$ , equivalente a  $3 \text{ m/s}^2$ , valor acima do Valor de Ação de Exposição diária (VAE) estabelecido pela Diretiva 2002/44/EC ( $2,5 \text{ m/s}^2$ ).

Os valores limites de exposição da diretiva europeia são muito parecidos daqueles implementados nas normas brasileiras NR 15 (2014) e NHO 10 (2013), sendo utilizadas para a identificação de operações que se considerem insalubres quanto à vibração no sistema mão-braço.

### 3.5 Transmissibilidade

A transmissibilidade ( $T(\omega) = a_{saída}(\omega)/a_{entrada}(\omega)$ ) é um parâmetro que relaciona a amplitude de aceleração de um ponto de saída para um ponto de entrada. Ela é um valor complexo, com parte real e parte imaginária, sendo função da frequência. Valores de  $T > 1$  representam uma amplificação da aceleração para aquela frequência e valores de  $T < 1$  representam uma atenuação da aceleração. Valores de transmissibilidade elevados geralmente são encontrados nas frequências de ressonância de um sistema.

Caso se deseje atenuar o valor RMS da vibração que está sendo transmitida de um ponto a outro, deve-se olhar inicialmente para as frequências cuja transmissibilidade é elevada. Uma solução comum é a utilização de TVA (também conhecido como DVA, *Dynamic Vibration*

*Absorber*) sintonizados nestas frequências. Outra opção é tentar aumentar o amortecimento nessas frequências com materiais absorvedores como aqueles com consistência semelhante a de um gel utilizados em luvas absorvedoras de vibração.

#### 4 METODOLOGIA

A seguir, será apresentada a metodologia para avaliação da exposição humana à vibração transmitida ao sistema mão-braço, de acordo com a norma ISO 5349-1 (2001).

A variável primária utilizada para caracterizar uma vibração é a sua aceleração RMS. Esta aceleração RMS deve sofrer uma ponderação por frequência  $Wh$ , e a aplicação de um filtro de banda, produzindo assim, um valor definido como aceleração RMS ponderada pela frequência  $a_{hw}$ , em  $m/s^2$ . Esta ponderação evidencia a importância que as diferentes frequências exercem sobre os efeitos causados a saúde. A Figura 4 apresenta a curva de ponderação por frequência  $Wh$ , empregada na avaliação da exposição à vibração transmitida ao sistema mão-braço.

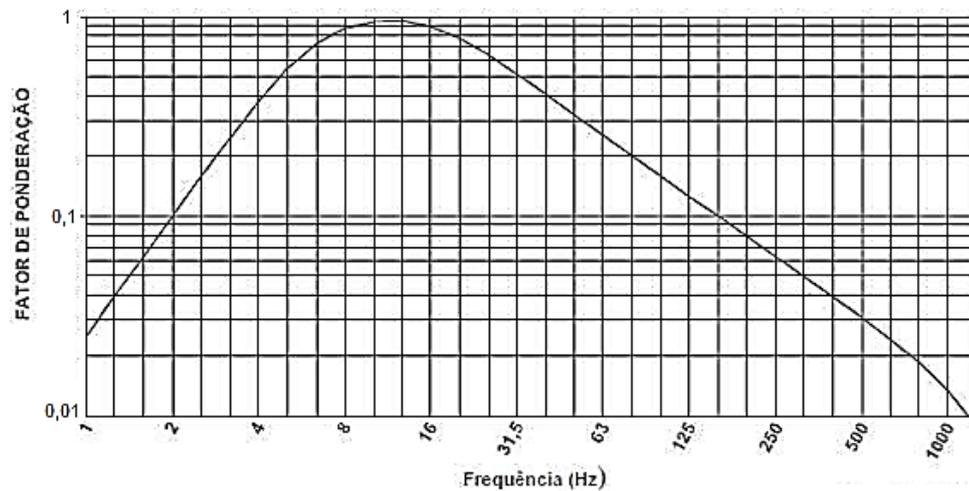


Figura 4 - Curva de ponderação em frequência  $Wh$  para vibração mão-braço, incluindo filtro de banda. (Fonte: Adaptado de Padilha, 2016)

Como se pode observar na Figura 4, existe um maior fator de ponderação para uma faixa de frequência entre 4 e 31,5 Hz, a qual corresponde justamente à faixa onde os efeitos ocasionados à saúde pela vibração no sistema mão-braço são mais prejudiciais.

As vibrações transmitidas ao sistema mão-braço devem ser medidas em três direções, e preferencialmente de forma simultânea nas partes do corpo (mãos) em contato com as partes que vibram. Elas seguem um sistema de coordenadas ortogonal, como definido na Figura 5.

Existem dois tipos de sistemas: o biodinâmico e o basicêntrico. Entretanto, de acordo com a norma, em medições práticas o sistema de coordenadas basicêntrico deve ser adotado.

Como a medição da vibração deve ser executada seguindo um sistema de coordenadas triaxial, obtém-se um valor da aceleração RMS ponderada pela frequência, para cada um dos eixos,  $x$ ,  $y$  e  $z$ , representados por  $a_{hwx}$ ,  $a_{hwy}$  e  $a_{hwz}$ , em  $m/s^2$ .

Combinando esses três valores, por intermédio da raiz da soma dos quadrados de cada componente, obtém-se a vibração total  $a_{hv}$ , em  $m/s^2$ , conforme a ISO 5349-1 (2001):

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (2)$$

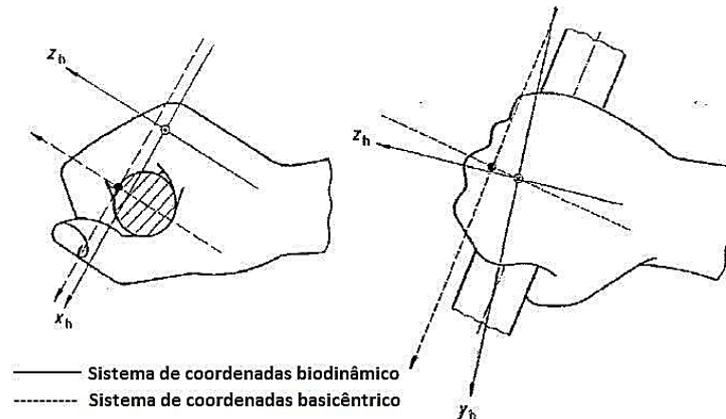


Figura 5 - Sistema de coordenadas biodinâmico e basicêntrico para vibração mão-braço.  
(Fonte: Adaptado de ISO 5349-1, 2001)

Além da magnitude da vibração, representada pela vibração total  $a_{hv}$ , a avaliação da exposição à vibração leva em consideração a duração diária da exposição  $T$ , em horas, definida como o total de tempo que as mãos ficam expostas à vibração durante um dia.

Assim, de acordo com a ISO 5349-1 (2001), define-se a exposição diária à vibração  $A(8)$ , em  $m/s^2$ , como:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}, \quad (3)$$

onde  $T_0$  é uma duração de referência de 8 horas. Esse tempo de referência  $T_0$  é adotado para facilitar comparações entre exposições diárias à vibração de diferentes durações. A exposição diária à vibração  $A(8)$  é interpretada como um valor total de vibração ponderado pela frequência, expresso em termos de uma equivalência de 8 horas de exposição diária e é este valor que deve ser comparado com os limites de exposição colocados anteriormente.

#### 4.1 Materiais e Sistema Desenvolvido

Para realizar a medição dos valores de exposição à vibração do aparador de grama elétrico, 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, EUA)
- 01 placa de circuito do acelerômetro com filtros, modelo GY-61 (Analog Devices, EUA)
- 03 acelerômetros triaxiais, modelo ADXL335 (Analog Devices, EUA)
- 01 par de protetor palmar, modelo Palmex (Hidrolight, Brasil)
- 01 laptop, modelo EEE PC 1201HA (Asus, Taiwan)

As especificações técnicas do aparador de grama e do acelerômetro triaxial encontram-se no Anexo deste trabalho.

O sistema foi montado e calibrado por comparação com acelerômetro comercial em um dos laboratórios do Grupo de Mecânica Aplicada (GMAP), 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 6 apresenta o sistema desenvolvido, com as posições dos três acelerômetros para medição da exposição à vibração no aparador de grama elétrico. A Figura 14 do Apêndice ilustra o local e a orientação de cada um dos acelerômetros. Os eixos para medição referem-se

aos indicados pela norma ISO 5249-1 (2002), enquanto os eixos reais referem-se aos utilizados em campo.



Figura 6 - 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: Autoria própria)

Através de cabos, os acelerômetros foram conectados à placa de aquisição, cuja quantidade de canais é oito. Três canais foram destinados aos três eixos da mão de acionamento, outros três aos três eixos da mão de sustentação e os dois restantes aos eixos  $x$  e  $y$  do motor.

A alimentação do conjunto da placa de aquisição e acelerômetros se deu por meio de um laptop, fornecido pelo laboratório. Para o processamento e o armazenamento dos dados obtidos, foi utilizado um programa escrito no MATLAB<sup>®</sup>, cujo código já foi validado e apresentado em trabalhos já publicados, como, por exemplo, o de Fontoura (2019).

#### 4.2 Medições Experimentais Realizadas

As medições foram realizadas nas dependências da Escola Estadual de Ensino Fundamental Venezuela, situada no Bairro Medianeira, em Porto Alegre. No local haviam dois tipos de terrenos: 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 mostra a Tabela 1. As densidades baixa e alta da grama se referem ao volume de grama local, indicado na Figura 15 do Apêndice.

Tabela 1 - Informações referentes às medições realizadas em campo.

Dia	Data	Medição	Condição	Densidade de Grama
1	27/05/2020	1	sem corte de grama	-
		2	com corte de grama	baixa
		3	com corte de grama	alta
2	17/06/2020	4	com corte de grama	baixa
		5	com corte de grama	alta
		6	sem corte de grama	-

A medição 1 foi realizada sem o corte de grama para análise do equipamento antes da série de medições. 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 baixa densidade de grama, enquanto as medições 3 e 5 foram submetidas à condição de alta densidade.

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

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.

## 5 RESULTADOS

Os resultados completos das medições dos níveis de exposição à vibração no manuseio de um aparador de grama elétrico encontram-se no Apêndice. A seguir, são apresentados os principais resultados, através de tabelas e gráficos comparativos entre as medições realizadas.

Vale ressaltar que, devido ao limite de canais para aquisição de dados, os valores de aceleração referentes ao eixo z do acelerômetro 3 não puderam ser obtidos, aparecendo zerados nos gráficos e nas tabelas.

### 5.1 Aceleração Ponderada RMS e Aceleração Total Equivalente

Conforme a Tabela 4 do Apêndice, nenhuma das acelerações ponderadas ( $a_{w\text{rms}}$ ) nas medições sem corte de grama (1 e 6) passam de 0,5 m/s<sup>2</sup>, enquanto para as medições com corte de grama (2 a 5), todas elas estão entre 0,6 e 1,3 m/s<sup>2</sup>. Em relação à aceleração total equivalente ( $a_v(8)$ ), nas medições sem corte de grama, os valores ficam abaixo de 0,7 m/s<sup>2</sup>, enquanto nas demais medições, o valor fica entre 1,3 e 2,0 m/s<sup>2</sup>. Estes valores estão relacionados às situações que foram medidas *in situ*, e representam situações diversas entre si.

Esses valores podem ser melhor comparados na Figura 7, 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.

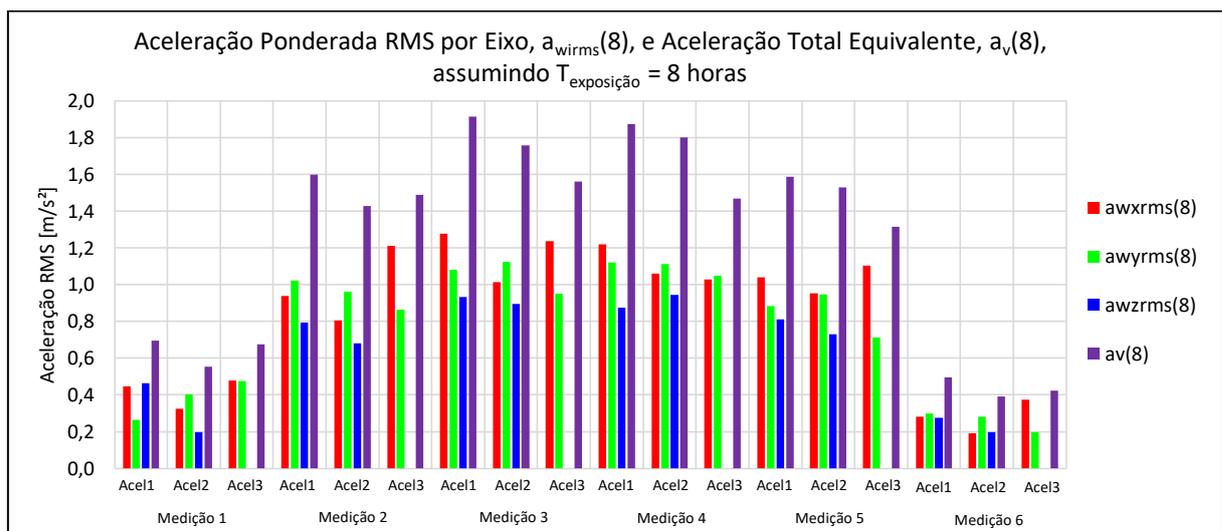


Figura 7 - Gráfico referente à Tabela 4. Comparativo das acelerações em cada medição realizada, assumindo  $T_{\text{exposição}} = 8$  horas. (Fonte: Autoria própria)

Entretanto, para as medições realizadas, nenhum desses valores sequer ultrapassa o valor de ação de exposição (VAE) conforme a NR 15, NHO 10 e a Diretiva 2002/44/EC, cujo valor

é de  $2,5 \text{ m/s}^2$ . Referente à norma ISO 5349, como não há um valor limite especificado, na sequência será avaliada a condição de exposição pela perspectiva desta norma.

## 5.2 Análise da Vibração Mão-Braço quanto à Saúde e ao Conforto

Para melhor entendimento quanto à segurança da saúde e do conforto do indivíduo, foram elaborados gráficos de acordo com a ISO 5349 e a Diretiva 2002/44/EC, ilustrados na Figura 8 e na Figura 9, 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 ( $1,92 \text{ m/s}^2$ ).

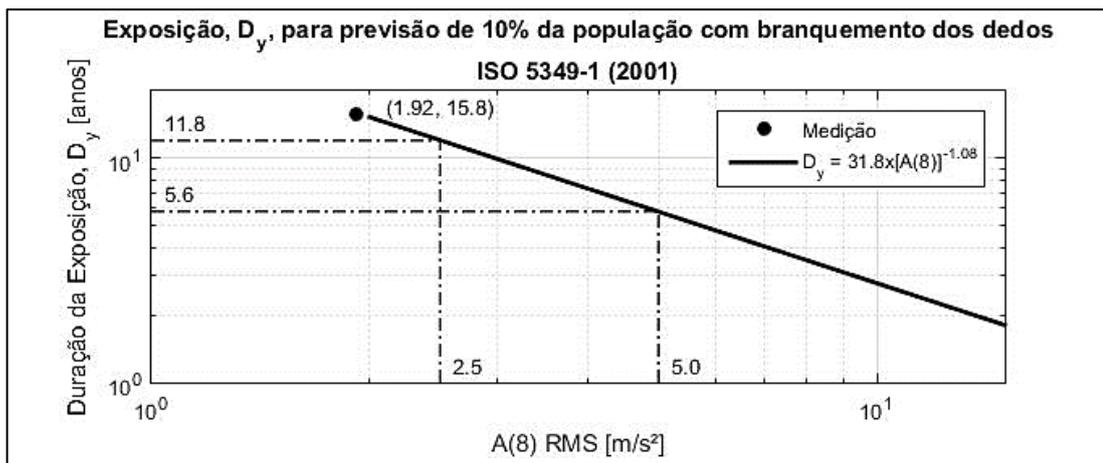


Figura 8 - Previsão para 10% de uma população ser acometida com branqueamento dos dedos devido à exposição a vibrações. (Fonte: Autoria própria)

A reta do gráfico da Figura 8 representa o limite de exposição à vibração, que varia conforme a duração da exposição (em anos) e da intensidade da vibração (em  $\text{m/s}^2$ ).

O ponto preto indica que, para  $A(8) = 1,92 \text{ m/s}^2$ , somente após 15,8 anos 10% da população exposta apresentaria a doença dos dedos brancos.

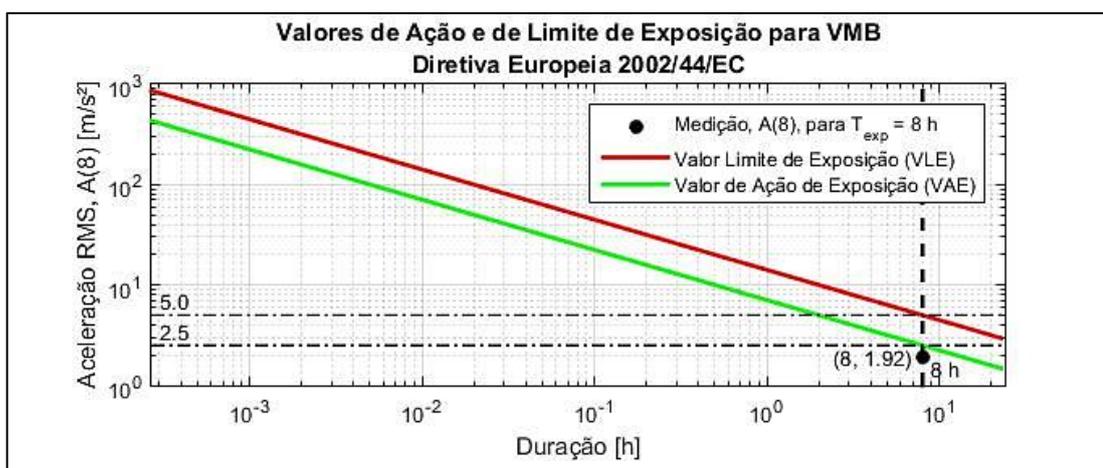


Figura 9 - Valores de limite de exposição e de tomada de ação, conforme a Diretiva Europeia 2002/44/EC. (Fonte: Autoria própria)

É possível observar na Figura 9 que o valor de exposição à vibração encontra-se abaixo do VAE. Se o ponto estiver entre as retas verde e vermelha, será necessário tomar alguma providência para reduzir a exposição à vibração. Se o ponto estiver acima da reta vermelha, o

indivíduo estará exposto a insalubridade, podendo apresentar problemas de saúde, como a doença do branqueamento dos dedos, por exemplo.

Com o objetivo de identificar eventuais frequências de ressonâncias e/ou frequências importantes de operação do cortador de grama, decidiu-se obter a Transformada Rápida de Fourier dos sinais de aceleração no tempo deste caso em específico. Estas frequências serão ressaltadas no gráfico com valores elevados em relação a todo o espectro medido. A Figura 10 apresenta um gráfico com as acelerações ponderadas por eixo FFT (Transformada Rápida de Fourier) em função da frequência, referente à medição 3, no ponto do acelerômetro 1.

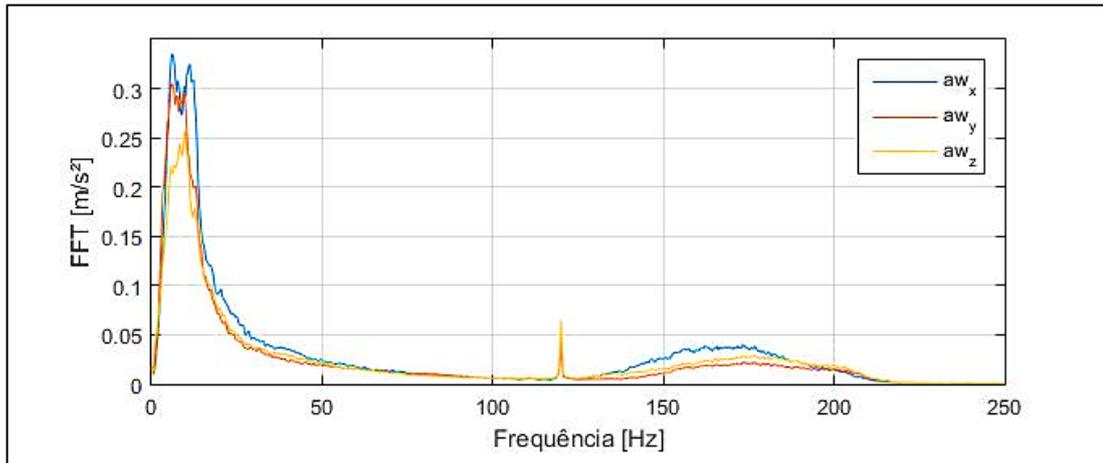


Figura 10 - Aceleração FFT para diferentes faixas de frequência. (Fonte: Autoria própria)

Conforme o gráfico da Figura 10, a região de maior aceleração é entorno dos 10 Hz, que, muito provavelmente, provém da movimentação da operação de 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.

Cabe ressaltar que o gráfico, a princípio, poderia ir até 1250 Hz, entretanto está sendo apresentado até 250 Hz pelo fato das vibrações serem apenas expressivas até a região dos 220 Hz, não havendo mais frequências relevantes acima dessa faixa. Muitas das frequências elevadas são atenuadas pelo filtro  $Wh$  correspondente a VMB descrito anteriormente.

### 5.3 Transmissibilidade

A fim de se obter mais informações sobre o comportamento da vibração através do equipamento analisado, foi observada a transmissibilidade das vibrações para três casos distintos:

- A) do motor para a mão de acionamento;
- B) do motor para a mão de sustentação;
- C) da mão de sustentação para a mão de acionamento.

Para a obtenção dos valores de transmissibilidade, foi utilizado outro programa escrito no MATLAB<sup>®</sup>, também já validado e apresentado em trabalhos anteriores, como o de Fontoura (2019). A análise, realizada para todas as medições feitas neste trabalho, foi de 0 a 400 Hz, uma vez que se observou que as frequências de ressonância mecânica da haste estão contidas nesse intervalo, observado previamente pelos espectros de frequência avaliados até o máximo de 500 Hz.

A Tabela 2 apresenta as faixas de frequência em que ocorrem maior transmissibilidade (calculada conforme indicada na seção 3.5) e seus respectivos valores de magnitude, correspondente à medição 1 (medição sem o corte de grama), em cada um dos três casos para cada eixo de medição ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ). Os valores indicados na Tabela 2 se referem aos maiores valores de transmissibilidade na frequência observada.

Tabela 2 - Transmissibilidade através do equipamento referente à medição 1.

Caso	Eixo	Frequência de Maior Transmissibilidade [Hz]	Magnitude da Transmissibilidade [-]
A	x	145,0	2,2
	y	186,7	29,0
	z	-	-
B	x	120,0	18,3
	y	250,0	11,7
	z	-	-
C	x	245,0	10,6
	y	240,0	17,1
	z	1,7	12,8

Devido à capacidade limitada de canais na placa de aquisição de dados, os valores relacionados ao eixo  $z$  do motor não puderam ser mensurados, e, conseqüentemente, os casos que envolvem o motor (A e B) não possuem valores de transmissibilidade para o eixo  $z$ .

Conforme a Tabela 2, observa-se que, para a medição 1, as frequências em que ocorrem as maiores transmissibilidades estão, em sua maioria, entre 120 e 250 Hz. Também é possível notar que, para o caso A, apesar da maior transmissibilidade no eixo  $x$  ocorrer em 145 Hz, sua magnitude é de apenas 2,2. Já para o eixo  $y$ , do mesmo caso, a magnitude é de 29,0.

Para melhor compreensão, a Figura 11 ilustra o comportamento da transmissibilidade, correspondente ao caso C da medição 1, para diferentes frequências em cada eixo de medição ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ).

Conforme a Figura 11, para o eixo  $x$ , há um pico de transmissibilidade próxima à faixa de 245 Hz. No eixo  $y$ , esse pico ocorre na faixa de 240 Hz. Já para o eixo  $z$ , apesar de haver picos entre 150 e 200 Hz, o de maior intensidade ocorre na faixa de 1,7 Hz, este último sendo de origem translacional (corpo rígido), eventualmente devido ao efeito de alavanca que a haste do cortador oferece.

Também foi aplicada uma análise estatística das amostras coletadas neste trabalho através do Teste Não-Paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para amostras independentes. Essa foi uma colaboração do coorientador deste trabalho. O referido teste mostrou que todas as comparações são diferentes entre si, sejam elas entre medições e/ou acelerômetros e/ou eixos, com 95% de confiança estatística.

Ao final, chegou-se às seguintes conclusões:

- há diferenças estatísticas comprovadas entre medições com e sem corte de grama;
- há diferenças estatísticas entre os acelerômetros 1, 2 e 3 (com aumento de grandeza, nesta ordem: aceleração ponderada em  $1 > 2 > 3$ );
- houve diferenças comprovadas estatisticamente que, mesmo cortando a mesma porção de grama 20 dias depois, a máquina produz diferentes excitações vibracionais.

A análise desses dados é extensa devida a quantidade de informações gerada pela taxa de aquisição e tempo de aquisição, não sendo foco deste trabalho.

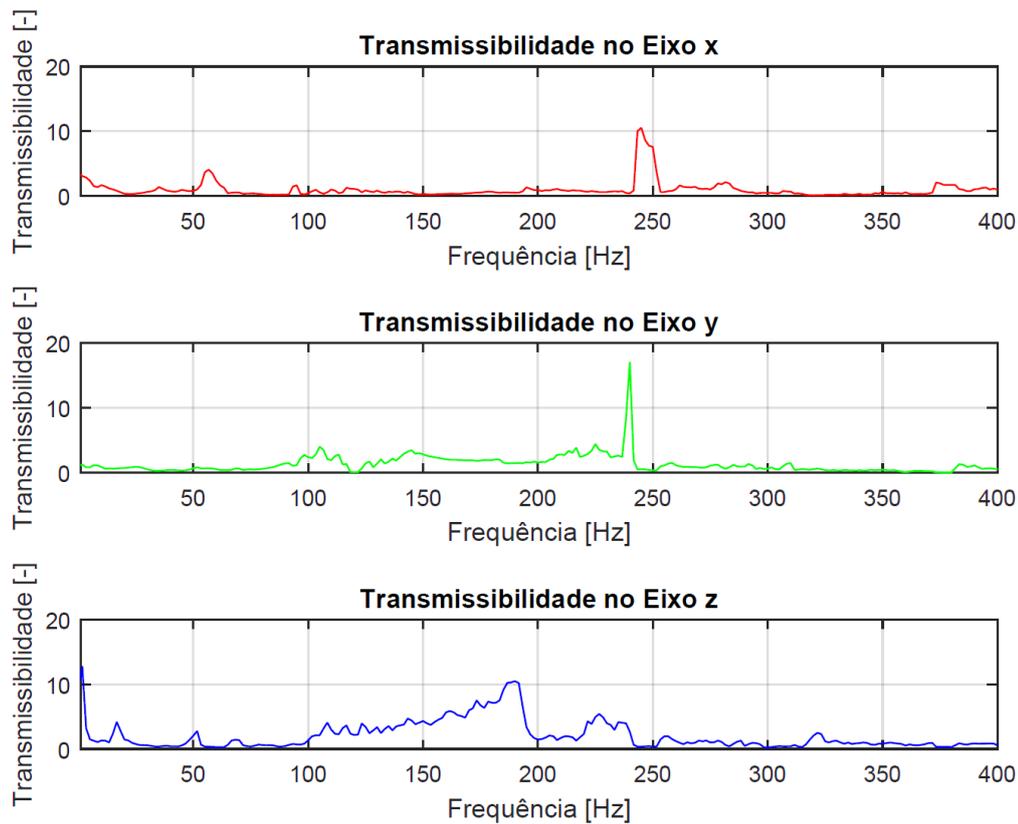


Figura 11 - Transmissibilidade para diferentes faixas de frequência (caso C, medição 1).  
(Fonte: Autoria própria)

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho desenvolveu um dispositivo para monitoramento da vibração transmitida ao sistema mão-braço através de atividades que utilizam cortadores de grama elétricos a fim de avaliar os seus níveis de vibração e riscos associados a tal atividade.

Conforme os resultados das análises da exposição humana à vibração no sistema mão-braço, para as condições de medição utilizadas neste trabalho, este tipo de atividade não apresenta risco à saúde do operador, podendo a máquina ser considerada segura.

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 e utilizado pelas normativas brasileiras NR 15 e NHO 10.

Quanto à norma ISO 5349, a qual não define valores fixos para a atribuição de insalubridade, para a pior situação observada, a uma exposição de 8 horas diárias, somente após 15,8 anos, cerca de 10% de uma população exposta a essa vibração possuiria problemas dos dedos brancos.

Segundo o banco de dados do Portale Agenti Fisici (PAF), para equipamentos do mesmo grupo (aparadores de grama) e com potência aproximada ao equipamento utilizado neste trabalho ( $1,0 \text{ kW}$ ), os valores máximos de exposição à vibração conforme declarados pelos fabricantes estão entre  $2,4 \text{ m/s}^2$  e  $7,0 \text{ m/s}^2$ . Os valores medidos neste trabalho estão, em sua totalidade, abaixo dessa faixa, possivelmente por se tratar de um equipamento alimentado por energia elétrica e não por combustível como os encontrados no PAF.

Em conformidade com o senso comum, observou-se que o fato de estar cortando grama gera mais vibração ao operador do que somente com o equipamento ligado. Além disso, o fator densidade (volume) da grama, afeta diretamente a intensidade de vibração transmitida ao sistema mão-braço, como visto na Tabela 4 do Apêndice.

Um fato interessante é que, dentre os três pontos medidos, o ponto em que há maior exposição à vibração é o da mão de acionamento do equipamento (acelerômetro 1). Isso muito provavelmente ocorre devido ao fenômeno da transmissibilidade, conforme visto na Tabela 2, oriundo da geometria do equipamento (haste), em que a mão de sustentação age como um apoio para que a mão de acionamento se torne um ponto em balanço, intensificando-se assim a magnitude de vibração no local. Outro fator é a força exercida pela mão de acionamento ao ligar o equipamento, que, conforme a sua intensidade, favorece o aumento da vibração medida.

Caso se queira atenuar a vibração transmitida ao operador, pode-se utilizar de artifícios como a incorporação de absorvedores de vibração do tipo TVA ou DVA, por exemplo, bem como a utilização de luvas antivibração. Outra alternativa, porém, não menos importante, é adotar um cronograma de trabalho em que se diminua o tempo de exposição à vibração por meio do rodízio entre os trabalhadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZMIR, N.A.; GHAZALI, M. I.; YAHYA, M. N.; ALI, M. H.; SONG, J. I. “**Effect of Hand Arm Vibration on the Development of Vibration Induce Disorder among Grass Cutter Workers**”. *Procedia Manufacturing*, 2:87-91, 2015.

AZMIR, N.A.; GHAZALI, M. I.; YAHYA, M. N.; ALI, M. H. “**Hand-arm vibration disorder among grass-cutter workers in Malaysia**”, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 22(3):433-8, 2016.

AZMIR, N.A. “**Prediction Model of Hand Arm Vibration Exposure among Hand-Held Grass-Cutters in Malaysia**” Thesis submitted in fulfillment of the requirement for the award of the Doctor of Philosophy, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 2016.

AZMIR, N. A.; ALI, M. H.; YAHYA, M. N.; ZAMAN, I.; et al. “**Significant Correlation Study between Casue and Effect of the Hand-Arm Vibration Exposure among Grass Cutters**”. *MATEC Web of Conferences*, 2018.

BERNARDI, B.; QUENDLER, E.; BENALIA, S.; MANTELLA, A.; ZIMBALATTI, G. “**Occupational risks related to vibrations using a brush cutter for green area management**”. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 25(2):255–258, 2018.

DIRECTIVE 2002/44/EC. “**On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)**”. The European Parliament and the Council of the European Union. *Official Journal of the European Communities*, L177/13-19, 2002.

FONTOURA, E. M. “**Investigação da Transmissibilidade de Veículos Automotores de Passeio**”. Monografia para obtenção de título de engenheiro mecânico, Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2019.

GRIFFIN, M. J. “**Handbook of Human Vibration**”. Academic Press, London, 1990.

GRIFFIN, M. J. “**Measurement and evaluation of whole-body vibration at work**”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6(1):45-54, 1990.

GRIFFIN, M. J.; HOWARTH, H. V. C.; PITTS, P. M.; FISCHER, S.; KAULBARS, U.; DONATI, P. M.; BERETON, P. F. “**Guide to good practice on Hand-Arm Vibration**”. 2006. Disponível em: <<http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/HAV%20Good%20practice%20Guide%20V7.7%20English%20260506.pdf>>. Acesso em: 18/07/2020.

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, 41(5):494-508, 2011.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. “**Hand-arm vibration at work**”. United Kingdom, 2016. Disponível em: <<https://www.hse.gov.uk/vIBRAtion/hav/index.htm>>. Acesso em: 23/09/2020.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. “**Vibration Solutions - Practical ways to reduce the risk of hand-arm vibration injury**”. United Kingdom, 1997 (1<sup>st</sup> Edition). Disponível em: <<https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg170.pdf>>. Acesso em: 04/09/2020.

ISO 5349-1. “**Mechanical vibration – Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration - Part 1: General requirements**”. International Organization for Standardization, 2001.

ISO 5349-2. “**Mechanical vibration – Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration - Part 2: Practical Guidance for measurement at the workplace**”. International Organization for Standardization, 2001.

KADERLI, F. “**Análise do conforto quanto à vibração em veículos de passeio**”, Monografia para obtenção de título de engenheiro mecânico, Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

NHO 10. “**Normas de Higiene Ocupacional. Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações em Mãos e Braços**”. Fundacentro, 2013.

NR 15. “**Norma Regulamentadora No. 15 - Atividades e Operações Insalubres - Anexo 8 - Vibrações**”. 2014.

PATIL, S. S. “**Grass trimmer hand-arm vibration reduction using multi-axial vibration absorber**”, Noise & Vibration Worldwide, Vol. 50(8) 245-253, 2019.

PORTALE AGENTI FISICI, “**Vibrazioni al sistema mano - braccio: descrizione del rischio**”. Disponível em: <[https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_hav\\_index.php?lg=IT](https://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_index.php?lg=IT)>. Acesso em: 11/06/2020.

SAVIONEK, D. “**Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Transmitida ao Sistema Mão-Braço durante a Atividade Ciclística**”. Monografia para obtenção de título de engenheiro mecânico, Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

SILVEIRA, J. W. P.; PILATTI, L. A.; LAAT, E. F. “**Efeitos da vibração no corpo humano**”. II Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 2012.

TUA SAÚDE, “**Sintomas da doença de Raynaud**”, 2018. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/sintomas-da-doenca-de-raynaud/>>. Acesso em: 15/08/2020.

## ANEXO

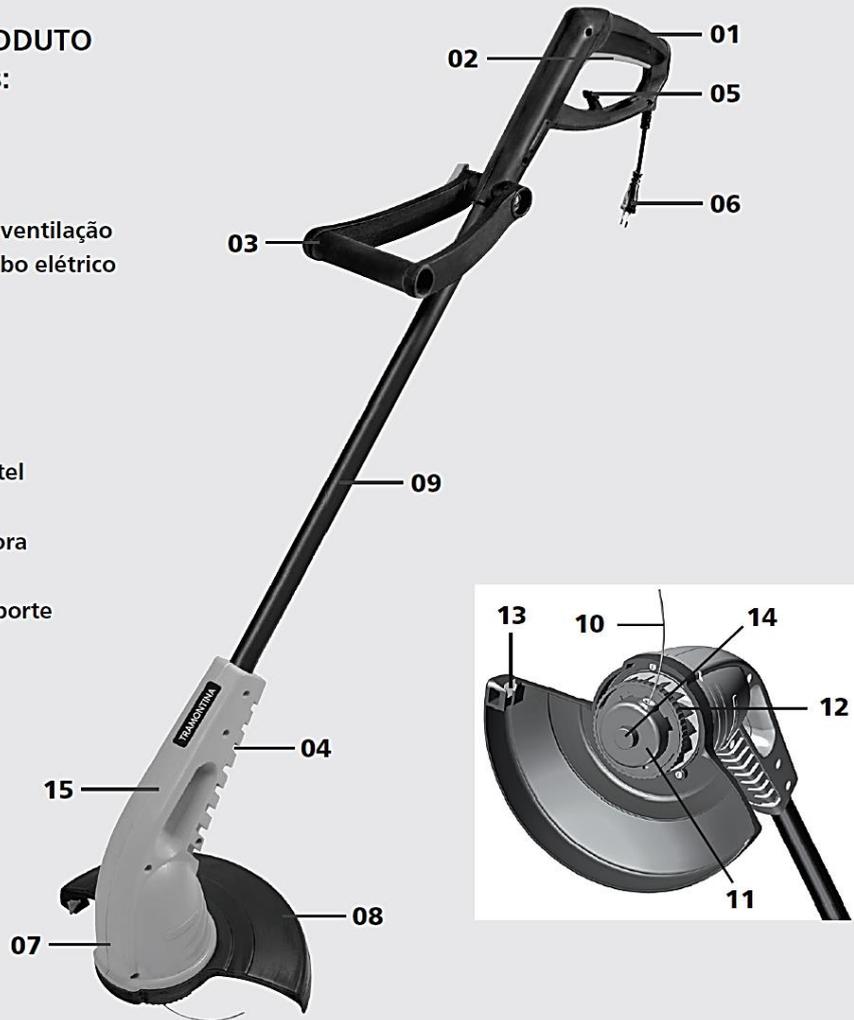
## APARADOR DE GRAMA ELÉTRICO

### AP1000T

#### CONHEÇA O PRODUTO

##### Partes principais:

- 01 - Empunhadura
- 02 - Interruptor
- 03 - Alça
- 04 - Aberturas para ventilação
- 05 - Presilha para cabo elétrico
- 06 - Plug
- 07 - Corpo
- 08 - Protetor
- 09 - Braço metálico
- 10 - Fio de nylon
- 11 - Tampa do carretel
- 12 - Porta carretel
- 13 - Lâmina limitadora
- 14 - Carretel
- 15 - Alça para transporte



#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Potência máxima (Watts)	rpm	rad/s	Diâmetro de corte	Aplicação/ uso	Tensão elétrica
AP1000T	1000 W	11.000	1.152	28 cm	Doméstico	Monovolt 127 V ou 220 V

- Todos os aparadores são fabricados conforme norma ABNT NBR NM 60335.
- Produto certificado pelo Inmetro conforme OCP-0034, NCC, Segurança, Compulsório.
- Possui classe de isolamento II, não necessitando aterramento.

Figura 12 - Especificações técnicas do aparador de grama AP1000T.  
(Fonte: Adaptado de Tramontina, [www.tramontina.com.br](http://www.tramontina.com.br))

## ADXL335

## SPECIFICATIONS

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = 3\text{ V}$ ,  $C_X = C_Y = C_Z = 0.1\ \mu\text{F}$ , acceleration = 0 g, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>SENSOR INPUT</b>					
Measurement Range	Each axis	$\pm 3$	$\pm 3.6$		g
Nonlinearity	% of full scale		$\pm 0.3$		%
Package Alignment Error			$\pm 1$		Degrees
Interaxis Alignment Error			$\pm 0.1$		Degrees
Cross-Axis Sensitivity <sup>1</sup>			$\pm 1$		%
<b>SENSITIVITY (RATIOMETRIC)<sup>2</sup></b>					
Sensitivity at $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$ , $Z_{OUT}$	$V_S = 3\text{ V}$	270	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature <sup>3</sup>	$V_S = 3\text{ V}$		$\pm 0.01$		%/ $^\circ\text{C}$
<b>ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)</b>					
0 g Voltage at $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$	$V_S = 3\text{ V}$	1.35	1.5	1.65	V
0 g Voltage at $Z_{OUT}$	$V_S = 3\text{ V}$	1.2	1.5	1.8	V
0 g Offset vs. Temperature			$\pm 1$		mg/ $^\circ\text{C}$
<b>NOISE PERFORMANCE</b>					
Noise Density $X_{OUT}$ , $Y_{OUT}$			150		$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms
Noise Density $Z_{OUT}$			300		$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ rms
<b>SELF-TEST<sup>6</sup></b>					
Logic Input Low			+0.6		V
Logic Input High			+2.4		V
ST Actuation Current			+60		$\mu\text{A}$
Output Change at $X_{OUT}$	Self-Test 0 to Self-Test 1	-150	-325	-600	mV
Output Change at $Y_{OUT}$	Self-Test 0 to Self-Test 1	+150	+325	+600	mV
Output Change at $Z_{OUT}$	Self-Test 0 to Self-Test 1	+150	+550	+1000	mV
<b>OUTPUT AMPLIFIER</b>					
Output Swing Low	No load		0.1		V
Output Swing High	No load		2.8		V
<b>POWER SUPPLY</b>					
Operating Voltage Range		1.8		3.6	V
Supply Current	$V_S = 3\text{ V}$		350		$\mu\text{A}$
Turn-On Time <sup>7</sup>	No external filter		1		ms
<b>TEMPERATURE</b>					
Operating Temperature Range		-40		+85	$^\circ\text{C}$

<sup>1</sup> Defined as coupling between any two axes.

<sup>2</sup> Sensitivity is essentially ratiometric to  $V_S$ .

<sup>3</sup> Defined as the output change from ambient-to-maximum temperature or ambient-to-minimum temperature.

<sup>4</sup> Actual frequency response controlled by user-supplied external filter capacitors ( $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$ ).

<sup>5</sup> Bandwidth with external capacitors =  $1/(2 \times \pi \times 32\text{ k}\Omega \times C)$ . For  $C_X$ ,  $C_Y = 0.003\ \mu\text{F}$ , bandwidth = 1.6 kHz. For  $C_Z = 0.01\ \mu\text{F}$ , bandwidth = 500 Hz. For  $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z = 10\ \mu\text{F}$ , bandwidth = 0.5 Hz.

<sup>6</sup> Self-test response changes cubically with  $V_S$ .

<sup>7</sup> Turn-on time is dependent on  $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$  and is approximately  $160 \times C_X$  or  $C_Y$  or  $C_Z + 1\text{ ms}$ , where  $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$  are in microfarads ( $\mu\text{F}$ ).

Figura 13 - Especificações técnicas dos acelerômetros ADXL335.  
(Fonte: Adaptado de Analog Devices, www.analog.com)

APÊNDICE

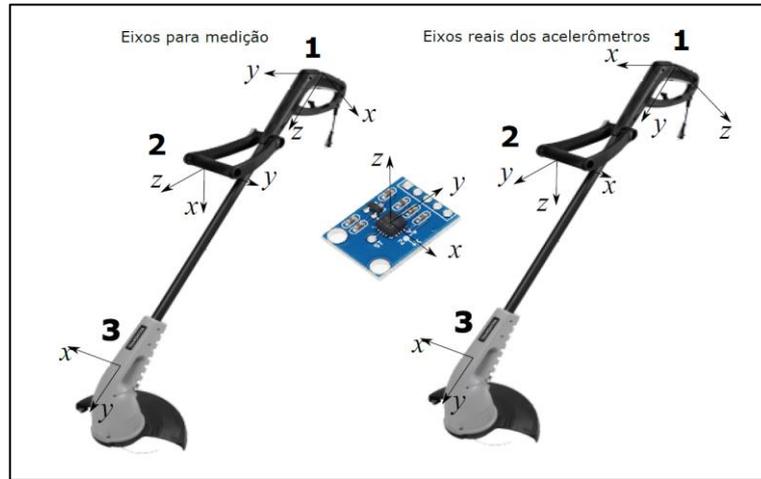


Figura 14 - Local e orientação dos acelerômetros utilizados para medição. (Fonte: Autoria própria)



Figura 15 - Densidade de grama local. (a) baixa densidade, referente às medições 2 e 4; (b) alta densidade, referente às medições 3 e 5. (Fonte: Autoria própria)

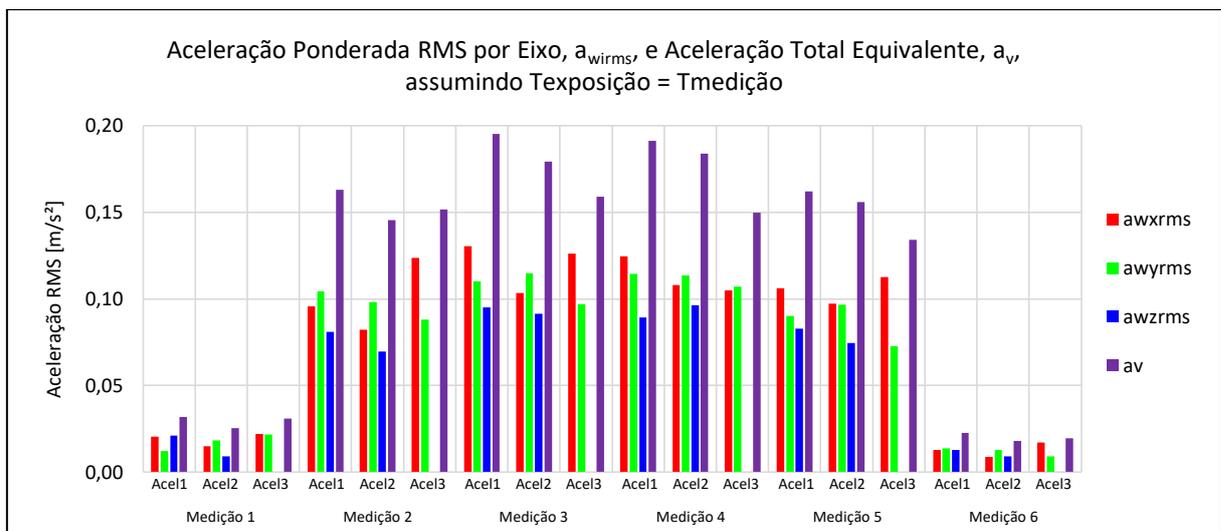


Figura 16 - Gráfico referente à Tabela 3. Comparativo das acelerações em cada medição realizada, assumindo  $T_{exposição} = T_{medição}$ . (Fonte: Autoria própria)

Tabela 3 - Aceleração Ponderada RMS por Eixo,  $a_{wirms}$ , e Aceleração Total Equivalente,  $a_v$  (na NR 15, aren), assumindo  $T_{exposição} = T_{medição}$  [m/s<sup>2</sup>].

Medição	Acelerômetro	$a_{wxrms}(8)$	$a_{wyrms}(8)$	$a_{wzrms}(8)$	$a_v(8)$
1 (sem corte de grama)	1	0,020	0,012	0,021	0,032
	2	0,015	0,018	0,009	0,025
	3	0,022	0,022	0,000	0,031
2 (com corte de grama)	1	0,096	0,104	0,081	0,163
	2	0,082	0,098	0,069	0,146
	3	0,124	0,088	0,000	0,152
3 (com corte de grama)	1	0,130	0,110	0,095	0,195
	2	0,103	0,115	0,091	0,179
	3	0,126	0,097	0,000	0,159
4 (com corte de grama)	1	0,125	0,114	0,089	0,191
	2	0,108	0,113	0,096	0,184
	3	0,105	0,107	0,000	0,150
5 (com corte de grama)	1	0,106	0,090	0,083	0,162
	2	0,097	0,097	0,075	0,156
	3	0,113	0,073	0,000	0,134
6 (sem corte de grama)	1	0,013	0,014	0,013	0,023
	2	0,009	0,013	0,009	0,018
	3	0,017	0,009	0,000	0,019

Tabela 4 - Aceleração Ponderada RMS por Eixo,  $a_{wirms}(8)$ , e Aceleração Total Equivalente,  $a_v(8)$  (na NR 15, aren), assumindo  $T_{exposição} = 8$  horas [m/s<sup>2</sup>].

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